

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde  
Abteilung für Zahnerhaltungskunde  
(Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger)

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,  
Standort Marburg

Titel der Dissertation:

***Effizienz der Revision von Wurzelkanalfüllungen nach  
Obturation mit fünf verschiedenen Techniken mittels  
maschineller Wurzelkanalinstrumente***

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin,  
dem Fachbereich der Medizin der Philipps-Universität Marburg  
vorgelegt von

Kathrin Juliane Reinhardt  
aus Gießen

Marburg, 2013

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg  
am: 13.08.13

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. M. Rothmund

Referent: Prof. Dr. R. Frankenberger

Korreferent: Prof. Dr. M. Gente



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Ziel der Studie</b> .....	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen der Wurzelkanalbehandlung</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Wurzelkanalaufbereitung</b> .....	<b>9</b>
3.1.1	Manuelle Aufbereitung.....	10
3.1.2	Maschinelle Aufbereitung .....	11
<b>3.2</b>	<b>Obturation des Wurzelkanals</b> .....	<b>13</b>
3.2.1	Materialien für die Wurzelkanalfüllung .....	13
3.2.2	Obturationstechniken.....	14
<b>4</b>	<b>Revision der Wurzelkanalbehandlung</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1</b>	<b>Revisionsindikationen</b> .....	<b>16</b>
<b>4.2</b>	<b>Methoden zur Revision von Wurzelkanalfüllungen</b> .....	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>19</b>
<b>5.1</b>	<b>Versuchsdesign</b> .....	<b>19</b>
<b>5.2</b>	<b>Vorbereitung der Zähne</b> .....	<b>21</b>
<b>5.3</b>	<b>Wurzelkanalfüllung der Proben</b> .....	<b>27</b>
5.3.1	Laterale Kompaktion.....	29
5.3.2	Non-compaction-Technik.....	30
5.3.3	Single-cone-Technik .....	30
5.3.4	Warme Vertikalkompaktionstechnik.....	31
5.3.5	<i>Thermafil</i> -Technik .....	31
<b>5.4</b>	<b>Revision der Wurzelkanalfüllung</b> .....	<b>32</b>
<b>5.5</b>	<b>Statistische Auswertung</b> .....	<b>37</b>

<b>6</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>38</b>
6.1	Ergebnisse der Sealerreste.....	38
6.2	Ergebnisse der Guttapercharesten .....	41
6.3	Ergebnisse des gesamten Obturationsmaterials .....	44
6.4	Einzelergebnisse der Obturationstechniken .....	47
6.4.1	LCT-Gruppe.....	47
6.4.2	NCT-Gruppe .....	48
6.4.3	SCT-Gruppe .....	49
6.4.4	<i>Thermafil</i> -Gruppe.....	50
6.4.5	WVC-Gruppe .....	51
6.5	Ergebnisse der Revisionszeiten .....	52
<b>7</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>54</b>
7.1	Diskussion der Methodik.....	54
7.2	Diskussion der Ergebnisse .....	59
7.2.1	Diskussion der Revisionseffizienz.....	59
7.2.2	Diskussion der Revisionszeit .....	62
7.3	Diskussion der Arbeitshypothesen .....	63
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	<b>65</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>66</b>
9.1	Hintergrund und Ziele.....	66
9.2	Methoden .....	66
9.3	Ergebnisse.....	67
9.4	Praktische Schlussfolgerungen .....	67
<b>10</b>	<b>Summary</b> .....	<b>68</b>
10.1	Background and Aims .....	68
10.2	Methods .....	68

<b>10.3</b>	<b>Results</b> .....	<b>69</b>
<b>10.4</b>	<b>Practical Conclusions</b> .....	<b>69</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>70</b>
<b>12</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>84</b>
<b>12.1</b>	<b>Abkürzungen</b> .....	<b>84</b>
<b>12.2</b>	<b>Materialien</b> .....	<b>85</b>
<b>12.3</b>	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>89</b>
12.3.1	Verzeichnis der Abbildungen .....	89
12.3.2	Verzeichnis der Tabellen .....	94
<b>12.4</b>	<b>Tabellen</b> .....	<b>96</b>
<b>12.5</b>	<b>Bilder</b> .....	<b>105</b>
<b>13</b>	<b>Danksagung</b> .....	<b>108</b>
<b>14</b>	<b>Verzeichnis akademischer Lehrer</b> .....	<b>109</b>

# 1 Einleitung

Der Zahnerhalt selbst weitgehend zerstörter Zähne und somit auch die Endodontie haben in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Zahnextraktionen sollten heute immer als letzte Therapiemöglichkeit angesehen werden, wenn ein Zahnerhalt durch eine endodontische Behandlung nicht gelingt, denn „die eigenen Zahnwurzeln sind grundsätzlich die besten Implantate“ (Koçkapan 2003). In Deutschland stieg einerseits die Anzahl der Wurzelkanalbehandlungen von 1970 bis 2010 fast um das Doppelte an und die Zahl der Extraktionen sank signifikant (KZBV 2001). Andererseits zeigt sich jedoch vor allem in Deutschland zunehmend eine unzureichende Qualität vieler vorhandener Wurzelkanalfüllungen und somit ist auch ein Anstieg von Revisionen insuffizienter Erstbehandlungen zu verzeichnen (Hülsmann 1996). Auch wenn die Therapiemöglichkeiten und Behandlungsentscheidungen im Falle einer Revision variieren (Reit, Gröndahl 1988, Heinikainen et al. 2002), sollte der orthograden Revision der Wurzelkanalfüllung immer Vorrang gelassen werden. Sie stellt einen kleineren Eingriff für den Patienten dar und hat eine höhere Erfolgsrate als die retrograde Revision oder die Wurzelspitzenresektion (Allen et al. 1989).

Zahlreiche Studien beschäftigen sich daher in den letzten Jahren mit der orthograden Revision von Wurzelkanalfüllungen (Wilcox et al. 1994, Betti et al. 2010, Hayakawa et al. 2010). Die maschinelle Revision mit Nickel-Titan-Instrumenten hat aufgrund der einfachen Handhabung und der Zeitersparnis enorm an Bedeutung gewonnen. Bislang existieren jedoch nur wenige Studien, welche die Revisionseffizienz verschiedener Kalt- und Warmfülltechniken miteinander vergleichen. Aus diesem Grund steht in dieser Studie die Untersuchung der Wurzelkanalfüllungsreste nach schrittweiser Revision verschiedener Kalt- und Warmfülltechniken im Mittelpunkt.

## 2 Ziel der Studie

Ziel der Studie ist es, die maschinell revidierten Wurzelkanalwände auf den prozentualen Anteil von Sealer- und Guttapercharesten zu untersuchen und zu ermitteln, wie sich die schrittweise Revision beurteilen lässt.

Im Vergleich zu ähnlichen Studien wurden fünf verschiedene Wurzelkanalfülltechniken, darunter Warm- und Kaltfülltechniken, hinsichtlich ihrer Revisionseffizienz analysiert. Es wurde kein Lösungsmittel bei der Revision verwendet, um den Schwerpunkt der Beobachtungen auf die schrittweise maschinelle Revision zu lenken. Außerdem sollten die für die verschiedenen Wurzelkanalfüllungen benötigten Revisions- und Spülzeiten gegenüber gestellt werden.

Letztlich ist das Hauptziel der vorliegenden Studie, die Sauberkeit der Wurzelkanäle nach der Revision sowie die dafür erforderlichen Revisionszeiten zu ermitteln, die bei der Revision von Wurzelkanalfüllungen nach verschiedenen Fülltechniken resultieren.

Im Rahmen dieser Studie sollen die folgenden Arbeitshypothesen überprüft werden:

### **Arbeitshypothese # 1:**

„Die Revision der Wurzelkanalfüllung entfernt das Obturationsmaterial vollständig.“

### **Arbeitshypothese # 2:**

„Die Revision der verschiedenen Obturationstechniken zeigt keine Unterschiede hinsichtlich der verbliebenen Wurzelkanalfüllungsreste.“

### **Arbeitshypothese # 3:**

„Die Zunahme der Aufbereitungsgröße im Rahmen der Revision führt zu einer Reduktion der Obturationsreste.“

### **Arbeitshypothese # 4:**

„Die erforderliche Revisionszeit zeigt zwischen den verschiedenen Obturationsgruppen keine Unterschiede.“

## **3 Grundlagen der Wurzelkanalbehandlung**

### **3.1 Wurzelkanalaufbereitung**

Die Durchführung einer Wurzelkanalbehandlung kann verschiedene Ursachen haben. Hauptbehandlungsgrund ist meist eine irreversible Pulpitis, die zum größten Teil von obligat anaeroben Keimen ausgelöst wird. Die meisten Keime befinden sich hierbei im Wurzelkanal. In dem periapikalen Gewebe ist meist nur eine geringe Keimanzahl zu finden. Auf das infizierte Endodont reagiert die körpereigene Abwehr mit einer Veränderung an der Wurzelspitze (Parodontitis apicalis). Ziel der Wurzelkanalbehandlung ist somit die Keimreduktion im Wurzelkanal. Eine vollkommene Sterilität im Kanalsystem ist durch die komplexe Anatomie des Wurzelkanalsystems nicht zu erzielen. Über zahlreiche Aufspaltungen und Seitenkanäle kommuniziert das Endodont mit dem periapikalen Gewebe. Meist sind nicht alle Seitenkanäle instrumentierbar. Bei möglichst aseptischen Arbeiten ist jedoch eine Keimreduktion um den Faktor 500-1000 erreichbar (Haapasalo et al. 1987, Dahlén, Möller 1992). Jede Wurzelkanalbehandlung sollte daher unter der Verwendung von Kofferdam und unter Einsatz desinfizierender Spülungen erfolgen (Stellungnahme der DGZMK zu der Wurzelkanalaufbereitung 2000). Die Wurzelkanalaufbereitung dient der Reinigung und Erweiterung des Kanalsystems, um die Keimanzahl im Wurzelkanal zu verringern und Raum für die Wurzelfüllung zu schaffen. In der Literatur findet man oft den Begriff „cleaning and shaping“ als entscheidenden Erfolgsfaktor der Wurzelkanalbehandlung (Schilder 1974). Verschiedene Studien belegen, dass die vollständige Aufbereitung der Wurzelkanäle bis zum endodontischen Apex und die Aufbereitungstechnik maßgeblich den Behandlungserfolg beeinflussen (Smith et al. 1993). Die anatomische Form des Wurzelkanalverlaufes sowie die apikale Konstriktion sollten bei der Aufbereitung möglichst erhalten bleiben. In der Literatur wird eine von apikal nach koronal konisch verlaufende Aufbereitung des Wurzelkanals empfohlen, um einen apikalen Stopp und somit eine dichte Wurzelfüllung zu erzielen (Schilder 1974, Stellungnahme der DGZMK zur Wurzelkanalaufbereitung 2000). Grundsätzlich bestehen zwei Möglichkeiten der Aufbereitung der Wurzelkanäle: Die manuelle und die maschinelle Aufbereitung (Stellungnahme der DGZMK zur Wurzelkanalaufbereitung 2000).

### 3.1.1 Manuelle Aufbereitung

Für die Aufbereitung der Wurzelkanäle stehen verschiedene Handinstrumente zur Verfügung. Man unterscheidet unter anderem Wurzelkanalbohrer (WK-Bohrer), *Kerr*-Feilen (*K*-Feilen), *Hedström*-Feilen (*H*-Feilen), *K*-Reamer, *C-Pilot*-Feilen, Exstirpationsnadeln und Edelinstrumente mit erhöhter Flexibilität, wie *Flexicut*-Feilen, *K-Flex*-Feilen und *Flexo*-Reamer. Die Instrumente weisen unterschiedliche Querschnittprofile und Schneidewinkel auf und werden daher in unterschiedlichen Arbeitsweisen eingesetzt (*K*-Feilen können mit Dreh- und Zugbewegung, *K*-Reamer mit leichter Drehbewegung und *Hedström*-Feilen dürfen nur linear feilend eingesetzt werden). Bereits 1728 beschrieb Pierre Fauchard die Anwendung von Trepanationsinstrumenten und die Wurzelkanalaufbereitung („Le chirurgien dentiste“). Das erste manuelle Aufbereitungsinstrument wurde 1838 von Edwin Maynard aus einer Uhrfeder entwickelt und ähnelte einer Pulpa-Exstirpationsnadel (AKGZ 2011). Im Jahre 1869 erfolgte die erste industrielle Fertigung von Wurzelkanalinstrumenten durch die Firma *Zipper* in München (Denton 1931). Die Normierung der Wurzelkanalinstrumente bezüglich ihrer Länge, Dicke und mechanischen Belastbarkeit sowie die entsprechende, heute noch gültige, Farbkodierung ist auf J.I. Ingle zurückzuführen (Ingle 1955 und Ingle 1959).

Handinstrumente sind in den Längen 21, 25, 28 und 31 mm erhältlich. Gemessen wird die Distanz unterhalb des Handgriffs bis zur Instrumentenspitze. Die Instrumentengrößen 08 bis 140 geben die an der Instrumentenspitze gemessene Dicke in hundertstel Millimeter an. Die noch heute verwendete Farbkodierung erleichtert die Instrumentenauswahl. Die Aufbereitungsfeilen bestehen heute meist aus säurebeständigem Chrom-Nickel-Edelstahl oder aus Nickel-Titan-Legierungen sowie Titan-Aluminium-Legierungen (55-Nitinol-Legierung: 55% Nickel und 45% Titan / 60-Nitinol-Legierung: 60% Nickel und 40% Titan). Vorteile der Handinstrumente sind ein gutes Tastgefühl des Kanalverlaufs und der apikalen Konstriktion und eine kontrollierte Dosierung der Kräfte während der Aufbereitung. Handfeilen sollten hauptsächlich bei geradem Kanalverlauf verwendet werden, da sie in gekrümmten Wurzelkanälen durch unzureichendes Vorbiegen und mangelnde Flexibilität der Instrumente oft zur Stufenbildung und Perforation führen (Schäfer, Lohmann 2002, Koçkapan 2003). Für die Aufbereitung mit Handinstrumenten gibt es viele verschiedene Techniken, z.B.: Standardtechnik, Step-back-Technik, Step-preparation-Technik, Step-down-Technik, Crown-down-pressureless-Technik, Double-flare-Technik, Balanced-force-Technik, Circumferential-filing-Technik, sowie andere Techniken (Koçkapan 2003). Die meist angewandte manuelle Aufbereitungstechnik in der Literatur ist die Step-back-Technik (Weine et al. 1970, Weine et al. 1975, Farzaneh et al. 2004 a). Hierbei erfolgt eine

konische Aufbereitung des Wurzelkanals, durch die das Foramen apicale nicht erweitert und somit das apikale Gewebe kaum geschädigt wird. Der Dentinverlust im apikalen Bereich ist bei dieser Aufbereitungstechnik gering, was vor allem bei graziilen Wurzeln wichtig ist. Es entstehen selten Dentinstufen und Perforationen (Guldener 1989). Die Aufbereitung des Wurzelkanals erfolgt bei der Step-back-Technik schrittweise (Mullaney 1979). Im ersten Schritt werden die Kanäle mit vorgebogenen K-Feilen oder *Flexicut*-Feilen auf die zuvor festgelegte Arbeitslänge instrumentiert und nach dem ersten im apikalen Bereich bindenden Instrument wird der Kanal um mindestens drei Instrumentengrößen und mindestens auf ISO-Größe 25 erweitert. Zwischendurch wird regelmäßig mit der vorherigen kleineren Instrumentengröße rekapituliert, um eine Verblockung des Wurzelkanals mit Dentinspänen zu verhindern. Das zuletzt auf volle Arbeitslänge verwendete Instrument wird als Master Apical Instrument (kurz: MAI) bezeichnet. Im nächsten Schritt erfolgt die Aufbereitung mit den nachfolgenden Instrumentengrößen mit Verkürzung der Arbeitslänge (AL) um je einen Millimeter. Von dem MAI der ISO-Größe 30 erfolgt also die Aufbereitung um mindesten drei Größen, auf ISO-Größe 35 und AL minus 1 mm, ISO-Größe 40 und AL minus 2 mm und ISO-Größe 45 und AL minus 3 mm. Im dritten Schritt wird das obere Wurzeldrittel mit einem *Gates-Glidden*-Bohrer erweitert und schließlich wird der Kanal zirkulär mit dem MAI gefeilt, um beim Rückwärtsschreiten entstandene Stufen abzutragen und zu glätten (Cohen, Burns 1994).

### **3.1.2 Maschinelle Aufbereitung**

Vor allem bei gekrümmten Wurzelkanälen wird in der Literatur oft die maschinelle Aufbereitung mit vollrotierenden, hochflexiblen Nickel-Titan-Systemen empfohlen (Stellungnahme der DGZMK zu Wurzelkanalaufbereitungen 2000). Es kommt seltener zur Verlegung des Kanalverlaufs und gebogene Kanäle lassen sich besser entsprechend ihrer Kanal Anatomie aufbereiten (Loizides et al. 2006). Auch weniger geübte Behandler können gekrümmte Kanäle leichter und mit entsprechender Zeitersparnis zufriedenstellend aufbereiten (Baumann, Roth 1990). Die heutigen Nickel-Titan-Instrumente weisen ein geringeres Biegemoment und eine größere Torsionsfestigkeit als Edelmetallinstrumente auf und zeigen ein pseudoelastisches Verhalten, d.h. die Nickel-Titan-Feilen werden in einem gekrümmten Kanal reversibel gebogen. Die Feilen nehmen nach der Verformung ihre ursprüngliche Gestalt wieder an. Ein Vorbiegen der Instrumente ist somit nicht möglich. Dieses Verhalten wird auch

als „Memory-Effekt“ bezeichnet und ist die Fähigkeit eines Metalls, eine bei niedriger Temperatur erfahrene, auf Kristallgitterumwandlung beruhende plastische Verformung nach dem Erwärmen spontan durch Rückumwandlung der Kristallgitterstruktur zurückzustellen (Thompson, Dummer 2000 a, Thompson, Dummer b).

Im Jahre 1889 entwickelte William H. Rollins das erste spezielle Endodontie-Winkelstück und einen nadelförmigen Wurzelkanalbohrer (Hülsmann et al. 2005). Die Umdrehungszahl des Motors war auf  $100 \text{ U} \times \text{min}^{-1}$  begrenzt, um eine Instrumentenfraktur zu vermeiden. Es folgte das *Racer*-Winkelstück in den 50er Jahren und das *Giromatic*-System 1964 (Hülsmann et al. 2005). Mittlerweile gibt es eine sehr große Auswahl an maschinellen Aufbereitungssystemen, die meist mit einer Rotationsbewegung von  $360^\circ$  arbeiten. Die älteren NiTi-Systeme, wie *Light Speed*, *GT Rotary Files* und *ProFile*, haben nicht geschliffene Schneidekanten und einen stumpfen Schneidekantenwinkel (geringer Schraubeneffekt). Dies sorgt für eine Selbstzentrierung des Instruments im Kanal und beugt somit der Gefahr einer Kanalverlegung vor (passive Spitze). Diese Systeme weisen einen U-förmigen Instrumentenquerschnitt auf und haben eine größere Kontaktfläche mit den Kanalwänden, was die Gefahr des Klemmens des Instruments im Wurzelkanal erhöht. Die neueren NiTi-Systeme, wie *FlexMaster*, *ProTaper*, *Quantec SC*, *K3*, *Hero 642* und *RaCe* haben einen konvexen Dreikantquerschnitt und somit einen stabileren Instrumentenkern. Sie weisen einen scharfen Schneidekantenwinkel (verstärkter Schraubeneffekt) auf und führen daher zu einem hohen Substanzabtrag und effizientem Arbeiten (Koçkapan 2003).

Die heutigen rotierenden NiTi-Systeme werden mit einem speziellen Mikromotor betrieben. Der Mikromotor der Firma VDW München bietet die Anwendung mit verschiedenen NiTi-Systemen an. Mit der Programmauswahl lässt sich Drehzahl und Drehmoment der entsprechenden Feilenserie individuell auswählen. Bei Überschreiten von 75 % der Drehmomentgrenze gibt der Motor ein akustisches Signal und bei Erreichen des Grenzdrehmoments stoppt der Motor und ändert automatisch seine Drehrichtung. Auf dem Display leuchtet dann ein oranges Licht über den Kürzeln ASR (Auto Stop Reverse) auf. Somit wird einer Instrumentenfraktur vorgebeugt und eine drucklose Aufbereitung gewährleistet (Hülsmann 2001, Koçkapan 2003). Die Wurzelkanäle werden einfach nach entsprechender Feilensequenz konisch aufbereitet. Nickel-Titan-Instrumente sollten immer ohne Druck und unter strikter Einhaltung der vom Hersteller angegebenen Umdrehungszahl angewendet werden, da sie selbst bei sachgerechter Anwendung häufiger frakturieren als Stahlinstrumente. Um Instrumentenbrüche zu vermeiden, sind eine genaue Dokumentation der Anwendungshäufigkeit und die visuelle Kontrolle der Instrumente erforderlich. Ein

geradliniger Zugang zum Wurzelkanal, eine passive Arbeitsweise mit Auf- und Abwärtsbewegungen ohne apikalen Druck, häufige Spülungen zwischen den einzelnen Feilensequenzen, das rotierende Ein- und Ausführen der Instrumente und die Limitierung der Arbeitszeit eines Instruments im Wurzelkanal auf etwa 10 Sekunden beugen ebenfalls einer Instrumentenfraktur vor (Stellungnahme der DGZMK zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung 2005, Stellungnahme der DGZMK zur Fraktur von WK-Instrumenten 2007). Oft wird zusätzlich vor oder nach der maschinellen Aufbereitung der Einsatz von Handinstrumenten erforderlich, z.B. bei ovalem oder Sanduhr-förmigen Kanalquerschnitt oder iatrogen bedingten Stufen im Wurzelkanal (Hülsmann, Stryga 1993).

## **3.2 Obturation des Wurzelkanals**

### **3.2.1 Materialien für die Wurzelkanalfüllung**

Nach erfolgter Aufbereitung des Wurzelkanals ist der hermetisch dichte Verschluss mit einer Wurzelkanalfüllung erforderlich, um eine Reinfektion des Kanals zu verhindern. Die Wurzelkanalfüllung sollte von koronal nach apikal vollständig sein.

Bezüglich der Länge der Wurzelkanalaufbereitung und somit auch der Wurzelkanalfüllung gibt es in der Literatur unterschiedliche Ansichten (Stellungnahme der DGZMK zur Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge 2004). Die besten Ergebnisse retrospektiver Studien ergaben sich bei Aufbereitungen und anschließenden Wurzelkanalfüllungen 0 - 2 mm oberhalb des röntgenologischen Apex (Hasselgren 1994, Gutmann, Witherspoon 2002, Molander et al. 2003, Chandra et al. 2009). Die Materialien, die zur Wurzelfüllung verwendet werden, müssen nicht resorbierbar, leicht applizierbar, langsam erhärtend, biokompatibel, bakterizid oder bakteriostatisch, steril bzw. sterilisierbar, nicht porös, wandständig, volumenbeständig, röntgenopak, nicht den Zahn verfärbend und im Falle einer Revision auch leicht entfernbar sein (Stellungnahme der DGZMK: WK-Füllpasten und -füllstifte 2000). Im Laufe der Jahre wurden zahlreiche Materialien für die Wurzelkanalfüllung angewandt (z.B. Silber- oder Titanstifte), durchgesetzt hat sich jedoch die Kombination eines Sealers (Wurzelfüllpaste) mit Guttaperchastiften. Guttapercha ist ein Naturprodukt, das aus dem eingedickten Saft eines südostasiatischen Baumes (*Palaquium gutta*) gewonnen wird und chemisch dem Naturkautschuk ähnelt (Körber, Ludwig 1993). Guttapercha zählt zu den thermoplastischen Massen, die bei Zimmertemperatur wenig, bis unelastisch sind und bei Erwärmung in den plastischen Zustand übergehen. Die

Guttaperchapoints sind entsprechend der Kanalaufbereitung in allen ISO-Größen und in verschiedenen Konizitäten erhältlich. Der Sealer übernimmt die Aufgabe der Haftvermittlung mit der Kanalwand und soll den Raum zwischen den Guttaperchapoints auszufüllen. Die heutigen Sealer lassen sich entsprechend ihrer Zusammensetzung in drei Gruppen einteilen: Zinkoxid-Eugenol-Sealer, Epoxidharze und Calcium-Salicylate. Der in der Versuchsreihe verwendete Sealer *AH Plus* ist ein auf Epoxidharz basierender Sealer und wird von der DGZMK empfohlen (Stellungnahme der DGZMK: WK-Füllpasten und -füllstifte 2000).

### **3.2.2 Obturationstechniken**

Man unterscheidet, entsprechend der Temperatur der Guttapercha während der Wurzelkanalfüllung, die Kalt- und die Warmfülltechniken. Zu den Kaltfülltechniken mit Guttapercha zählen die Einstifttechnik (Single-cone-Technik) und die laterale Kompaktion sowie die Non-compaction-Technik als Sonderform der lateralen Kompaktion. Die Einstifttechnik ist die einfachste Fülltechnik, da nur ein Guttaperchapoint zusammen mit dem Sealer in den Kanal eingesetzt wird. Ihre Anwendung ist jedoch auf runde Kanalquerschnitte beschränkt, da bei ovalen Kanalquerschnitten mit dieser Fülltechnik keine dichte Wurzelfüllung zu erzielen ist. Voraussetzung ist, dass der Masterpoint dem aufbereiteten Kanal ungefähr in seiner Form gleicht. Diese Technik hat den Vorteil, dass sie relativ einfach durchführbar und zeitsparend ist. Die Zentralstifttechnik weist jedoch auch wesentliche Nachteile auf. Nach ihrer Aufbereitung sind die Wurzelkanäle nur sehr selten über ihre gesamte Länge rund und eine ausreichende Dichtigkeit der Wurzelfüllung ist fraglich. Die laterale Kompaktion und die Non-compaction-Technik hingegen sind etwas zeitaufwändiger, da neben dem Masterpoint noch weitere Guttaperchapoints in den Kanal eingebracht werden. Ziel ist es, die Schichtdicke des Sealers zu reduzieren, da dieser beim Abbinden schrumpft. Daher wird der Wurzelkanal weitgehend mit dem stabilen Kernmaterial Guttapercha und nur mit einer dünnen Schicht Sealer ausgefüllt. Selbst bei ovalem Kanalquerschnitt ist so eine dichte Wurzelkanalfüllung möglich. Zu den Warm- oder Heißfülltechniken zählt man die warme vertikale Kompaktion sowie Unterformen dieser (Hybridtechnik, etc.) und die thermoplastische Wurzelfüllung mit Trägersystemen. Die Wurzelfülltechniken mit erwärmter Guttapercha gehen auf H. Schilder zurück, der bereits 1967 Wurzelfüllungen mit beeindruckendem Ergebnis erzielte (Schilder 1967). Bei der warmen vertikalen Kompaktion mittels

Obturationsgerät (*Obtura Gun*) wird die Guttapercha auf bis zu 200°C erhitzt und schrittweise mit der Injektionskanüle in den Wurzelkanal eingebracht.

Bei den Warmfülltechniken kommt es zu einer enormen Hitzeentwicklung im Wurzelkanal und somit auch in der periapikalen Region. Durch die Verwendung eines Sealers wird die Temperatur der erhitzten Guttapercha von etwa 44°C um 4°C bis 7°C gesenkt und einer Koagulation der Proteine im periapikalen Gewebe, einer Ankylosierung und einer Resorption der Wurzel vorgebeugt (Marlin, Schilder 1973, Sauk et al. 1988). Die warme vertikale Kompaktion wird oft als sehr zeitaufwändige Fülltechnik beschrieben (Clinton, van Himel 2001, Hale et al. 2012). Bei den thermoplastischen Verfahren mit Trägersystemen wird ein allseits mit Guttapercha ummantelter Trägerstift aus Kunststoff in einem speziellen Ofen auf etwa 144°C erhitzt und in den mit Sealer beschickten Wurzelkanal eingebracht. Einerseits dient der Kunststoffträger zur Applikation, andererseits zur Druckausübung, um ein Nachfließen der erwärmten Guttapercha in Seitenkanäle und apikale Bereiche zu gewährleisten. Die Größen und Konizitäten der *Thermafil*-Stifte sind auf die ISO-Größen der Nickel-Titan-Instrumente abgestimmt und erleichtern somit die Auswahl des Füllstiftes. Durch den volumenkonstanten Kern, welcher in die homogene und dichte  $\alpha$ -Phase-Guttapercha eingebettet ist, soll die Schrumpfung der erwärmten Guttapercha aufgrund des geringen Anteils der Guttapercha wesentlich reduziert werden. Mit dem *Thermafil*-System werden mehr Seitenkanäle und ein höherer Anteil an Kanalvolumen gefüllt als mit der lateralen Kompaktion, allerdings penetrierte in weiteren Studien die Guttapercha bei der Lateralkompaktion tiefer in die Dentintubuli und folglich war die apikale Dichtigkeit beim *Thermafil*-System niedriger (Hale et al. 2012). Es gelingt mit *Thermafil* den Zementanteil zum Guttaperchaverhältnis wesentlich kleiner zu halten und damit auch die Blasenbildung zu reduzieren (Clinton, van Himel 2001, De-Deus et al. 2007 b). Vorteil der *Thermafil*-Technik ist der deutlich geringere Zeitaufwand gegenüber anderen Fülltechniken. Andererseits ist das Ausmaß an Überpressen von Wurzelfüllmaterial signifikant größer als bei lateraler Kompaktion (Baumann 2001, Keçeci et al. 2005).

## 4 Revision der Wurzelkanalbehandlung

### 4.1 Revisionsindikationen

Eine Wurzelkanalbehandlung wird als erfolgreich beurteilt, wenn der Patient beschwerdefrei ist, die Wurzelkanäle vollständig und dicht abgefüllt sind und radiologisch keine Anzeichen einer Parodontitis apicalis auszumachen sind, bzw. eine Verkleinerung einer apikalen Läsion erfolgte oder eine apikale Wurzelresorption zum Stillstand kam (Stellungnahme der DGZMK zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen 2000). Eine Erfolgskontrolle sollte nach sechs Monaten, nach einem Jahr, nach zwei und nach vier Jahren in Form einer Recall-Behandlung erfolgen (Stellungnahme der DGZMK: „Good clinical practice“: Die Wurzelkanalbehandlung 2005). In Studien wurde der Langzeiterfolg einer Wurzelkanalbehandlung aber sogar nach fünf, sechs oder zehn Jahren bewertet (Farzaneh et al. 2004 b, De Chevigny et al. 2008). Der Langzeiterfolg einer Wurzelkanalbehandlung wird maßgeblich beeinflusst von den apikalen Verhältnissen vor der Wurzelkanalbehandlung, Vitalität und Schmerzsymptomen vor der Wurzelkanalbehandlung, dem apikalen Ende der Kanalaufbereitung und der Wurzelfüllung und der Kompaktion der Wurzelfüllung, sowie der postendodontischen koronalen Restauration. Die Revision einer Wurzelkanalfüllung ist notwendig, wenn klinische oder radiologische Befunde einer Parodontitis apicalis an bereits wurzelkanalbehandelten Zähnen auftreten. Die klinischen Symptome sind oft Perkussions- und Palpationsempfindlichkeit sowie Schwellung oder Fistelbildung im Bereich der Wurzeln. Radiologisch zeigt sich meist eine apikale Osteolyse, eine unvollständige Wurzelkanalfüllung oder ein übersehener, nicht instrumentierter Wurzelkanal. Vor einer geplanten prothetischen Restauration müssen die apikalen Verhältnisse des zu versorgenden Zahnes abgeklärt werden und inhomogene oder über zwei bis drei Millimeter vor dem radiologischen Apex endende Wurzelkanalfüllungen revidiert werden, auch wenn Beschwerdefreiheit besteht. Eine Revision sollte auch erfolgen, wenn eine Wurzelfüllung aufgrund einer insuffizienten Deckfüllung („Mikro-Leakage“) über Wochen dem Mundmilieu ausgesetzt war und das Risiko einer massiven Keimbesiedelung des Wurzelkanals besteht (Saunders, Saunders 1994, Weiger et al. 1994, Hülsmann, Weiger 1994, Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Revision einer Wurzelkanalbehandlung 2004). Ziel der Revision einer Wurzelkanalbehandlung ist die Wiederherstellung der Integrität periapikaler Verhältnisse sowie die Beseitigung oder Prävention klinischer Symptome durch die erneute Aufbereitung und Reinigung des Wurzelkanals und den hermetisch dichten

Verschluss des Wurzelkanals durch die Wurzelfüllung und die koronale Restauration (Weiger et al. 1994, Hülsmann, Weiger 1994, DGZMK-Stellungnahme 2004).

## **4.2 Methoden zur Revision von Wurzelkanalfüllungen**

Grundsätzlich gibt es zwei Methoden zur Revision von Wurzelkanalfüllungen. Man unterscheidet die konservativ-endodontische oder orthograde sowie die chirurgisch-endodontische Revision einer Wurzelkanalfüllung. Das konservativ-endodontische Vorgehen ist immer der kleinere Eingriff für den Patienten und bei primärer Revision wurzelkanalgefüllter Zähne die Methode der Wahl (Allen et al. 1989, Kvist, Reit 2000, Hülsmann 2001). Die chirurgisch-endodontische Revision zeigt zwar initial eine sehr hohe Erfolgsrate (nach zwei bis vier Jahren 77,8 %), aber der Langzeiterfolg ist bei der orthograden Revision (nach vier bis sechs Jahren 83 %) höher (Torabinejad et al. 2009). Die klinische Studie von Salehrabi und Rotstein zeigte ebenfalls eine sehr hohe Erfolgsrate der orthograden Revision von 89 % nach fünf Jahren (Salehrabi, Rotstein 2010).

Die konservativ-endodontische Revision der Wurzelkanalfüllung kann, ebenso wie die initiale mechanische Aufbereitung des Wurzelkanals, manuell oder maschinell erfolgen. Es liegen bereits zahlreiche Studien vor, welche die Revision einer Wurzelkanalfüllung untersuchen. Zumeist erfolgte die Wurzelfüllung mittels lateraler Kompaktionstechnik (Baldassari-Cruz, Wilcox 1999, Zmener et al. 2006, De Oliveira et al. 2006, Barletta et al. 2007, Barletta et al. 2008). Die anschließende Revision der Füllungen wurde meist mit einem maschinellen System im Vergleich zur manuellen Revision durchgeführt (Ferreira et al. 2001, Barrieshi-Nusair 2002, De Carvalho Marciel et al. 2006, Zmener et al. 2006).

In vorangegangenen Studien fanden die verschiedensten Methoden Anwendung bei der Revision. Somit kamen Handfeilen, Ultraschallsysteme, verschiedene Lösungsmittel, erhitzte Instrumente (heat-carrier), rotierende Feilensysteme, Laser und Kombinationen dieser Methoden beim Entfernen von Wurzelkanalfüllungen zum Einsatz (Friedman et al. 1990, Zakariasen et al. 1990, Ladley et al. 1991, Hülsmann, Stotz 1997, Baratto Filho et al. 2002). Die Revision mit maschinellen NiTi-Systemen hat sich aufgrund der Einfachheit und Effizienz der Anwendung bis jetzt jedoch durchgesetzt (Baramante, Betti 2000, Betti, Bramante 2001, Ferreira et al. 2001, Baratto Filho et al. 2002). Mittlerweile existiert für fast jedes auf dem Dentalmarkt erhältliche NiTi-System eine Revisionsstudie.

Bislang wurde in keiner Studie die Revisionseffizienz von Wurzelkanalfüllungen nach verschiedenen Obturationstechniken bei schrittweise zunehmender Aufbereitungsgröße untersucht. Das letzte zur Revision verwendete Instrument dieser Vergleichsstudie wurde um zwei Instrumentengrößen (.04/#50) größer als die abschließend zur Aufbereitung der Wurzelkanäle benutzte Instrumentengröße (.04/#40) gewählt. Nur so ist schließlich sicherzustellen, dass auch in die Dentinkanälchen eingedrungene Guttapercha- und Sealerreste nach der maschinellen Revision der Wurzelkanalfüllungen weitestgehend entfernt werden.

Im überwiegenden Anteil vergleichbarer Arbeiten wurde meist ein Lösungsmittel, oft mehrfach, während der Revision verwendet (Zaccaro Scelza et al. 2008 vergleicht drei verschiedene Lösungsmittel, Aydin et al. 2009). Die Eindringtiefe des Lösungsmittels in die Dentinkanälchen während der Revision ist aufgrund der verschiedenen anatomischen Besonderheiten des Dentins – wie Sklerosierung oder Durchmesser der Dentintubuli – nicht vorhersagbar. Als Lösungsmittel während der Revision finden Orangenöl, Chloroform, Xylol, Eukalyptusöl, Halothan und Terpentin Anwendung.

Chloroform, Xylol, Halothan, Eukalyptusöl und Terpentin wurden in der Vergangenheit bereits als zytotoxisch und kanzerogen eingestuft (Zaccaro Scelza et al. 2006, International Agency for research of cancer (IARC) 1989). Halothan (halogener Kohlenwasserstoff) ist ein Narkotikum. Es wird in der Medizin als Inhalationsanästhetikum eingesetzt, da es fett- und blutbindend ist und somit im Blut schnell an- und abflutet (Pschyrembel 2002).

In dieser Studie wurde bewusst kein Lösungsmittel während der Revision verwendet, um die Anzahl der Variablen zu minimieren und den Schwerpunkt der Beobachtungen auf die maschinelle Revision der Wurzelfüllungen zu legen (so auch: Wilcox, Juhlin 1994, Pirani et al. 2009). Die mechanische Revision der Wurzelkanalfüllungen erfolgte in nahezu allen Studien nur bis zu der Instrumentengröße während der Kanalaufbereitung (MAI / MAF) (Zaccaro Scelza et al. 2008). Es konnten somit auch keine Sealer- und ggf. Guttaperchareste in den Dentintubuli instrumentiert werden.

## 5 Material und Methoden

### 5.1 Versuchsdesign

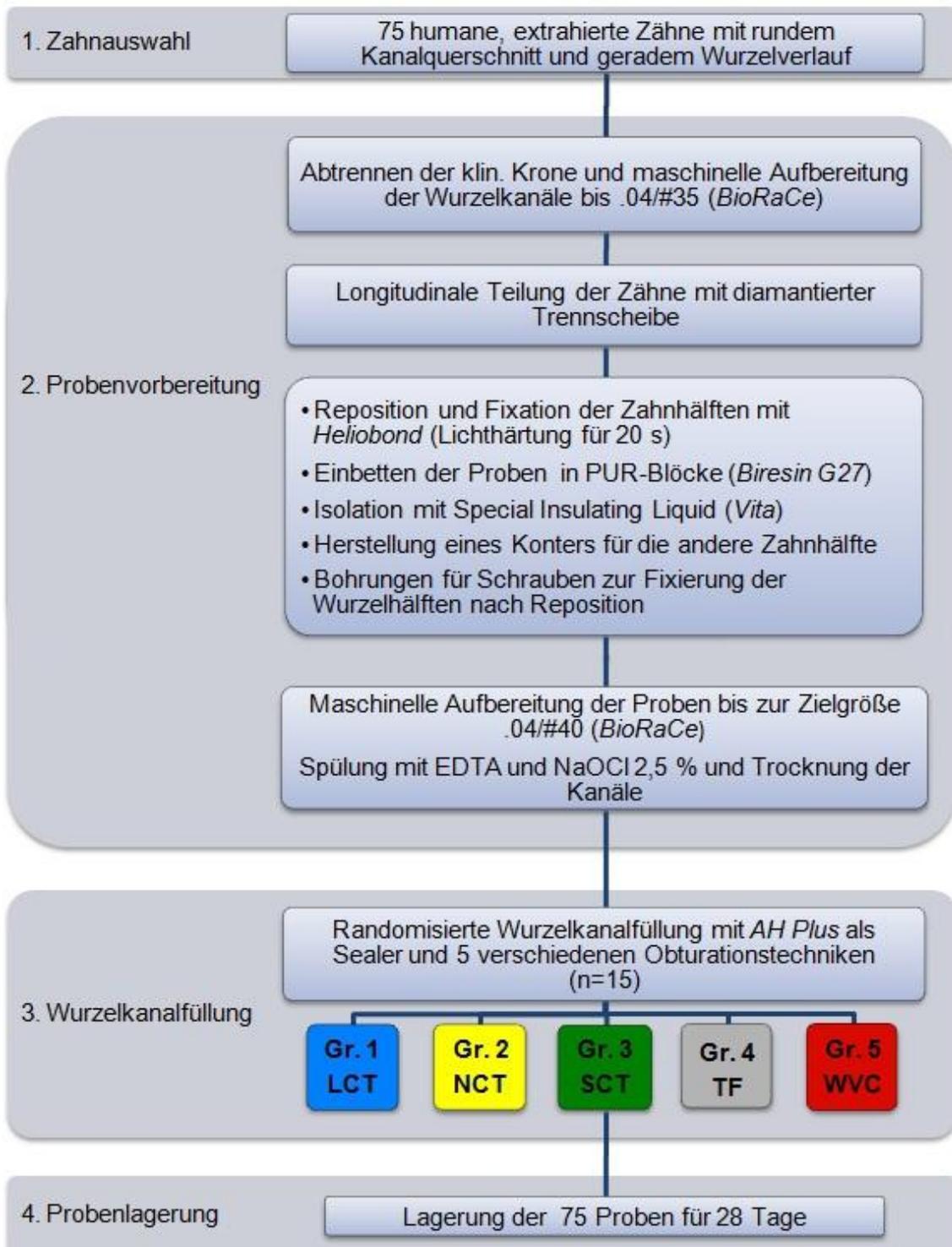


Abb. 1: Vorgehensweise bei der Vorbereitung, Wurzelkanalfüllung und Lagerung der Proben

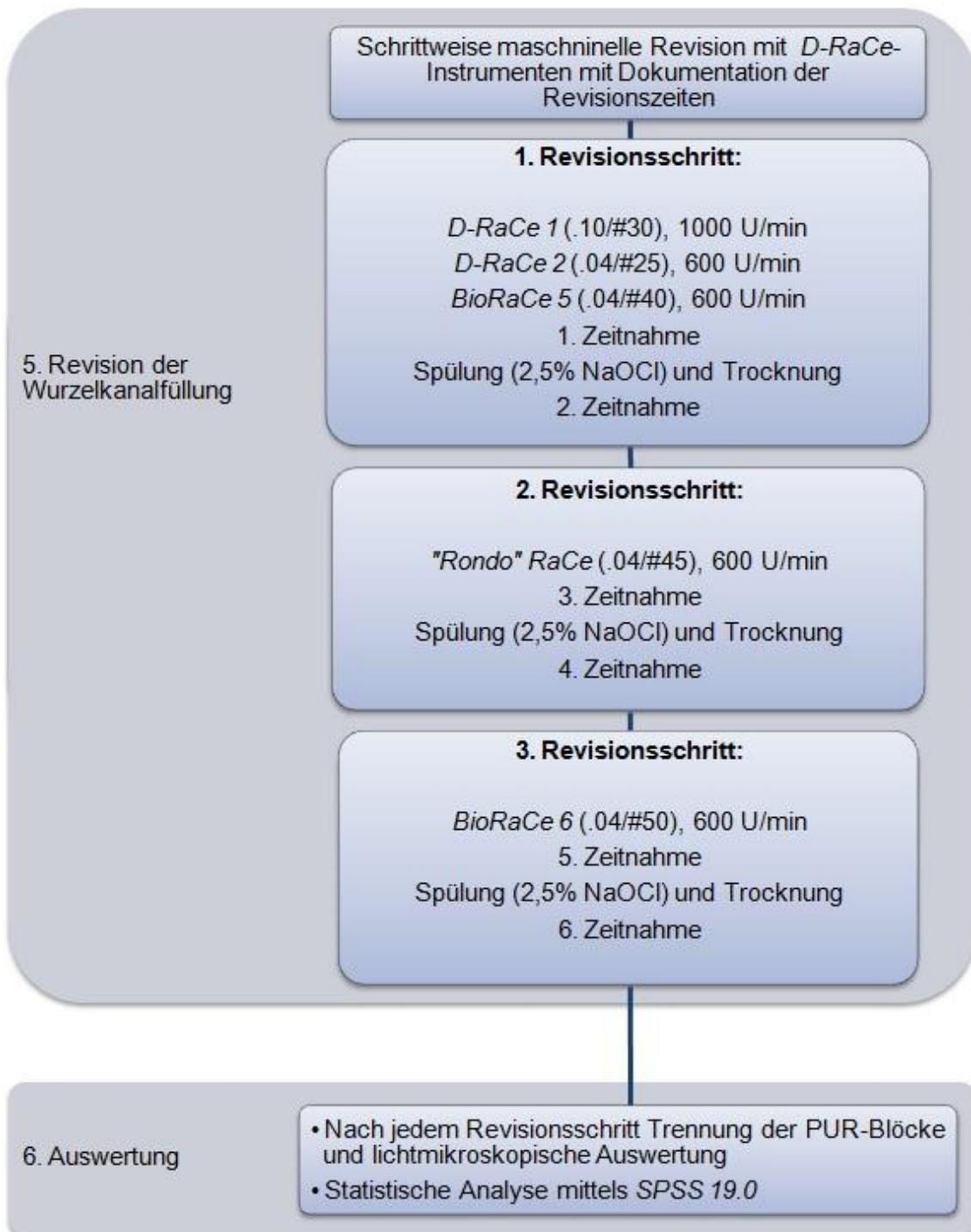


Abb. 2: Methodisches Vorgehen bei der schrittweisen Revision der Wurzelkanalfüllung

## 5.2 Vorbereitung der Zähne

Für die Vergleichsstudie wurden 75 extrahierte, humane Zähne verwendet. Es handelte sich dabei sowohl um Front- als auch um Seitenzähne. Die Probenzähne wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- bleibende Zähne
- abgeschlossenes Wurzelwachstum
- keine Wurzelkanalfüllung oder Wurzelauflaufstifte
- eine Wurzel und ein Wurzelkanal
- möglichst gerader Kanalverlauf
- runder Wurzelkanalquerschnitt
- Wurzellänge mindestens 9 mm

Die Auswahl der Zähne erfolgte aufgrund von Röntgenaufnahmen jeweils in mesio-distaler und vestibulo-oraler Projektionsrichtung.



Abb. 3: Zahn 10 (*Thermafil*-Technik)

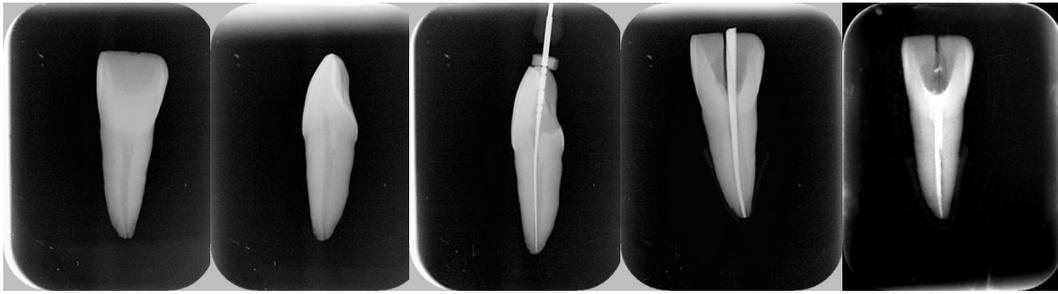


Abb. 4: Zahn 15 (laterale Kompaktionstechnik)

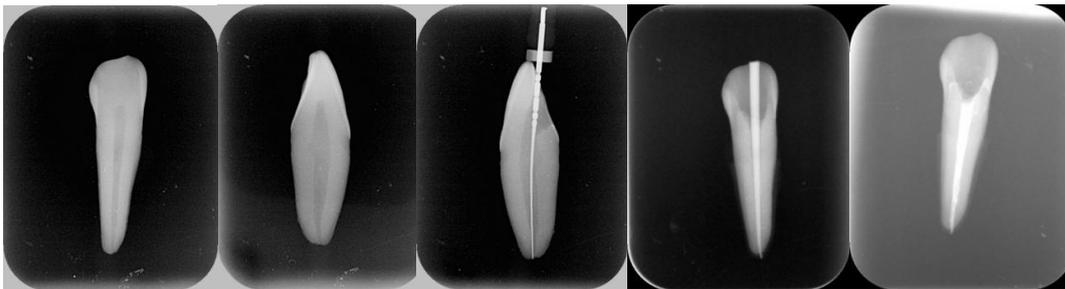


Abb. 5: Zahn 5 (laterale Kompaktionstechnik)

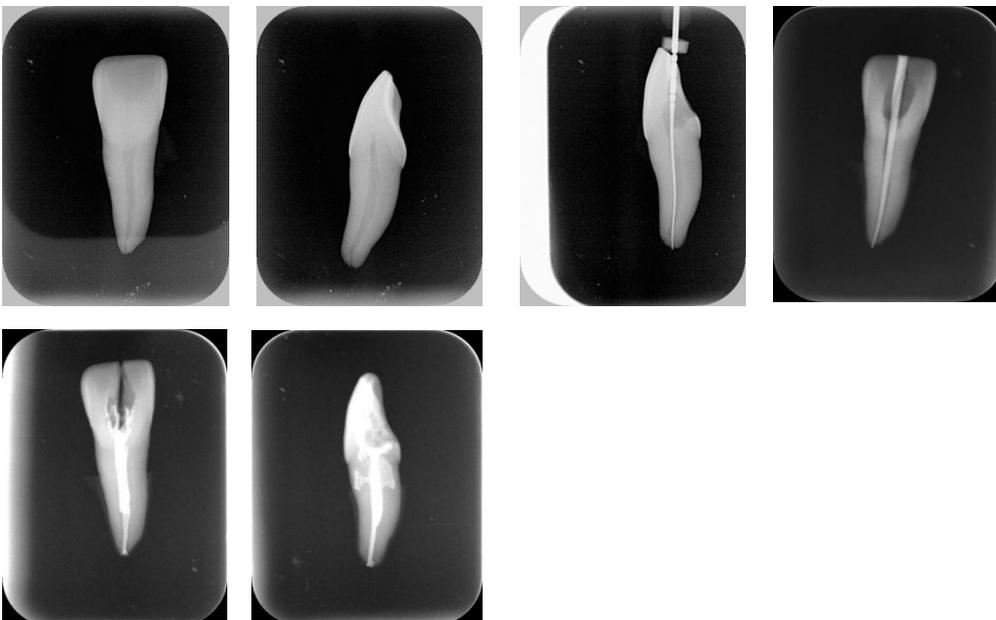


Abb. 6: Zahn 6 (Single-cone-Technik)

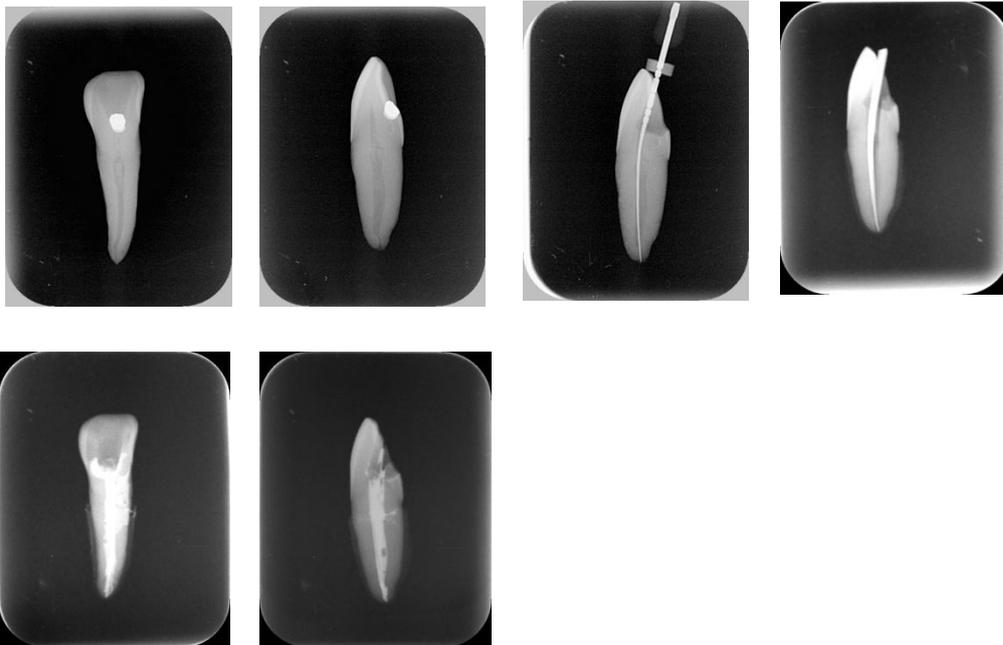


Abb. 7: Zahn 16 (Non-compaction-Technik)

Nach der Extraktion wurden die Zähne zum Schutz vor Austrocknung und Versprödung bis zum Versuchsbeginn in einer 0,1 %-igen Thymol-Lösung gelagert. Zu Beginn der Versuchsreihe wurden Desmodont, Zahnstein und Konkremente sowie Knochenreste mit Scalern und Küretten von den Zahnoberflächen entfernt. Anschließend wurde die anatomische Zahnkrone der Probenzähne mit einer diamantierten Trennscheibe abgetrennt. Nach dem Trepanieren der Zähne mit einem zylindrischen Diamantschleifer und einem Rosenbohrer wurden sie mit Hilfe von Handinstrumenten (*C-Pilot*-Feilen der ISO-Größe 08 und 10 und *K*-Feilen der ISO-Größe 08) auf Gängigkeit überprüft. Die Kanaleingänge wurden durch das Bearbeiten mit *Gates-Glidden*-Bohrern besser dargestellt. Im Anschluss an das manuelle Entfernen des Pulpagewebes und dem Festlegen der Arbeitslänge (AL = Messlänge) erfolgte das maschinelle Aufbereiten der Kanäle mit dem rotierenden Nickel-Titansystem *BioRaCe* (*FKG Dentaire*) bis zu der festgelegten definitiven Arbeitsgröße von .04/#35 bis zum Apex. Die Wurzelkanäle wurden nach der Crown-down-Technik aufbereitet und bei einer konstanten Umdrehungszahl von 500-600 U x min<sup>-1</sup> bearbeitet.

Die *BioRaCe*-Nickel-Titan-Feilen wurden in folgender Reihenfolge angewendet:

.08/#25	.05/#15	.04/#25	.06/#25	.04/#35	Trennung der Zähne, Reposition der Zahnhälften und Einbettung in <i>Biresin</i> -Blöcke	.04/#40
---------	---------	---------	---------	---------	---	---------

Tabelle 1: Anwendung der *BioRaCe*-NiTi-Feilen; Abfolge von links nach rechts.

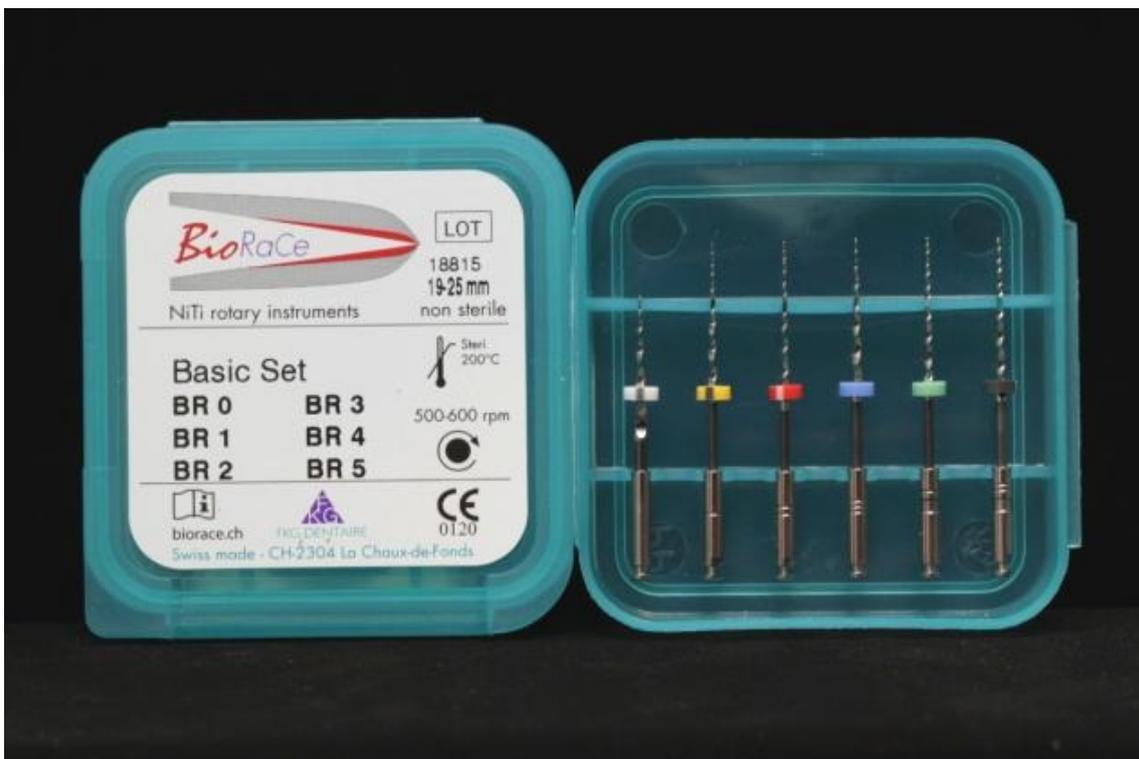


Abb. 8: Für die maschinelle Aufbereitung verwendete *BioRaCe*-NiTi-Instrumente der Firma *FKG Dentaire*

Zwischen den einzelnen Instrumentengrößen wurde mit einer 2,5 %-igen NaOCl-Lösung mittels Endospülkanüle gespült und anschließend mit Papierspitzen der Größe .04/#35 getrocknet. Danach wurden die Probenzähne entlang ihrer Längsachse mit einer diamantierten Trennscheibe in zwei Zahnhälften geteilt. Die Zahnhälften wurden reponiert und mit Hilfe von *Heliobond* unter 20-sekündiger Lichthärtung wieder zueinander fixiert. Um eine Verblockung des Wurzelkanals zu verhindern wurde vor

dem Auftragen des Bondings und der Fixation eine Papierspitze der Größe .04/#35 in den Kanal eingeführt. Schließlich wurden die Proben (zu je drei Zähnen) mit einer Zahnhälfte in *Biresin* eingebettet. Die *Biresin*-Blöcke wurden mit einer dünnen Schicht der Spezial-Isolierflüssigkeit der Firma *Vita* (*Special Insulating Liquid – Vita Zeta*) isoliert und ein Konter aus *Biresin* für die jeweils andere Zahnhälfte hergestellt. Im Zentrum der *Biresin*-Blöcke (apikal der Wurzelspitzen) wurde eine Bohrung für eine Schraube angefertigt. Die Schrauben dienten während des gesamten Versuchsablaufs zur sicheren Fixierung der Zahnhälften zueinander. Nach der Einbettung erfolgte die maschinelle Aufbereitung der Probenzähne mit *BioRaCe*-Feilen bis zur ISO-Größe .04/#40. Abschließend wurden die Kanäle mit 17 %-iger EDTA-Lösung und 2,5 %-iger NaOCl-Lösung gespült und mit Papierspitzen der Größe .04/#40 getrocknet, bis keine Restfeuchtigkeit mehr festzustellen war.



Abb. 9: Spezial-Isolierflüssigkeit für Polyurethangießharz



Abb. 10: Polyurethangießharz (*Biresin*)

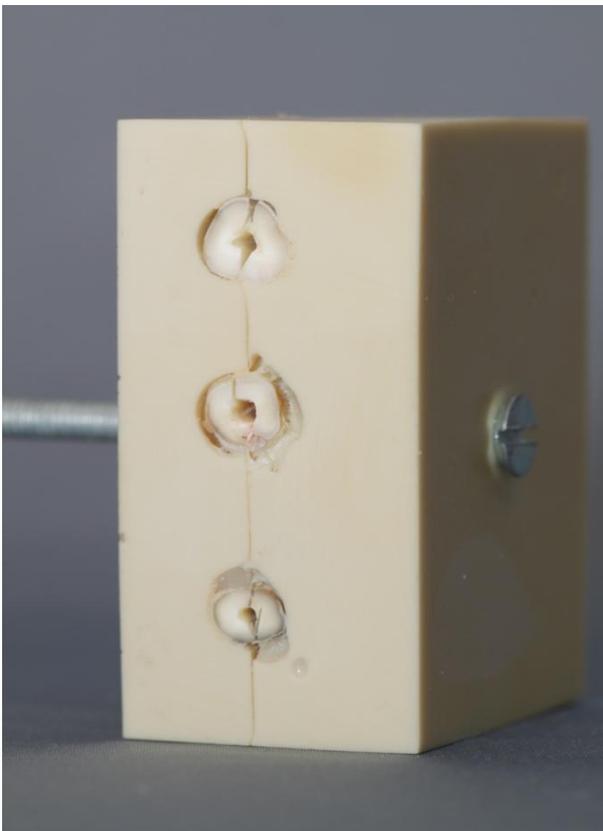


Abb. 11: *Biresin*-Block mit drei Proben

### 5.3 Wurzelkanalfüllung der Proben

Per Zufallsprinzip wurden die 75 Zähne je einer der fünf zu untersuchenden Wurzelkanalfülltechniken zugeordnet, so dass letztlich fünf Gruppen zu jeweils 15 Probenzähnen entstanden. Die Obturation der Wurzelkanäle erfolgte dabei in einer zufällig festgelegten Reihenfolge, um einen Übungseffekt zu vermeiden. Die angewandten Wurzelkanalfülltechniken waren die laterale Kompaktion, die Single-cone-Technik, die Non-compaction-Technik, die warme Vertikalkompaktion und die *Thermafil*-Technik. Bei allen Fülltechniken wurde *AH Plus* als Sealerpaste verwendet und mittels eines Lentulos der ISO-Größe 25 in den Kanal eingebracht. Nach dem Abfüllen mit den verschiedenen Wurzelfülltechniken wurden die 75 Proben in einer, mit in 0,1 %-iger Thymol-Lösung getränkten Tüchern ausgelegt, Kunststoffbox gelagert. Die Lagerung erfolgte bei 37°C und 100 % Luftfeuchte. Bevor die Revisionsreihe beginnen konnte, mussten die Wurzelfüllungen vollständig ausgehärtet sein. Bis zum Beginn der schrittweisen Revision vergingen etwa 28 Tage.



Abb. 12: Wurzelkanalsealer auf Epoxidharz-Basis (Basis- und Katalysatorpaste)

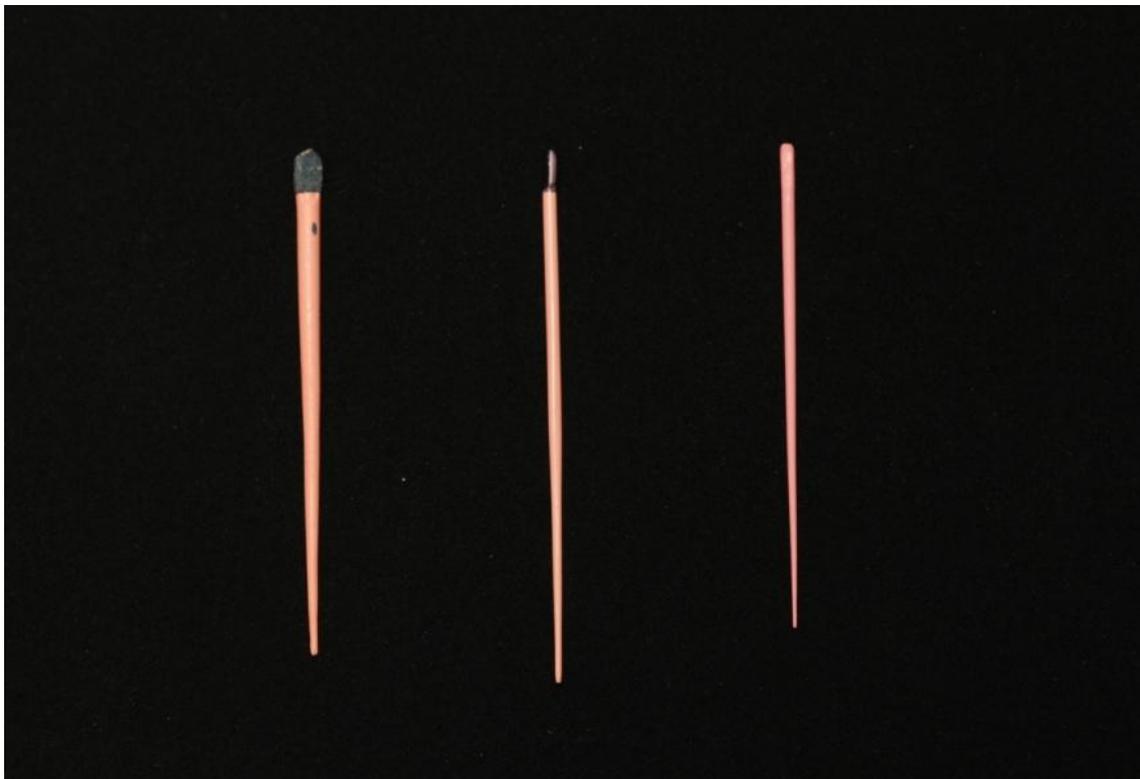


Abb. 13: Guttaperchastifte: (v.l.) .04/#40, .02/#40, .02/#25

### 5.3.1 Laterale Kompaktion

Bei der lateralen Kompaktion wurden nach dem Einbringen des Sealers, neben dem Masterpoint der ISO-Größe 40, akzessorische Guttaperchastifte der ISO-Größe 25 in den Kanal eingebracht und kondensiert. Der für die akzessorischen Stifte benötigte Platz im Wurzelkanal wurde dabei durch forcierte laterale Bewegungen mit Hilfe eines Fingerspreaders der ISO-Größe 25 geschaffen. Der Masterpoint, mit geringerer Konizität als die Konizität der Kanalaufbereitung, wurde somit mechanisch an die Wurzelkanalwand gedrückt. Der Spreader wurde entfernt und ein weiterer Guttaperchastift in den Kanal eingebracht. Dieser Vorgang wurde so oft wiederholt, bis keine akzessorischen Stifte tiefer als 2 bis 3 mm in den Wurzelkanal eingeführt werden konnten. Die koronal überstehenden Guttaperchastifte wurden mit einem erhitzten Kugelstopfer abgetrennt und abschließend wurde die Wurzelfüllung mit einem Wurzelkanalstopfer (Plugger) von vertikal nachkondensiert.

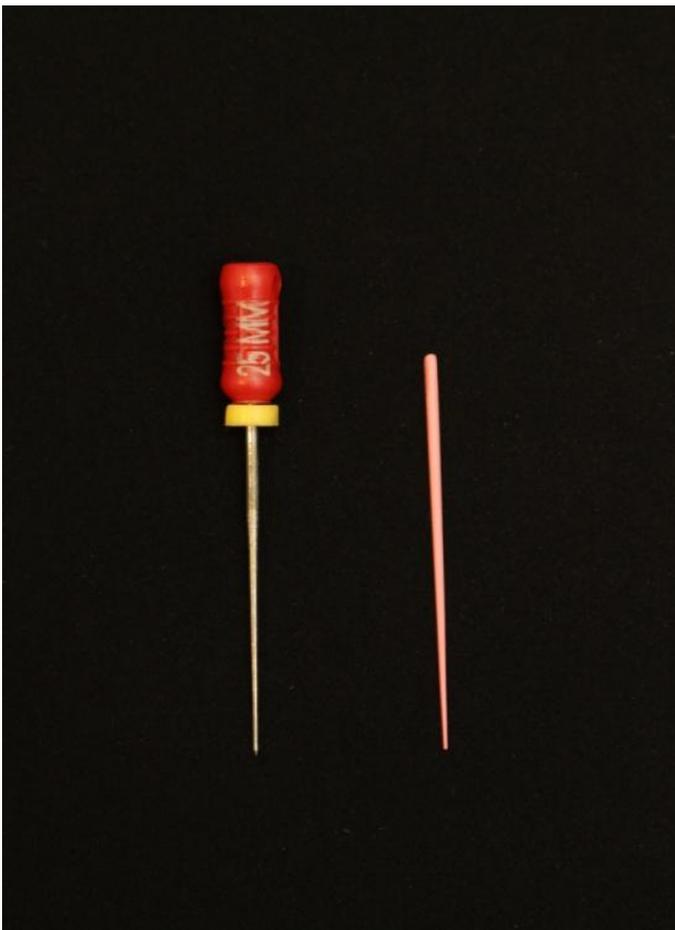


Abb. 14: Fingerspreader und Guttaperchastift (beide) #25

### 5.3.2 Non-compaction-Technik

Diese Technik ähnelt der lateralen Kompaktionstechnik, allerdings erfolgt bei der Non-compaction-Technik kein forciertes laterales Einsatz des Fingerspreaders, um Platz für die akzessorischen Guttaperchastifte zu schaffen.

Nach dem Einbringen des Sealers mittels Lentulo wurde ein Masterpoint der Größe .04/#40 in den Wurzelkanal eingebracht und vorsichtig akzessorische Guttaperchastifte der ISO-Größe .02/#25, in den Raum zwischen Kanalwand und Masterpoint, nachgeschoben. Der Spreader wurde lediglich verwendet, um überschüssigen Sealer zu beseitigen und eine bessere Übersicht zu erhalten, um akzessorische Stifte gezielt nachschieben zu können. Abschließend wurden wieder die überstehenden Guttaperchastifte abgetrennt und mit dem Wurzelkanalstopfer vertikal nachkondensiert.

### 5.3.3 Single-cone-Technik

Bei der Single-cone-Technik (auch: Einstifttechnik, Zentralstifttechnik) wurde nach Einbringen des *AH Plus*-Sealers mittels Lentulo ein Guttaperchastift der Größe .04/#40 zentral in den Wurzelkanal eingebracht. Der Guttaperchapoint wurde entsprechend der zuletzt zur Aufbereitung des Wurzelkanals benutzten Feilengröße ausgewählt und angepasst. Der koronal überstehende Guttaperchastift wurde erhitzt und abgetrennt. Anschließend wurde erneut mittels eines Pluggers vertikal nachkondensiert.

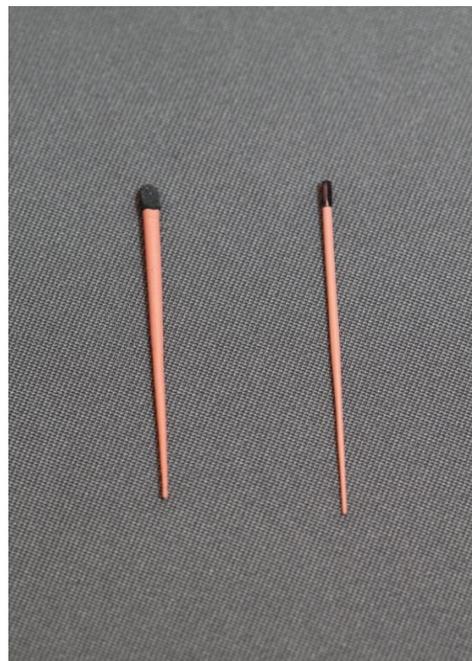


Abb. 15: Guttaperchastifte (v.l.)  
.04/#40 und .02/#25

#### **5.3.4 Warme Vertikalkompaktionstechnik**

Bei der warmen vertikalen Kompaktionstechnik wurden die Wurzelkanäle zuerst mittels Lentulo mit dem Sealer beschickt. Anschließend wurde ein Masterpoint der Größe .04/#40 entsprechend der Aufbereitungsendgröße der Wurzelkanäle in den Kanal eingebracht. Der Guttapercha wurde dann mit einem Hitzeinstrument so zirkulär der Kanalwand entlang abgetragen, dass etwa 2 mm apikal verblieben. Mit einem zuvor eingepassten Wurzelkanalstopfer (Plugger) wurde schließlich vertikal nachkondensiert. Nach Abfüllen des apikalen Kanalanteils erfolgte das schrittweise Abfüllen des mittigen und koronalen Kanalanteils. Mit der *Obtura-II-Gun* wurde in 2 bis 3 mm Schichten heißer Guttapercha in den Kanal injiziert und mittels Plugger kalt nachkondensiert. Dieser Vorgang wurde so oft wiederholt, bis der gesamte Wurzelkanal abgefüllt war. Bei der Hochtemperaturinjektionsmethode mit der *Obtura-Gun* wurde der Guttapercha auf eine Temperatur von 160°C erhitzt, dadurch erweicht und mittels Injektionspistole in den Wurzelkanal injiziert.

#### **5.3.5 Thermafil-Technik**

Bei der *Thermafil*-Technik wurde ein mit Guttapercha ummantelter Polymerkunststoffträger (Plastik-Carrier) der Größe .04/#40, entsprechend der zuletzt zur Wurzelkanalaufbereitung benutzten Feilengröße, in einem speziellen Guttapercha-Ofen (*Thermaprep Plus Oven, Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz*) erwärmt und in den, mit *AH Plus*-Sealer beschickten, Wurzelkanal eingebracht. Der Kunststoffträger des *Thermafil*-Stiftes verblieb als ein Bestandteil des Füllungsmaterials im Wurzelkanal. Der koronale Überschuss des *Thermafil*-Stiftes wurde mit einem erhitzten Instrument abgetrennt.

## 5.4 Revision der Wurzelkanalfüllung

Nach vierwöchiger Lagerung der 75 Probenzähne bei 100 % Luftfeuchte und 37°C, erfolgte die schrittweise maschinelle Revision mit *RaCe*-Nickel-Titan-Feilen der Firma *FKG Dentaire*, Schweiz. Für jeden Revisionsschritt wurden dabei die dafür benötigte Zeit sowie die Spülzeiten gemessen und eine lichtmikroskopische Aufnahme je Zahnhälfte und Kanalabschnitt angefertigt.

Im ersten Revisionsschritt wurden die 75 Zähne mit einer *D-RaCe*-Feile der Größe .10/#30 mit einem drehwinkelbegrenzten Mikromotor bei 1000 U x min<sup>-1</sup> im koronalen Wurzel Drittel bearbeitet. Danach erfolgte der Einsatz einer *D-RaCe* der Größe .04/#25 bei 600 U x min<sup>-1</sup>, die bis auf volle Arbeitslänge eingeführt wurde. Abschließend wurden die Zähne auf volle Arbeitslänge mit der, während ihrer Aufbereitung als letztes Instrument (Final File) eingesetzten, *BioRaCe* Größe .04/#40 bei 500-600 U x min<sup>-1</sup> auf volle Arbeitslänge instrumentiert.

Nach diesem ersten Revisionsschritt, der den Einsatz von drei Nickel-Titan-Feilen umfasste, erfolgte die erste Zeitmessung. Nun wurde der Wurzelkanal unter erneuter Zeitmessung mit 2,5 %-iger NaOCl-Lösung gespült und mit Papierspitzen der Größe .04/#40 getrocknet. Zur Beurteilung der Sauberkeit der Wurzelkanäle wurden die *Biresin*-Blöcke geöffnet. Dies ermöglichte den Blick auf beide Zahnhälften. Unter einem Lichtmikroskops der Firma *Leica* wurden digitale Fotoaufnahmen der Proben erstellt. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe der kostenlosen Software *Image Tool* (<http://ddsdx.uthscsa.edu/dig/itdesc.html>).

Die Zahnhälften wurden in den *Biresin*-Blöcken wieder zueinander fixiert. Im zweiten Revisionsschritt erfolgte die Instrumentierung der Zähne mit einer „*Rondo*“ *RaCe*-Feile der Größe .04/#45 (Sonderanfertigung) auf volle Arbeitslänge bei 600 U x min<sup>-1</sup>. Währenddessen wurde wieder die für diesen Revisionsschritt benötigte Zeit ermittelt. Danach wurden die Wurzelkanäle mit 2,5 %-iger NaOCl-Lösung gespült und mit Papierspitzen der Größe .04/#45 getrocknet. Während des Spül- und Trocknungsvorgangs wurde erneut die Zeit gemessen.

Nach diesem zweiten Revisionsschritt wurden die *Biresin*-Blöcke und somit die Zahnhälften wieder getrennt und es erfolgte erneut die visuelle statistische Auswertung der Sauberkeit der Wurzelkanäle mit Hilfe des Lichtmikroskops der Firma *Leica* und der Bildbearbeitungssoftware *Image Tool*.

Nach erneutem Zusammensetzen der Zahnhälften bzw. *Biresin*-Blöcke wurden die Proben im dritten und letzten Revisionsschritt mit der *BioRaCe*-Feile der Größe

.04/#50 bei 300 bis 600 U x min<sup>-1</sup> wieder auf volle Arbeitslänge instrumentiert. Die benötigte Zeit wurde währenddessen wieder erfasst.

Abschließend erfolgte die Spülung mit 2,5 %-iger NaOCl-Lösung und Trocknung mit Papierspitzen der Größe .04/#50, erneut unter Messung der dafür benötigten Zeit.

Auch im letzten Revisionsschritt wurden die Zahnhälften wieder anhand von lichtmikroskopischen Aufnahmen und mit Hilfe des Programmes *Image Tool* statistisch ausgewertet. Bei der Auswertung der lichtmikroskopischen Bilder waren jeweils die Gesamtfläche des jeweiligen Wurzelkanalabschnittes sowie die darin enthaltenen Sealer- und Guttapercharesten von Interesse.



Abb. 16



Abb. 17

Abb. 16 und 17: Revisionsinstrumente Schritt 1



Abb.18:  
Revisionsinstrument Schritt 2



Abb.19:  
Revisionsinstrument Schritt 3



Abb. 20: Einzelhälften des *Biresin*-Blocks

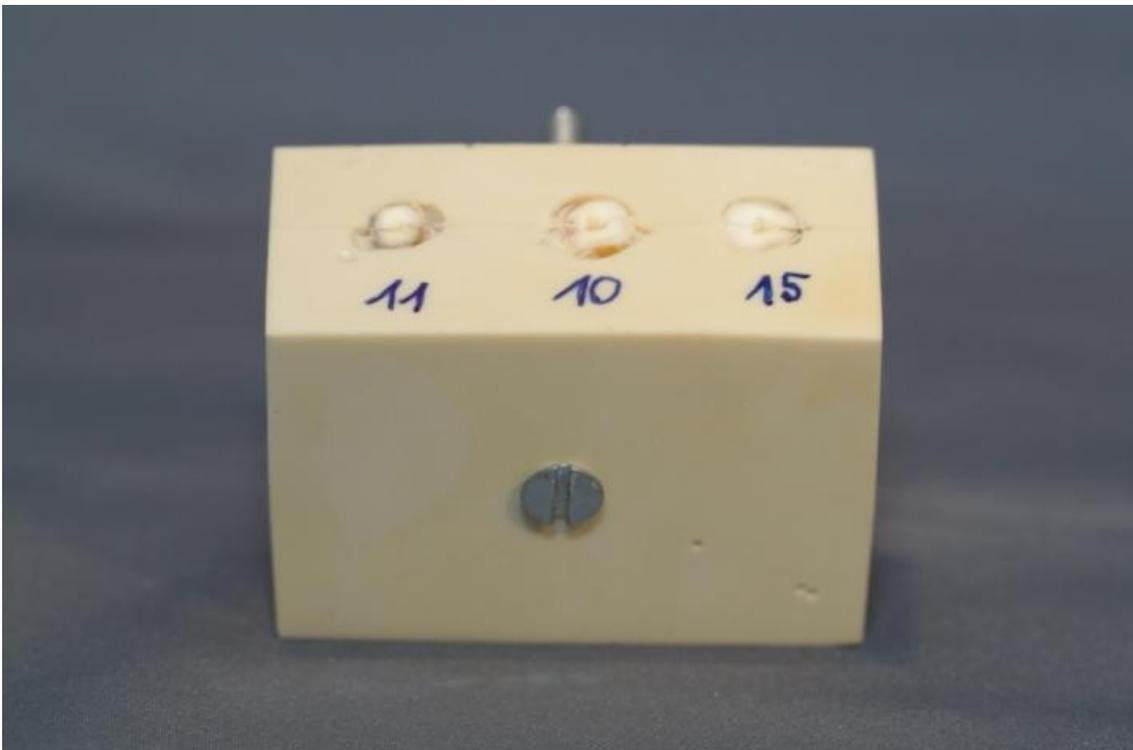


Abb. 21: Mit Schraube fixierter *Biresin*-Block

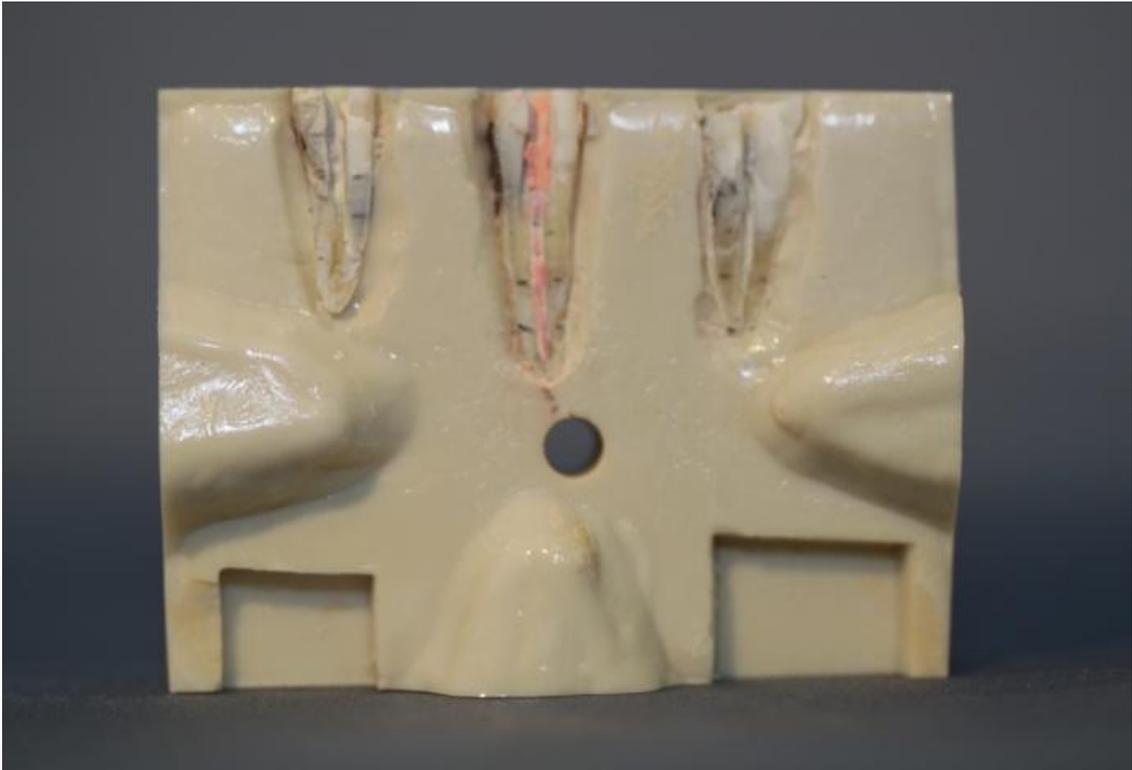


Abb. 22: Obere Hälfte des *Biresin*-Blocks

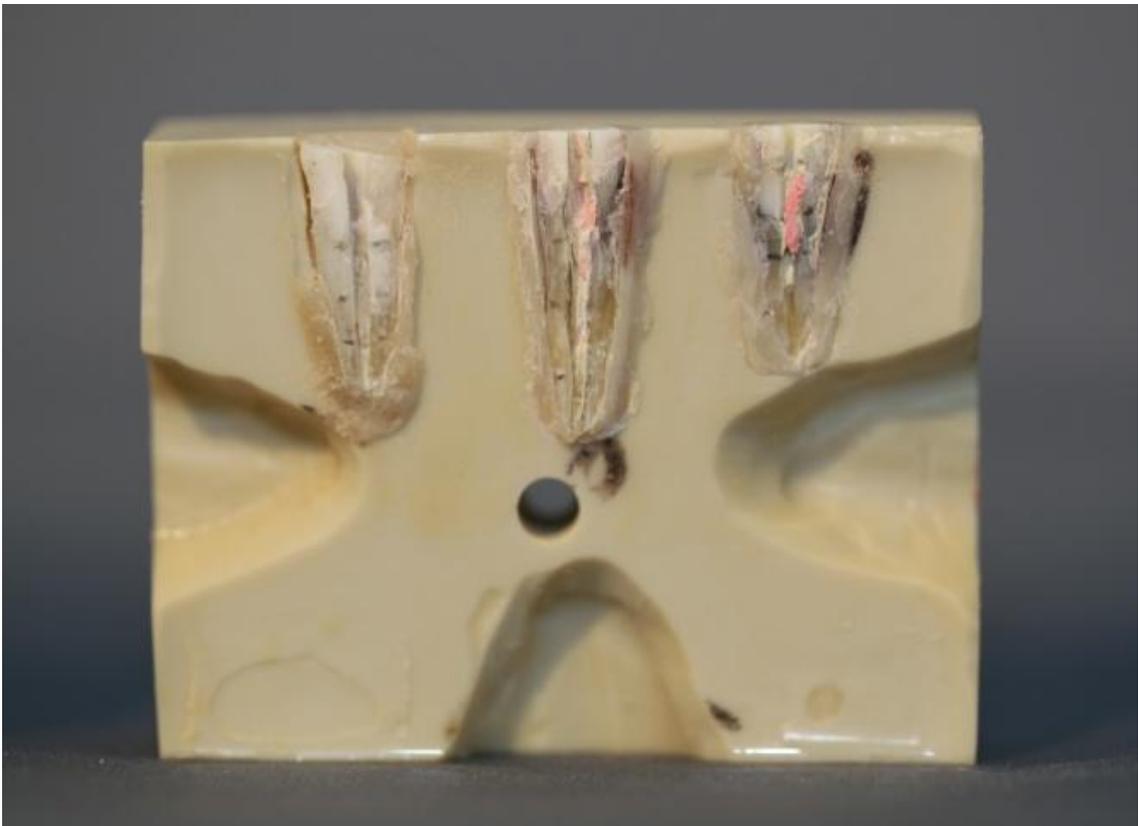


Abb. 23: Untere Hälfte des *Biresin*-Blocks

## 5.5 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Proben erfolgte anhand von lichtmikroskopischen Bildern, die mittels *Leica* Mikroskop bei 4-facher und 16-facher Vergrößerung und der Software *Leica Application Suite* digital erstellt wurden. Jede Wurzelhälfte wurde in drei Kanalabschnitte unterteilt – koronales, mittleres und apikales Wurzelkanaldrittel – und schrittweise fotografiert. Die Fotos wurden mit der Bildbearbeitungssoftware *Image Tool* bearbeitet und Sealer- und Guttapercharesten an den Wurzelkanalwänden markiert und kalkuliert. Die erhobenen Revisions- und Spülzeiten wurden in eine *Excel*-Tabelle übertragen und in die Statistik einbezogen.

Die statistische Analyse erfolgte schließlich mit der Software *SPSS 19.0* mittels nicht-parametrischer Tests. Die Proben der fünf verschiedenen Obturationstechniken wurden in einzelne Kanalabschnitte – apikales, mittleres und koronales Drittel – unterteilt und auf verbliebene Sealer- und Guttapercharesten untersucht. Signifikanzen wurden durch den nicht-parametrischen Friedman-Test sowie den ebenfalls parameterfreien Wilcoxon-Test überprüft (Signifikanzwert  $< 0,05$ ).

Nach jedem der drei Revisionsschritte wurden für die fünf Obturationstechniken in jedem der drei Kanaldrittel zuerst getrennt Sealer- und Guttapercharesten und abschließend die Gesamtreste des Obturationsmaterials ermittelt. Die prozentualen Werte für Sealer- und Guttapercharesten wurden bezüglich Kanalabschnitt und Wurzelkanalfülltechnik miteinander verglichen. Außerdem wurden die Revisionszeiten pro Revisionsschritt und die Gesamtrevisionszeiten der fünf Obturationstechniken gegenübergestellt.

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Ergebnisse der Sealerreste

#### *Erster Revisionsschritt*

Bereits hier zeigten sich signifikante Unterschiede bezüglich der Sealerreste zwischen den Obturationstechniken (Abb. 24; Tab. 2). In der *Thermafil-Gruppe* waren apikal deutlich weniger Sealerreste als in den anderen Gruppen sichtbar (Wilcoxon-Test,  $p < 0,03$ ). Im mittleren Kanaldrittel waren ähnliche signifikante Unterschiede zwischen den Obturationsmethoden festzustellen (Friedman-Test,  $p = 0,000$ , Tab. 3).

Die *Thermafil-Gruppe* wies wieder signifikant weniger Sealerreste als alle anderen Obturationstechniken auf (Wilcoxon-Test,  $p > 0,02$ ). Koronal zeigten sich zwischen den fünf Obturationstechniken deutliche Unterschiede bezüglich der Sealerreste (Friedman-Test,  $p = 0,001$ , Tab. 4). Die *Thermafil-Gruppe* zeigte signifikant weniger Sealerreste im Vergleich zu allen Kaltfülltechniken (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,006$ ). In der WVC-Gruppe waren signifikant weniger Sealerreste als in der SCT-Gruppe und der NCT-Gruppe erkennbar. Zwischen der *Thermafil-Gruppe* und der WVC-Gruppe ergaben sich koronal keine signifikanten Differenzen in Bezug auf die Sealerreste.

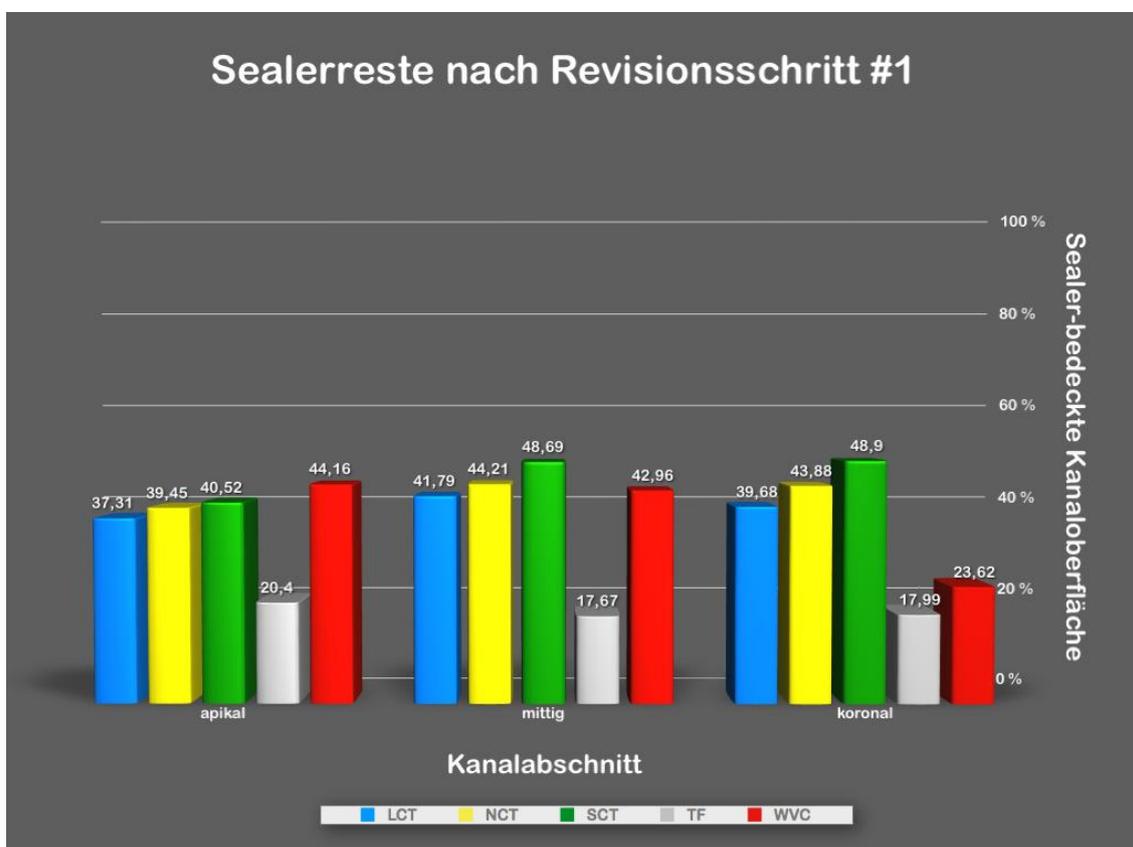


Abb. 24: Prozentuale Verteilung der Sealerreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#40 (*BioRaCe 5*).

### Zweiter Revisionschritt

Die Auswertungen des zweiten Revisionschrittes zeigten, dass apikal signifikant weniger Sealerreste (Wilcoxon-Test,  $p < 0,02$ , Tab. 5) in der *Thermafil*-Gruppe als bei den übrigen Wurzelfülltechniken im Kanal verblieben (Abb. 25).

Im mittleren Kanal Drittel fand sich nach dem zweiten Revisionschritt wieder der geringste Anteil an Sealerresten in der *Thermafil*-Gruppe (Tab. 6).

Alle anderen Obturationsgruppen wiesen mehr Sealerreste auf (Friedman-Test,  $p = 0,002$ ).

Koronal zeigten sich die meisten Sealerreste bei der Single-cone-Technik und die wenigsten in der *Thermafil*-Gruppe (Tab.7). Die Proben der *Thermafil*-Gruppe wiesen wieder signifikant weniger Sealerreste auf als jene in den Kaltobturationsgruppen (Wilcoxon-Test,  $p < 0,02$ ). In der WVC-Gruppe wurden signifikant weniger Sealerückstände als in der Single-cone- und der NCT-Gruppe ermittelt.

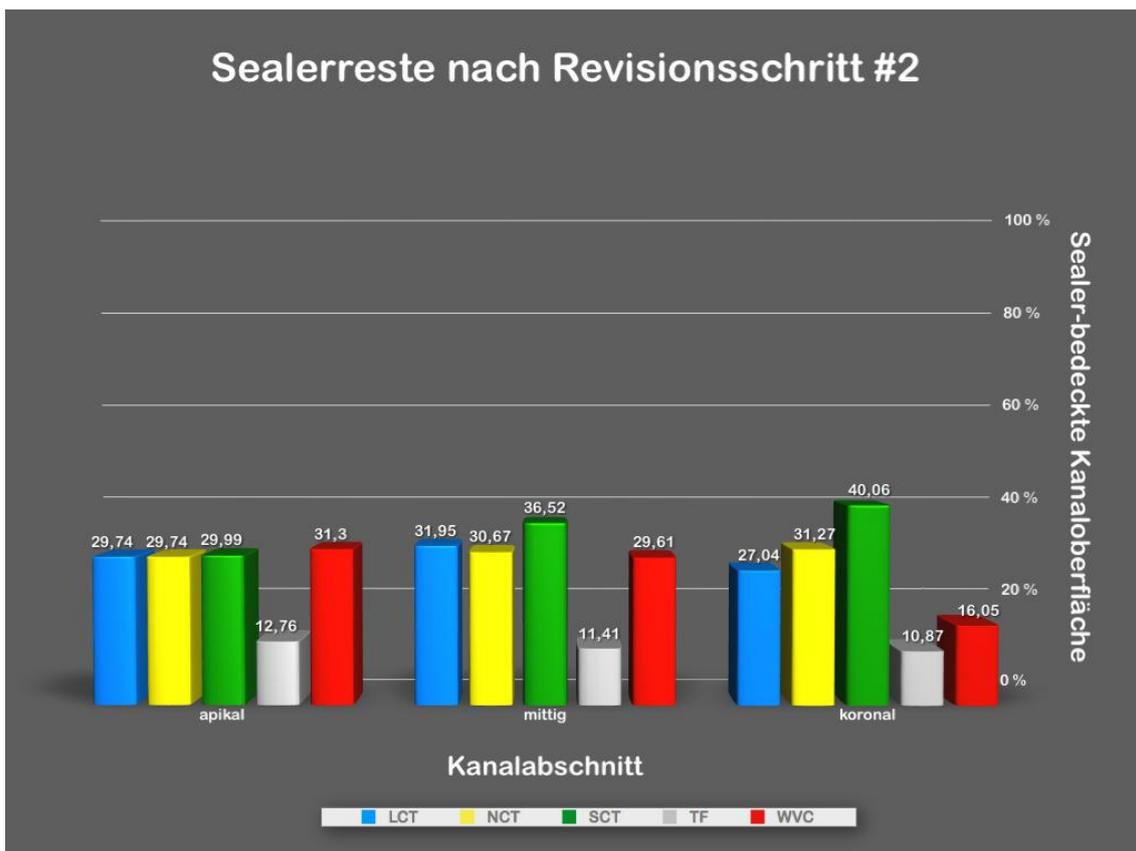


Abb. 25: Prozentuale Verteilung der Sealerreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#45 („Rondo“ RaCe-Sonderanfertigung).

### Dritter Revisionschritt

Nach dem dritten Revisionschritt waren im apikalen Drittel der Wurzelkanäle die Sealerreste wieder in der *Thermafil*-Gruppe signifikant geringer als in allen anderen Gruppen (Abb. 26; Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,02$ , Tab. 8).

Im mittleren Wurzelkanaldrittel waren wieder nach der Revision der *Thermafil*-Obturation die wenigsten Sealerreste festzustellen (Tab. 9). Signifikante Unterschiede zeigten sich erneut im Vergleich zu allen anderen Obturationstechniken (Wilcoxon-Test,  $p < 0,04$ ).

Auch koronal waren in der *Thermafil*-Gruppe weitaus weniger Sealerreste auszumachen, als dies bei den Kaltfülltechniken der Fall war (Tab. 10). In der WVC-Gruppe zeigte sich zudem weniger Sealer als in der Single-cone-Gruppe (Wilcoxon-Test,  $p = 0,041$ ).

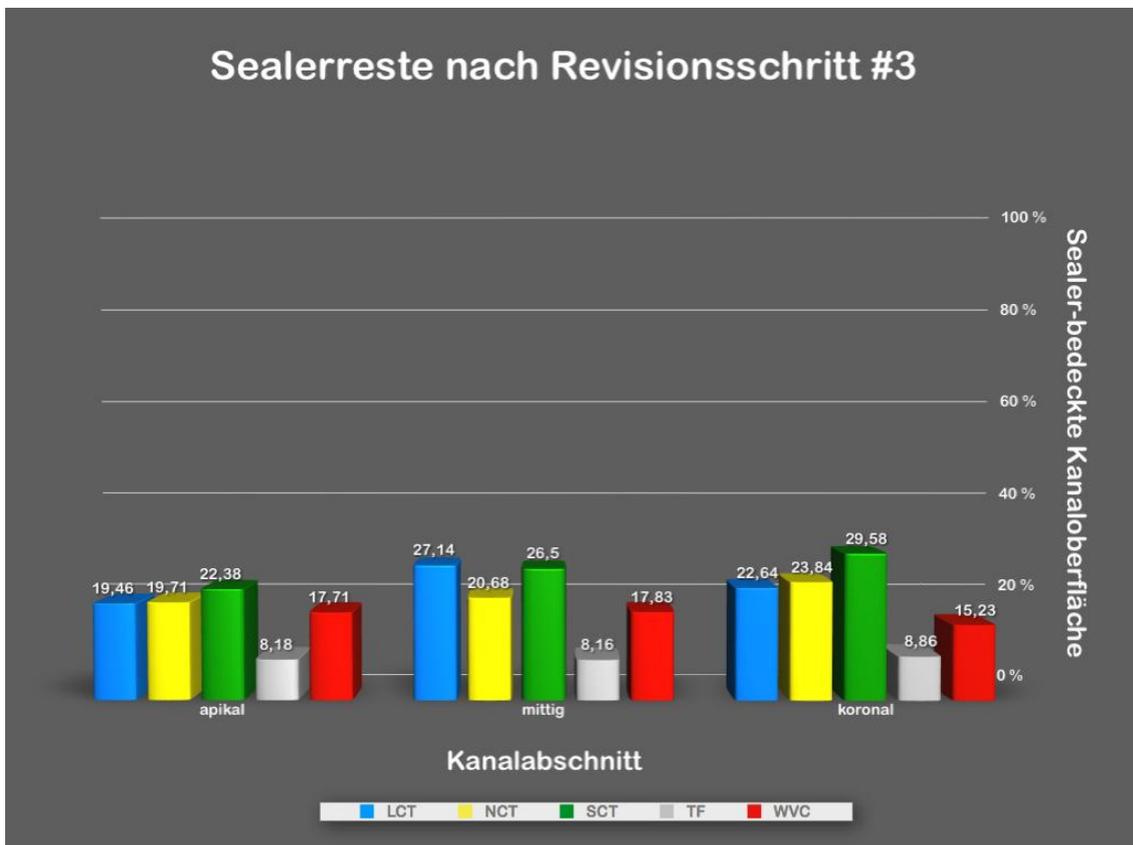


Abb. 26: Prozentuale Verteilung der Sealerreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#50 (BioRaCe 6).

## 6.2 Ergebnisse der Guttaperchareste

### Erster Revisionsschritt

Im apikalen Kanaldrittel wies die *Thermafil*-Gruppe einen signifikant höheren Anteil an Guttapercharesten auf als die NCT-Gruppe (Wilcoxon-Test,  $p=0,041$ ) sowie die WVC-Gruppe (Wilcoxon-Test,  $p=0,011$ ). Die übrigen Obturationstechniken zeigten zwar geringere Guttaperchareste als die *Thermafil*-Gruppe, diese waren allerdings nicht signifikant (Abb. 27). Im mittleren Kanaldrittel zeigte sich ebenfalls in der *Thermafil*-Gruppe der höchste Guttaperchaanteil. Der Unterschied war wieder signifikant zur NCT-Gruppe, zur Single-cone-Gruppe und zur WVC-Gruppe (Wilcoxon-Test,  $p<0,012$ ). Das koronale Kanaldrittel enthielt die meisten Guttaperchareste bei den Warmfülltechniken. Signifikant weniger Guttapercha verblieb nach dem ersten Revisionsschritt koronal in der LCT-Gruppe ( $p=0,036$ ) und der NCT-Gruppe ( $p=0,027$ ) als in der *Thermafil*-Gruppe. Die WVC-Technik hinterließ geringfügig, aber nicht signifikant mehr Guttaperchareste als die *Thermafil*-Technik. Ein deutlicher Unterschied ergab sich zwischen WVC- und NCT-Gruppe ( $p=0,02$ ).

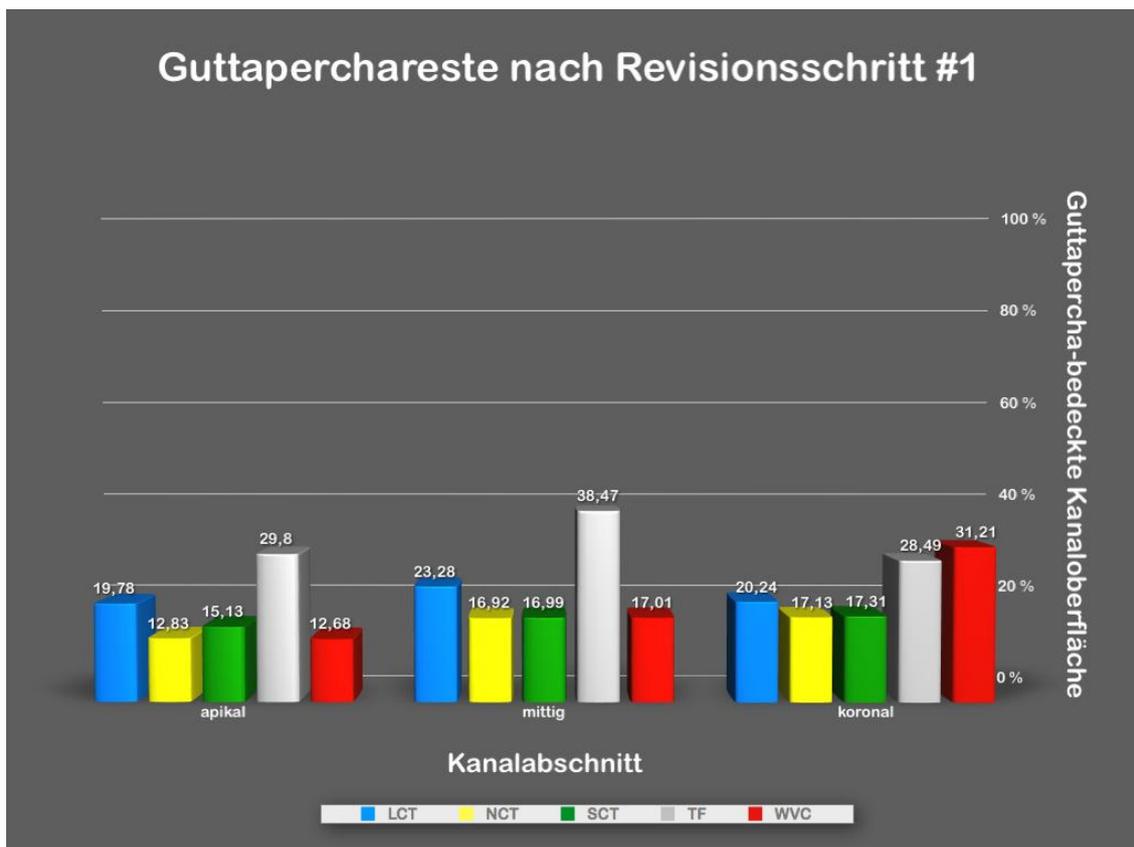


Abb. 27: Prozentuale Verteilung der Guttaperchareste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#40 (*BioRaCe 5*).

### Zweiter Revisionschritt

Nach dem zweiten Revisionschritt zeigte sich im apikalen Kanalanteil immer noch der größte Anteil an Guttapercharesten nach der *Thermafil*-Revision (Abb. 28). Die *Thermafil*-Gruppe zeigte signifikant mehr Guttapercharesten als alle anderen Obturationsgruppen (Wilcoxon-Test,  $p < 0,04$ ). Im mittleren Kanalanteil waren wieder die meisten Guttapercharesten in der *Thermafil*-Gruppe zu finden. Die *Thermafil*-Proben zeigten auch hier signifikant mehr Guttapercharesten als alle anderen Proben (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,05$ ). Die WVC-Gruppe wies einen deutlich höheren Guttaperchanteil auf als die Single-cone-Gruppe (Wilcoxon-Test,  $p = 0,027$ ). Koronal zeigten sich erneut die meisten Guttapercharesten bei den Warmfülltechniken. Die beiden Warmfülltechniken lieferten nach diesem Revisionschritt ähnliche Ergebnisse. Signifikante Unterschiede waren zwischen *Thermafil*- und LCT-Gruppe und *Thermafil*- und NCT-Gruppe sowie zwischen WVC- und NCT-Gruppe zu erkennen (Wilcoxon-Test,  $p < 0,02$ ). Sowohl die *Thermafil*- als auch die WVC-Gruppe wiesen deutlich, jedoch nicht signifikant mehr Guttapercharesten auf als die Single-cone-Gruppe.

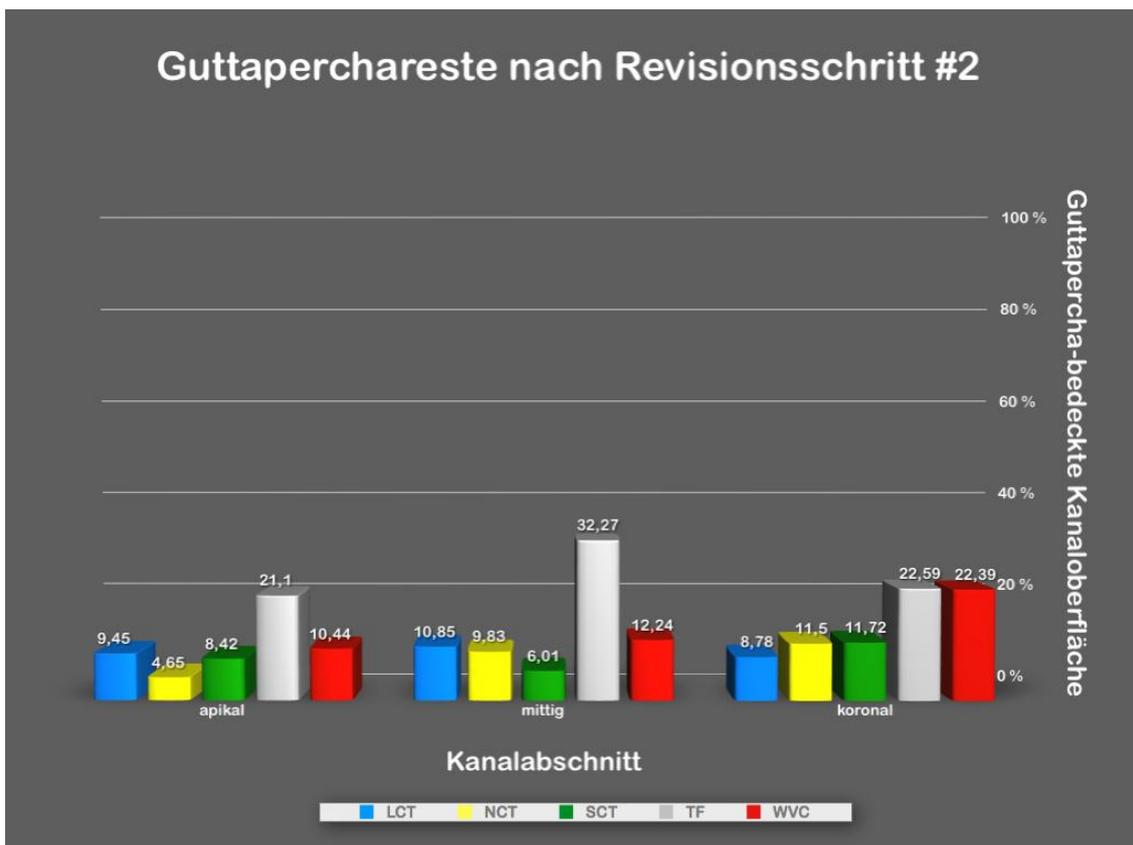


Abb. 28: Prozentuale Verteilung der Guttapercharesten in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#45 („Rondo“ RaCe-Spezialinstrument).

### Dritter Revisionschritt

Nach dem dritten Revisionschritt war apikal der höchste Guttaperchaanteil wieder in der *Thermafil*-Gruppe zu ermitteln (Abb. 29). Die mit der *Thermafil*-Technik obturierten Zähne beinhalteten signifikant mehr Guttapercha als alle anderen Obturationsgruppen (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,04$ ). Noch immer zeigte sich deutlich mehr Guttapercha in der *Thermafil*-Gruppe als in der warm vertikal kompaktierten Gruppe.

Das mittlere Kanal Drittel wies noch immer einen signifikant höheren Anteil an Guttapercharesten in der *Thermafil*-Gruppe auf als in den übrigen Obturationsgruppen (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,011$ ). Koronal wurden auch nach dem letzten Revisionschritt die meisten Guttapercharesten bei den Warmfülltechniken ermittelt. Die *Thermafil*-Proben enthielten im koronalen Drittel deutlich mehr Guttapercha als die LCT- und die Single-cone-Proben. Die WVC-Proben enthielten signifikant mehr Guttapercha als die Single-cone-Proben (Wilcoxon-Test,  $p = 0,008$ ). Sehr wenige bis keine Guttapercharesten waren in der Single-cone-Gruppe festzustellen, weswegen die LCT-Gruppe und die NCT-Gruppe (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,05$ ) einen signifikant höheren Anteil an Guttapercha aufwiesen.

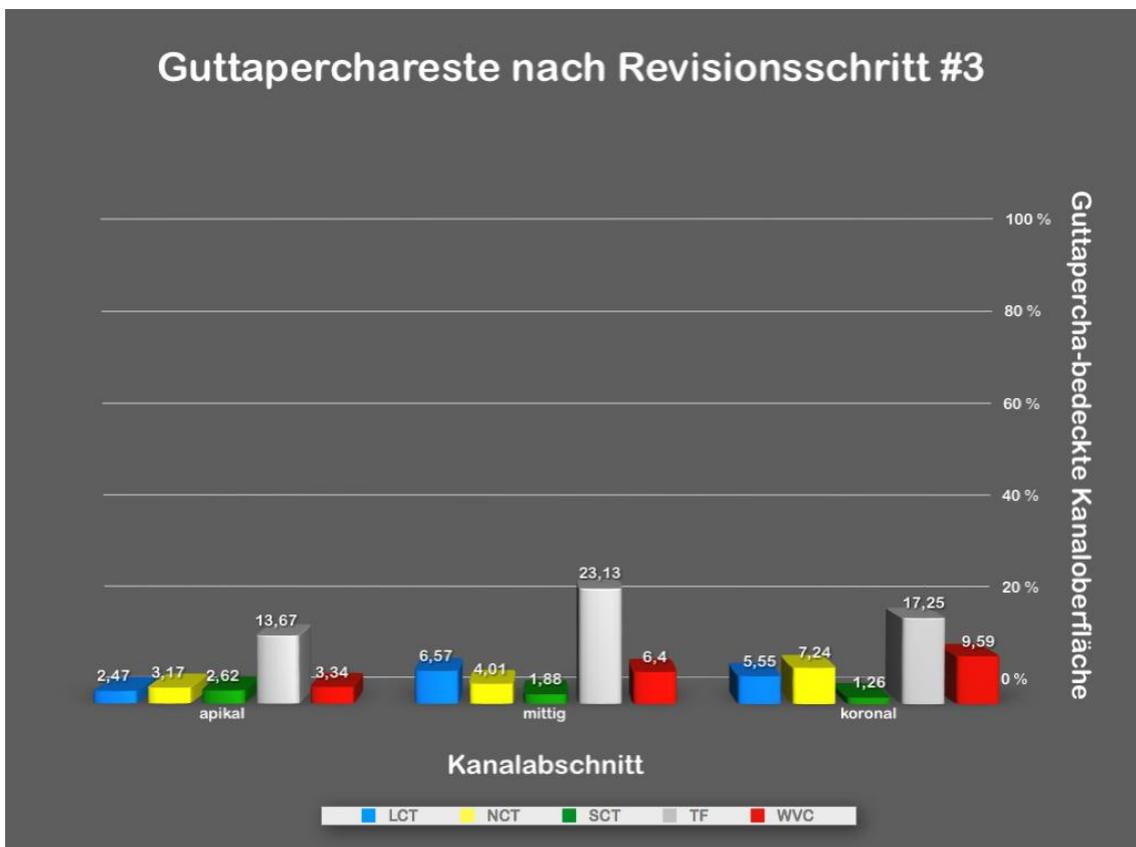


Abb. 29: Prozentuale Verteilung der Sealerreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#50 (*BioRaCe 6*).

### 6.3 Ergebnisse des gesamten Obturationsmaterials

#### Erster Revisionschritt

Die Auswertung des gesamten Wurzelfüllungsmaterials, ohne Differenzierung zwischen Sealer und Guttapercha, ergab nach dem ersten Revisionschritt im apikalen Kanaldrittel keine signifikanten Unterschiede zwischen den Obturationstechniken (Abb. 30). Im mittleren Kanaldrittel zeigte sich ebenfalls ein annähernd vergleichbarer Anteil an im Wurzelkanal verbliebenem Obturationsmaterial. Die *Thermafil*-Technik wies sogar geringfügig weniger Füllungsreste als alle anderen Gruppen auf. In Bezug auf die gesamten Wurzelkanalfüllreste im koronalen Kanalanteil nach dem ersten Revisionschritt wurde wieder in der *Thermafil*-Gruppe der geringste Anteil an Obturationsmaterial gefunden. Die *Thermafil*-Gruppe enthielt signifikant weniger Wurzelkanalfüllreste als die LCT- und die Single-cone-Gruppe (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,041$ ).

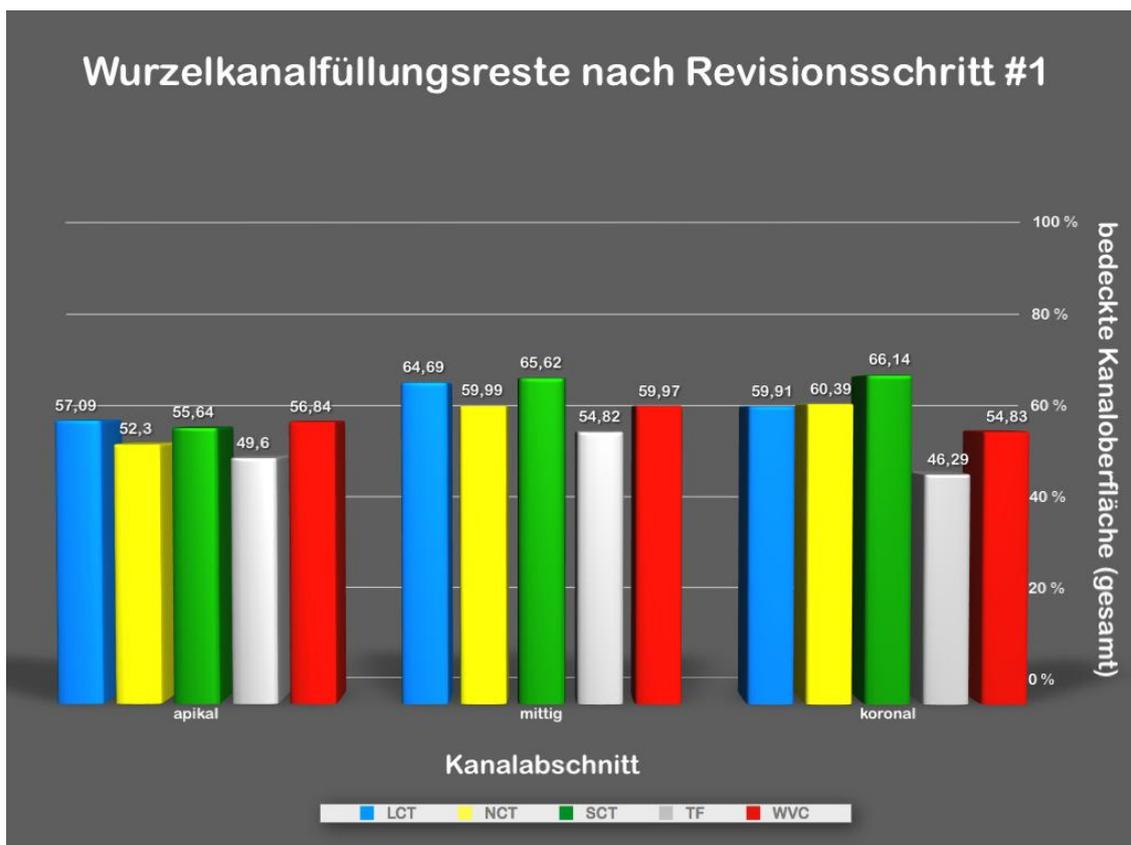


Abb. 30: Prozentuale Verteilung der Obturationsreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#40 (*BioRaCe 5*).

### Zweiter Revisionschritt

Auch nach dem zweiten Revisionschritt zeigten sich im apikalen Kanaldrittel keine deutlichen Unterschiede zwischen den Gruppen (Abb. 31). Im mittleren Kanaldrittel ergaben sich erneut keine Signifikanzen und die Obturationsreste waren vergleichbar. Koronal wies die Single-cone-Gruppe den größten Anteil an Füllungsmaterial auf. Die Single-cone-Gruppe zeigte wieder signifikant mehr Obturationsreste als die *Thermafil*-Gruppe (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,047$ ). Die LCT-Gruppe und die *Thermafil*-Gruppe enthielten nun ähnlich wenige Reste des Obturationsmaterials.

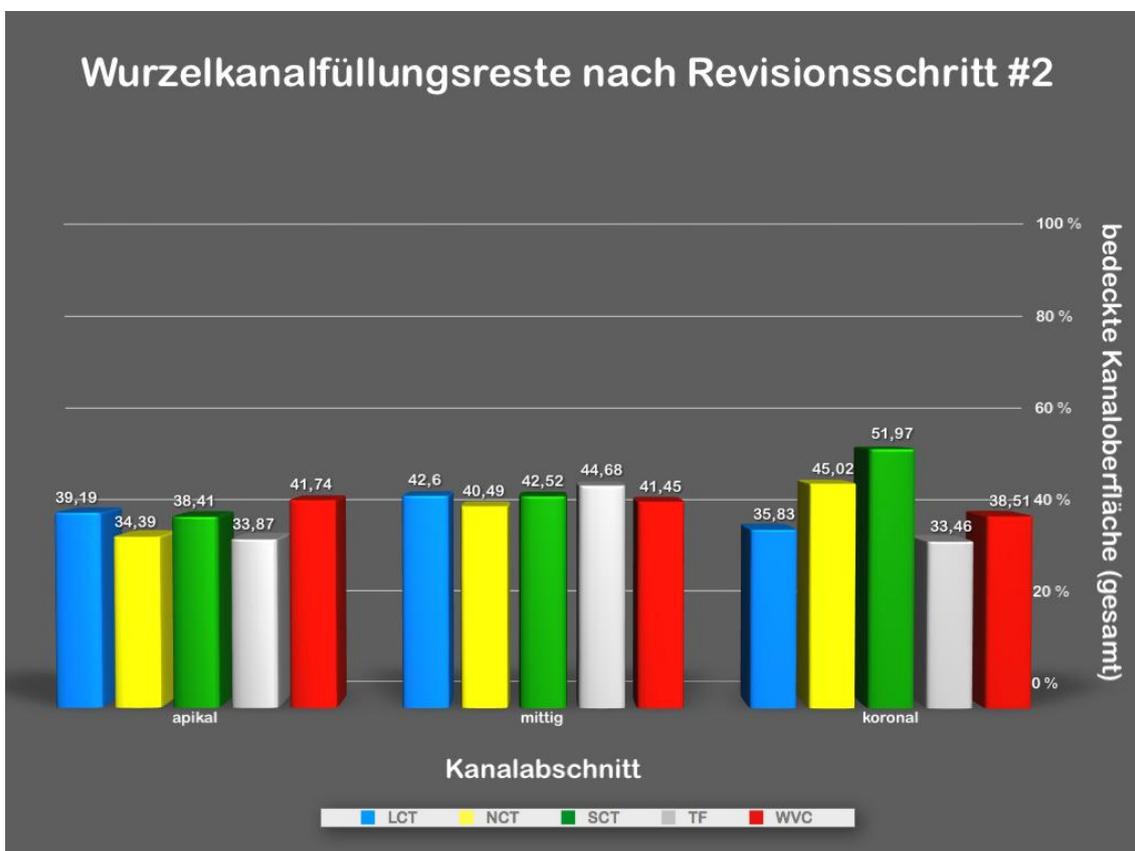


Abb. 31: Prozentuale Verteilung der Sealerreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#45 („Rondo“ RaCe Spezialanfertigung).

### Dritter Revisionschritt

Der letzte Revisionschritt ergab in allen drei Kanalabschnitten keine signifikanten Unterschiede mehr (Abb. 32). Die LCT-Gruppe zeigte im mittleren Drittel des Kanals einen geringfügig, aber nicht signifikant höheren Füllungsrestanteil als die NCT-Gruppe (Wilcoxon-Test,  $p=0,078$ ).

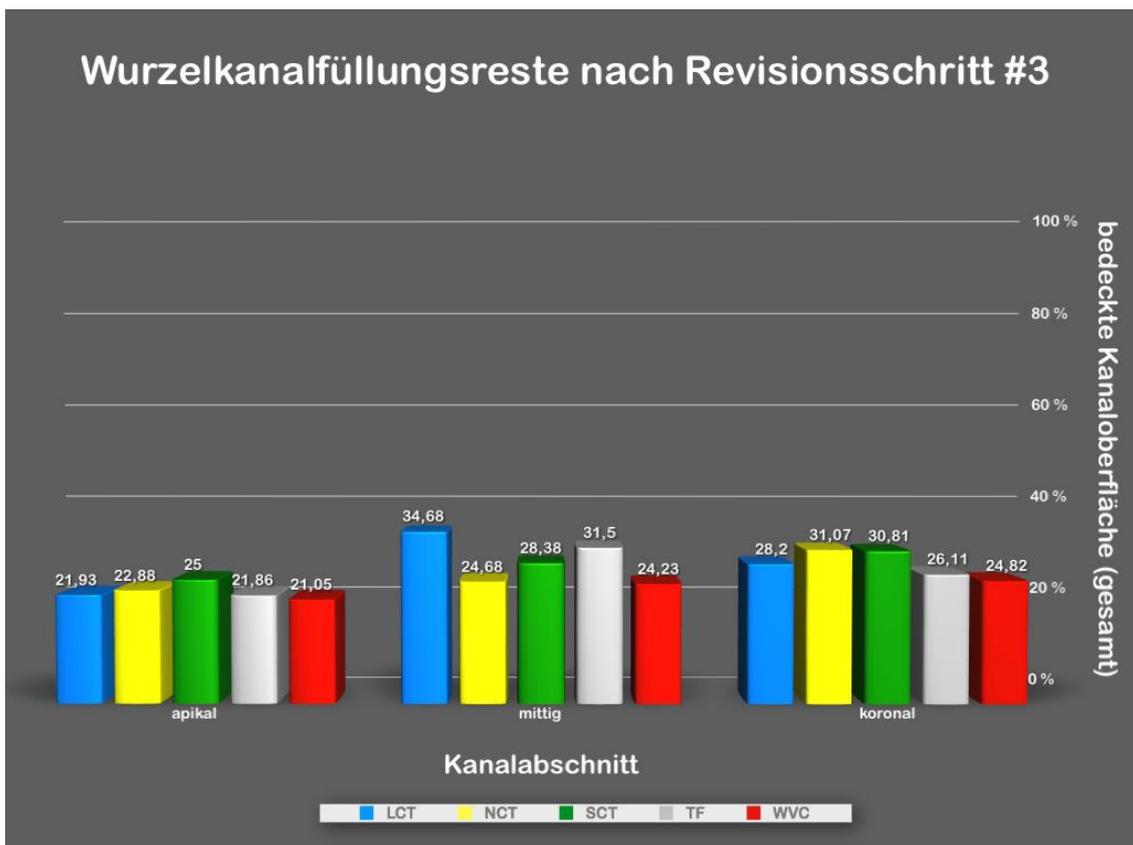


Abb. 32: Prozentuale Verteilung der Obturationsreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#50 (*BioRaCe 6*).

## 6.4 Einzelergebnisse der Obturationstechniken

Die Darstellung der Medianwerte der Obturationsreste bei den einzelnen Wurzelfülltechniken erfolgt in den Tabellen 14 bis 16.

### 6.4.1 LCT-Gruppe

#### *Sealerreste*

Bei Betrachtung der einzelnen Obturationstechniken wies die Lateralkompaktions-Gruppe nach dem ersten Revisions-schritt in allen drei Kanalanteilen eine ähnliche Anzahl an Sealerresten auf. Nach dem zweiten Schritt der Revision nahm der Anteil an Sealerresten nur geringfügig, aber immer noch in allen Dritteln vergleichbar, ab. Nach dem letzten Revisions-schritt wies das mittlere Kanaldrittel etwas mehr Sealerreste auf als die anderen Kanalabschnitte. Diese Beobachtung war aber nicht signifikant. Insgesamt war im apikalen und im koronalen (Wilcoxon-Test,  $p=0,001$ ) Kanaldrittel eine signifikante Abnahme des Sealeranteils über die drei Revisions-schritte zu verzeichnen.

#### *Guttaperchareste*

Die Guttaperchareste waren nach dem ersten Revisions-schritt auch in allen drei Kanalabschnitten vergleichbar und geringer als der Anteil der Sealerreste. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kanaldritteln. Nach dem zweiten Revisions-schritt nahm der Medianwert der Guttaperchareste in allen Kanaldritteln vergleichbar und um die Hälfte ab. Nach dem letzten Revisions-schritt war nur noch ein sehr geringer Anteil an Guttapercha in allen Kanalabschnitten auszumachen. Apikal verblieb dabei weniger Guttapercha als im mittleren Drittel oder koronal. In allen drei Kanalabschnitten zeigte sich eine klare Reduktion der Guttaperchareste über die verschiedenen Revisions-schritte hinweg (Wilcoxon-Test,  $p\leq 0,013$ ).

#### *Wurzelkanalfüllungsreste*

Ohne Unterscheidung zwischen Sealer und Guttapercha ergaben sich in der LCT-Gruppe nach dem ersten Revisions-schritt vergleichbare Medianwerte der Wurzelkanalfüllungsreste in den Kanaldritteln. Im mittleren Kanalabschnitt war der gesamte Anteil an Obturationsresten am größten. Nach dem zweiten Revisions-schritt zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kanalabschnitten bezüglich der Reste des Obturationsmaterials. Das mittlere Drittel enthielt nach dem

letzten Revisionschritt deutlich mehr Obturationsmaterial als das apikale ( $p=0,015$ ). Zwischen den anderen Kanalabschnitten ergaben sich keine Signifikanzen. In allen drei Kanalabschnitten kam es über die Revisionschritte zu einer erheblichen Abnahme der Reste des Wurzelkanalfüllmaterials (Wilcoxon-Test,  $p\leq 0,008$ ).

#### **6.4.2 NCT-Gruppe**

##### *Sealerreste*

In der Einzelbeobachtung zeigte sich in der NCT-Gruppe nach dem ersten Revisionschritt ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen den Kanaldritteln bezüglich der Sealerreste. Nach dem zweiten Revisionschritt nahm der Sealeranteil in allen Kanalabschnitten gleichermaßen ab. Nach dem letzten Revisionschritt verringerte sich der Sealerrestanteil weiter und zeigte wieder in allen Abschnitten des Kanals ähnliche Medianwerte. Im apikalen, mittleren und koronalen Kanaldrittel war eine signifikante Abnahme des Sealeranteils über die drei Revisionschritte zu beobachten (Wilcoxon-Test,  $p=0,001$ ).

##### *Guttapercharestes*

Der Anteil an Guttapercha, der in den Kanälen nach dem ersten Revisionschritt verblieb, war ebenfalls in allen Abschnitten ähnlich hoch und deutlich geringer als die Sealerreste. Nach dem zweiten Revisionschritt nahm auch der Guttaperchaanteil in allen Kanaldritteln weiter ab und es ergab sich ein deutlich geringerer Guttaperchaanteil im apikalen Drittel. Ein signifikanter Unterschied bestand zwischen dem apikalen und dem koronalen Drittel (Wilcoxon-Test,  $p=0,028$ ). Die meisten Guttapercharestes nach dem letzten Revisionschritt verblieben im koronalen Kanalbereich. Im Wilcoxon-Test zeigte sich mit einer Signifikanz von  $p=0,018$  ein Unterschied zwischen den Guttaperchaanteil im koronalen und mittleren Kanaldrittel.

##### *Wurzelkanalfüllreste*

Ohne Differenzierung zwischen Sealer und Guttapercha ergab sich nach dem ersten Revisionschritt ein ähnlicher Anteil an verbliebenem Obturationsmaterial in allen drei Kanalabschnitten. Nach dem nächsten Revisionschritt wurden hingegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kanalabschnitten bezüglich des gesamten im Kanal verbliebenen Materials erkennbar. Auch nach dem letzten Revisionschritt zeigten sich keine deutlichen Unterschiede mehr zwischen den Kanalabschnitten.

Tendenziell war in der NCT-Gruppe im koronalen Drittel der größte Anteil an Obturationsmaterial zu finden. Hierbei handelte es sich überwiegend um Sealerreste. Insgesamt nahm der Anteil an Obturationsmaterial in allen drei Kanalabschnitten signifikant über die drei Revisionschritte ab (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,003$ ).

### **6.4.3 SCT-Gruppe**

#### *Sealerreste*

In der Single-cone-Gruppe war nach dem ersten Revisionschritt kein signifikanter Unterschied zwischen den Kanalabschnitten bezüglich der Sealerreste festzustellen. Im mittleren und koronalen Kanalanteil war der Sealeranteil etwas höher als im apikalen Anteil. Nach dem zweiten Revisionschritt nahm der Sealeranteil gleichermaßen leicht ab und auch nach dem letzten Revisionschritt verringerte sich der Sealeranteil in allen Kanalabschnitten. Apikal, mittig und koronal nahm der Anteil an Sealerresten über die Revisionschritte jeweils signifikant ab ( $p=0,001$ ).

#### *Guttaperchareste*

Die Guttaperchareste waren in der Single-cone-Gruppe bereits nach dem ersten Revisionschritt sehr gering. Auch hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kanalabschnitten. Nach dem zweiten Revisionschritt verringerte sich vor allem im mittleren Kanalanteil der Guttaperchaanteil deutlich. In Folge des letzten Revisionschrittes waren in allen drei Kanalanteilen nur noch sehr wenige Guttaperchareste auszumachen. Der Guttaperchaanteil nahm apikal signifikant über die Revisionschritte ab (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,03$ ).

#### *Wurzelkanalfüllungsreste*

Die reine Auswertung des Obturationsmaterials, ohne Differenzierung zwischen Sealer und Guttapercha, ergab nach dem ersten Revisionschritt einen ähnlich hohen Anteil an verbliebenem Material in allen Kanalanteilen. Nach dem zweiten Revisionschritt war eine Abnahme des Obturationsmaterials in jedem Kanalanteil, vor allem apikal und mittig, auszumachen. Nach dem letzten Revisionschritt kam es zu einer weiteren Reduktion des Obturationsmaterials in allen drei Kanalanteilen.

#### **6.4.4 *Thermafil-Gruppe***

##### *Sealerreste*

In der *Thermafil*-Gruppe zeigte sich bereits nach dem ersten Revisions-schritt in allen drei Kanalabschnitten ein geringerer Sealeranteil als bei den Kaltfülltechniken. Apikales, mittleres und koronales Kanaldrittel wiesen nach dem ersten Revisions-schritt annähernd die gleiche Menge an Sealer auf. Nach dem zweiten Revisions-schritt nahm der Sealeranteil weiter gleichmäßig in allen drei Kanalabschnitten ab. Auch hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede der Kanaldrittel bezüglich der Sealerreste.

Weiterhin war nach dem letzten Revisions-schritt eine leichte Abnahme des Sealeranteils zu verzeichnen. Die Menge der Sealerreste war nach diesem Revisions-schritt wieder in allen drei Kanalabschnitten im Medianwert vergleichbar hoch. In allen drei Kanalabschnitten war eine signifikante Abnahme des Sealeranteils über die Revisions-schritte zu erkennen (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,008$ ).

##### *Guttapercharestes*

In der *Thermafil*-Gruppe waren deutlich mehr Guttapercha- als Sealerreste zu erkennen. Nach dem ersten Revisions-schritt konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kanaldritteln bezüglich der Guttapercharestes ermittelt werden, auch wenn sich im mittleren Drittel etwas mehr Guttapercha befand als in den anderen Dritteln. Nach dem zweiten Revisions-schritt befand sich im mittleren Drittel signifikant mehr Guttapercha als im apikalen Drittel ( $p=0,009$ ) und im koronalen Drittel ( $p=0,031$ ). Insgesamt kam es zu einer deutlichen Abnahme der Guttapercharestes.

Nach dem letzten Revisions-schritt war im mittleren Drittel des Kanals noch signifikant mehr Guttapercha verblieben als im apikalen Drittel ( $p=0,028$ ). Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen dem mittleren und dem koronalen Kanaldrittel. Im apikalen Drittel war die Abnahme der Guttaperchamenge über die Revisions-schritte signifikant (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,011$ ). Im mittleren Kanaldrittel nahm der Guttaperchaanteil über die Revisions-schritte mit einer Signifikanz von  $p \leq 0,041$  deutlich ab. Koronal war die Abnahme der Guttapercharestes vom ersten zum letzten Revisions-schritt ( $p=0,041$ ) und vom zweiten zum letzten Revisions-schritt ( $p=0,011$ ) signifikant.

##### *Wurzelkanalfüllungsreste*

Bei der Auswertung der gesamten Reste des Obturationsmaterials, ohne Unterscheidung zwischen Sealer und Guttapercha, wies das mittlere Kanaldrittel nach dem ersten Revisions-schritt zwar mehr Wurzelkanalfüllreste als die anderen Kanaldrittel auf, diese

Beobachtung war aber nicht signifikant. Erst nach dem zweiten Revisions-schritt war im mittleren Kanaldrittel signifikant mehr Obturationsmaterial an den Kanalwänden verblieben als im apikalen Drittel (Wilcoxon-Test,  $p=0,041$ ) oder im koronalen Drittel (Wilcoxon-Test,  $p=0,017$ ). Nach dem letzten Revisions-schritt zeigten sich keine deutlichen Unterschiede mehr, auch wenn sich im mittleren Kanaldrittel etwas mehr Reste des Obturationsmaterials befanden. In allen drei Kanalabschnitten war über die einzelnen Revisions-schritte eine signifikante Abnahme der Wurzelkanalfüllreste zu erkennen (Wilcoxon-Test,  $p\leq 0,02$ ).

#### **6.4.5 WVC-Gruppe**

##### *Sealerreste*

In der WVC-Gruppe waren bereits nach dem ersten Revisions-schritt deutliche Unterschiede zwischen den Kanaldritteln zu erkennen (Friedman-Test,  $p=0,006$ ). Der Sealeranteil war im koronalen Bereich weitaus geringer als im apikalen ( $p=0,003$ ) oder mittleren ( $p=0,006$ ). Nach dem zweiten Revisions-schritt wurde der Sealeranteil in allen Kanalabschnitten weiter reduziert. Koronal zeigte sich deutlich weniger Sealer als apikal ( $p=0,006$ ) und mittig ( $p=0,015$ ). Der letzte Revisions-schritt ergab keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den Kanaldritteln. Die Sealmenge war in allen drei Abschnitten des Wurzelkanals vergleichbar. Im apikalen und im mittleren Drittel war eine signifikante Abnahme des Sealeranteils über die Revisions-schritte zu beobachten ( $p=0,001$ ). Koronal nahm der Sealeranteil vom ersten zum zweiten Revisions-schritt ( $p=0,006$ ) und vom ersten zum letzten Revisions-schritt ( $p=0,047$ ) signifikant ab. Vom zweiten zum letzten Revisions-schritt kam es zwar zu einer Abnahme des Sealeranteils, diese war aber nicht signifikant ( $p=0,096$ ).

##### *Guttapercharesten*

Der Anteil an Guttapercharesten war nach dem ersten Revisions-schritt im koronalen Drittel signifikant größer als im apikalen ( $p=0,005$ ) und im mittleren Drittel ( $p=0,006$ ). Nach dem zweiten Revisions-schritt zeigten sich zwar die meisten Guttapercharesten ebenfalls im koronalen Drittel, dieses Ergebnis war aber nicht signifikant. Der letzte Revisions-schritt ergab erneut keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kanalabschnitten. Auch hier war wieder koronal die meiste Guttapercha zu finden. In allen Kanaldritteln nahm die Guttaperchamenge über die Revisions-schritte signifikant ab (Wilcoxon-Test,  $p\leq 0,02$ ).

### *Wurzelkanalfüllungsreste*

Die Auswertung des gesamten Obturationsmaterials, ohne Differenzierung zwischen Sealer- und Guttapercharesten, zeigte nach keinem der drei Revisionschritte deutliche Unterschiede zwischen den Kanalabschnitten. In jedem der Kanaldrittel war eine signifikante Abnahme des Obturationsmaterials über die einzelnen Revisionschritte zu erkennen (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,005$ ).

## **6.5 Ergebnisse der Revisionszeiten**

Die für die Revision der Wurzelkanalfüllungen in den verschiedenen Gruppen erforderlichen Zeiten ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_{\text{ges}}$ ) sind in Abbildung 33 und Tabelle 11 bis 13 dargestellt.

### *Revisionsschritt 1*

Insgesamt zeigten sich bereits nach dem ersten Revisionsschritt signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Friedman-Test,  $p=0,000$ , Tab.11). Dabei nahm der erste Revisionsschritt in der *Thermafil*-Gruppe die meiste Zeit in Anspruch (Abb.33). Die Revision von Wurzelkanalfüllungen in der *Thermafil*-Gruppe erforderte signifikant mehr Zeit als alle anderen Obturationstechniken (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,002$ ).

### *Revisionsschritt 2*

Auch für den zweiten Schritt waren signifikante Unterschiede (Friedman-Test,  $p=0,014$ ) in der für die Revision benötigten Zeiten zwischen den Gruppen zu erkennen (Abb. 33). Die Revision in der *Thermafil*- und der WVC-Gruppe beanspruchte hier die meiste Zeit, wobei die Revision in der WVC-Gruppe signifikant länger dauerte als in der NCT-Gruppe ( $p=0,035$ ) und der SCT-Gruppe ( $p=0,002$ ). Die *Thermafil*-Gruppe benötigte ebenfalls deutlich mehr Zeit als die SCT-Gruppe ( $p=0,011$ ).

### *Revisionsschritt 3*

Die WVC-Gruppe zeigte für den letzten Revisionsschritt den größten Zeitaufwand (Abb. 33). Sie benötigte signifikant mehr Zeit als alle anderen Obturationsgruppen (Wilcoxon-Test,  $p=0,019$ , Tab. 12). Zwischen den anderen Obturationstechniken zeigten sich hier keine signifikanten Unterschiede.

### Gesamtdauer der Revision

Die Auswertung der gesamten Revisionszeit ergab einen deutlich höheren Zeitbedarf der Revision für die Warmfülltechniken (Abb. 33). Die meiste Revisionszeit wurde für die *Thermafил*-Revision benötigt. Die *Thermafил*-Gruppe nahm signifikant mehr Revisionszeit in Anspruch als alle anderen Obturationstechniken (Wilcoxon-Test,  $p \leq 0,02$ ). Die WVC-Gruppe war ebenfalls signifikant zeitintensiver in der Revision als die SCT-Gruppe (Wilcoxon-Test,  $p = 0,004$ ). Die SCT-Gruppe war insgesamt gesehen am schnellsten zu revidieren.

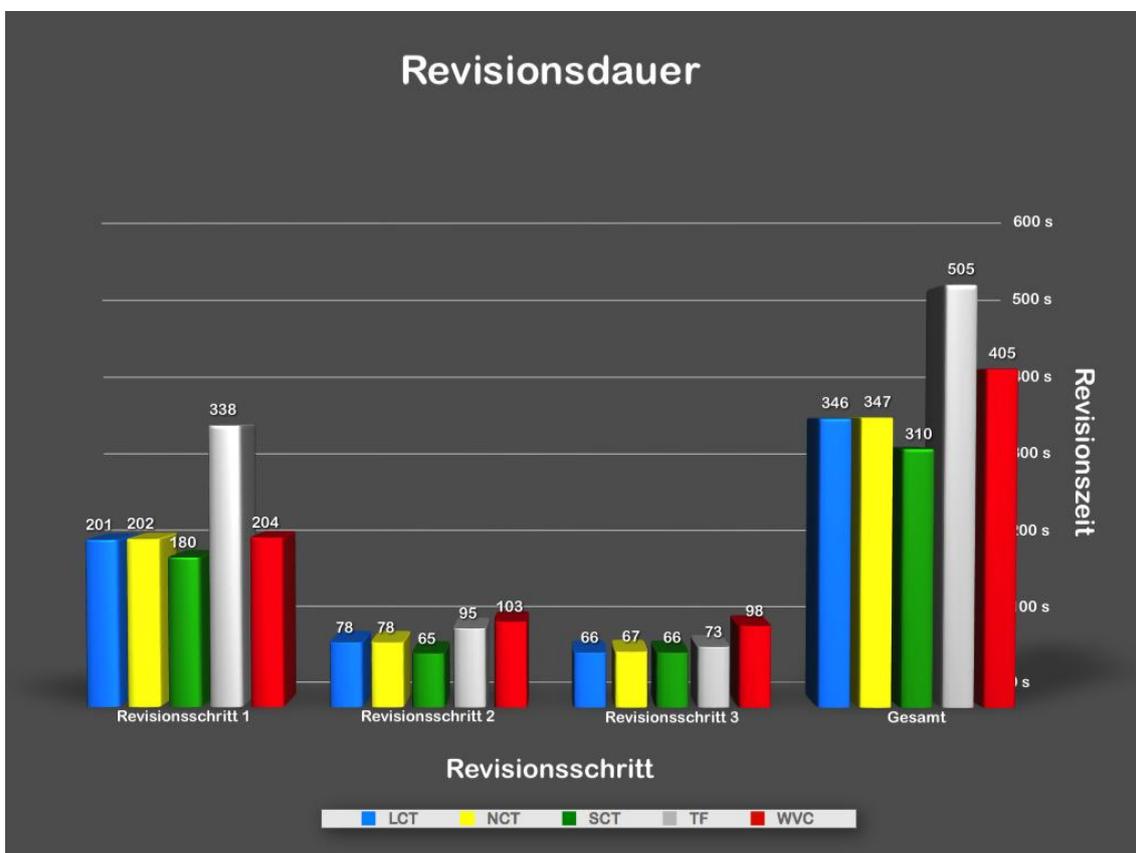


Abb. 33: Revisionsdauer der experimentellen Gruppen (Einzelschritte; Gesamtdauer)

## 7 Diskussion

### 7.1 Diskussion der Methodik

In dieser *In-vitro*-Studie wurden, wie in zahlreichen vorangegangenen Studien auch, menschliche Zähne verwendet, um die klinische Situation zu simulieren und Vergleiche zu ermöglichen. Die Untersuchungen erfolgten an 75 einwurzeligen Zähnen mit geradem Kanalverlauf. Die Zähne hatten allesamt eine resultierende Wurzelkanallänge von 9 mm. Die Proben wurden mit rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten des Systems *BioRaCe*, entsprechend den Herstellerangaben, aufbereitet. Die maschinelle Aufbereitung wurde ausgewählt, um eine möglichst vergleichbare Aufbereitung aller Wurzelkanäle zu gewährleisten.

Guttapercha, in der Kombination mit einem Wurzelkanalsealer, zählt heute zu den meist verwendeten Wurzelkanalfüllmaterialien und nimmt somit auch in Zukunft eine wichtige Rolle in der Revision wurzelkanalbehandelter Zähne ein. In dieser Studie wurden daher fünf verschiedene Guttapercha-Fülltechniken, darunter zwei Warm- und drei Kaltfülltechniken, revidiert und ausgewertet. Als Wurzelkanalsealer wurde hier ein auf Epoxidharz basierender Sealer (*AH Plus*) verwendet, da dieser als Goldstandard in der Wurzelkanalfülltherapie zählt (Stellungnahme der DGZMK 2000). Die bis jetzt existierenden Studien untersuchten nur die Revision einer Wurzelkanalfülltechnik bis zu maximal drei Fülltechniken. Die meist untersuchte und angewandte Wurzelkanalfüllmethode ist die laterale Kompaktionstechnik. Sie gilt als Standard unter den Kaltfülltechniken (Hale et al. 2012). Diese Wurzelfülltechnik gewährleistet einerseits eine relativ dicht kompaktierte und homogene Wurzelfüllung selbst ovaler Wurzelkanalquerschnitte (De-Deus et al. 2007 a, Yilmaz et al. 2009 b), andererseits besteht durch das forcierte Einsetzen des Fingerspreaders zum Einbringen zusätzlicher Guttaperchastifte zur Kompaktion erhöht die Gefahr der Wurzellängsfraktur (Holcomb et al. 1987, Lertchirakarn et al. 1999, Barreto et al. 2012). Bei der Single-cone-Wurzelfülltechnik wird zwar eine Wurzellängsfraktur während der Wurzelkanalfüllung verhindert, aber die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen nach dieser Obturationstechnik wird kontrovers diskutiert (Beatty et al. 1986, Pommel et al. 2001, Brackett et al. 2006, Monticelli et al. 2007 a, Monticelli et al. 2007 b, Roggendorf et al. 2007, Shemesh et al. 2009, Yilmaz et al. 2009 a). Diese Technik führt ausschließlich in Kanälen mit rundem Kanalquerschnitt zu einer guten Adaptation des Guttaperchastiftes und einer gleichmäßigen Sealerschicht allseits des Wurzelkanals (Roggendorf et al. 2007). Diese Einstift-Wurzelfülltechnik ist eine alte, zugleich aber auch aktuell propagierte Kaltfülltechnik, die insbesondere bei der Verwendung

geeigneter volumenstabiler und unlöslicher Sealmaterialien zum Einsatz kommt und auch röntgenologisch mit der Lateralkompaktion vergleichbare Ergebnisse liefert (Kardon et al. 2003, Wu et al. 2009). Immer mehr Hersteller auf dem Dentalmarkt (VDW, Dentsply Maillefer, Coltène Endo) bieten passende Guttaperchastifte für die verschiedenen Größen und Konizitäten der Wurzelkanäle an. Die neue Einstift-Technik stellt somit eine einfache, schnelle und auf die Kanalaufbereitung abgestimmte Wurzelkanalfüllmethode dar. Als weitere Kaltfülltechnik wurde die Non-compaction-Technik für diese Studie ausgewählt. Bei dieser Technik wird die Guttapercha ebenfalls durch Kompaktion verdichtet (Souza et al. 2008). Es wird jedoch nicht, wie bei der lateralen Kompaktion, mit forcierter Kraft ein Fingerspreader eingesetzt. Dadurch wird bei der Non-compaction-Technik ebenfalls das Risiko der vertikalen Wurzelfraktur reduziert (Shemesh et al. 2009). Die Non-compaction-Technik kann als Modifikation der Lateralkompaktion und somit als deren potenzieller Nachfolger angesehen werden. Da diese Studie Vergleiche zwischen der Revision von Kalt- und Warmfülltechniken ermitteln wollte, wurden – neben den bereits genannten Kaltfülltechniken – zwei Warmfülltechniken zur Wurzelkanalfüllung einiger Proben ausgewählt. Die warme vertikale Kompaktionstechnik gilt als älteste, bereits von H. Schilder propagierte Warmfülltechnik und ist die Referenzobturationstechnik aller Warmfülltechniken (Schilder 1967). Diese Wurzelkanalfülltechnik ermöglicht eine dichte und homogene Wurzelkanalfüllung selbst verzweigter Kanalsysteme und ovaler Wurzelkanäle (Venturi et al. 2003, Jarrett et al. 2004). Der Zeitaufwand für die Obturation ist jedoch deutlich höher als für die anderen Wurzelfülltechniken (Keçeci et al. 2005). Aus diesem Grund wurde lange Zeit nach einer einfacheren Warmfülltechnik gesucht. Über die Entwicklung Guttapercha ummantelter Metallstifte kam es schließlich vor einigen Jahren zur Einführung von konfektionierten, mit Guttapercha ummantelten Plastikträgern auf dem Dentalmarkt (*Thermafil*) (Lares, EidDeeb 1990). Diese ermöglichen eine mit der Einstift-Technik vergleichbar einfache und schnelle Handhabung bei der Wurzelkanalfüllung und bieten dennoch die Vorteile der thermischen Obturationstechnik hinsichtlich hervorragender Füllung insbesondere unregelmäßiger Kanalanteile (Dummer et al. 1993, Dummer et al. 1994). Um eine adäquate Gruppengröße zu erzielen, ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten und ferner eventuelle Unterschiede innerhalb der Gruppen besser kompensieren zu können, wurden in dieser Studie 15 Zähne pro Gruppe verwendet (Aydin et al. 2009, n=10). Statistisch gelten Gruppen von > 12 als große Gruppen, die einwandfrei berechnet werden können. In ähnlichen Studien wurde eine zu geringe Probenstärke durch entsprechende Drop-outs (Fraktur von Zähnen während der Aufbereitung, Obturation, Revision oder Auswertung) erhalten.

Die Lagerung der wurzelkanalgefüllten Proben betrug 28 Tage, damit der Sealer vor der Revision vollständig aushärten konnte. In vorherigen *In-vitro*-Studien reichten die Lagerungszeiten bis zur Revision von einem Tag, über 510 Tagen, bis hin zu sechs Jahren (Bertrand et al. 1997: *Endobtur* (Septodont), Baldassari-Cruz, Wilcox 1999: *Roth's 801*, Duarte et al. 2010).

Die Benutzung von rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten wurde aufgrund ihrer Sicherheit, Effizienz und Zeitersparnis in der Entfernung von Guttapercha und Sealer während der Revision meist empfohlen (Schirrmeister et al. 2006 b-d, Saad et al. 2007, Tasdemir et al. 2008 a, Gu et al. 2008, Bramante et al. 2010). Aus diesen Gründen wurde auch in dieser Studie ein maschinelles System verwendet. Die Revision erfolgte jedoch schrittweise mit *D-RaCe*-Instrumenten und wurde auch schrittweise ausgewertet wie bisher in nur einer Studie (Roggendorf et al. 2010 b), in der allerdings nur eine Wurzelkanalfülltechnik revidiert wurde. In zahlreichen Studien wurde ein Lösungsmittel verwendet, um die Guttapercha vor der Revision mit maschinellen oder manuellen Instrumenten zu erweichen (Bertrand et al. 1997, Hülsmann, Bluhm 2004, Bodrumlu et al. 2008, Gu et al. 2008). In dieser Studie wurde ohne ein Lösungsmittel revidiert, da bereits festgestellt wurde, dass Guttapercha bei der maschinellen Revision durch das Lösungsmittel zwar aufgeweicht wird, aber einen dünnen Film auf den Kanalwänden hinterlässt (Betti et al. 2010). Dieser wird durch die entstehende Wärme der rotierenden Instrumente noch verstärkt (Betti et al. 2010). Das Lösungsmittel löst zwar die Wurzelkanalfüllmaterialien an, führt dadurch aber gleichzeitig zur Verschleppung des Füllungsmaterials und zur Kompaktion von Unregelmäßigkeiten in den Kanalwänden und den Dentintubuli und erschwert somit die anschließende Revision (Reddy et al. 2011). Ein Lösungsmittel hat keinen vorteiligen Effekt auf die Reinigungseffizienz rotierender Instrumente und somit auf die Revision (Fariniuk et al. 2011). Erdemir et al. bewiesen, dass auf Epoxidharz basierende Sealer wie *AH Plus* und *AH 26* auch nach einer Expositionszeit von 30 Minuten noch lösungsmittelresistent sind (Erdemir et al. 2003). In Bezug auf die Revisionszeit zeigte sich mit anderen maschinellen Systemen wie *ProTaper* keine Zeitersparnis bei der Anwendung von Chloroform während der Revision (Takahashi et al. 2009, Cunha et al. 2009). Bereits Erdemir et al. stellten fest, dass Chloroform nicht nur Guttapercha erweicht, sondern auch die mineralischen Bestandteile des Dentins auflöst und die Mikrohärtigkeit des Dentins negativ beeinflusst (Rotstein et al. 1999, Erdemir et al. 2004 a, Erdemir et al. 2004 b). Einerseits ist Chloroform zwar das effektivste Lösungsmittel zur Erweichung von Guttapercha und wurde daher früher auch zur plastischen Wurzelkanalfüllung der Guttapercha beigemischt. Andererseits gilt es aber als toxisch und sollte daher nicht

mehr in der Zahnheilkunde eingesetzt werden (Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Die Wurzelkanalspülung 2006).

Alle bisherigen Studien zeigten, dass immer Reste von Wurzelfüllmaterial im Wurzelkanal verbleiben und nur eine Kombination aus maschinellen Systemen und anschließender Handinstrumentation die Sauberkeit der Kanalwände erhöht (Somma et al. 2008, Unal et al. 2009). Niemals wurden die Kanalwände schrittweise auf die Präsenz von Füllungsresten hin untersucht, sondern immer nur abschließend.

Lange Zeit existierten keine Empfehlungen darüber, um wie viele Instrumentengrößen der Wurzelkanal während der Revision über die MAF hinaus erweitert werden sollte. Zum einen soll die vorhandene Wurzelkanalfüllung möglichst vollständig entfernt werden, um Bakterien das Refugium zu nehmen und die Ursache der Beschwerden sowie eine Entzündung zu beseitigen. Andererseits sollten die Wurzelkanäle während der Revision nicht zu extensiv erweitert werden, um das Risiko der Kanalverlagerung und Schwächung der Kanalwände zu minimieren (Shemesh et al. 2011). Aktuelle Studien haben gezeigt, dass die Revision um mindestens zwei Instrumentengrößen über die apikale Masterfeile der vorangegangenen Aufbereitungsgröße erfolgen sollte, um im Rahmen der Revision ein Minimum an Wurzelfüllungsresten auf der Kanaloberfläche zurückzulassen (Hassanloo et al. 2007, Roggendorf et al. 2010 a).

Die Revision erfolgte in dieser Studie entsprechend um zwei Instrumentengrößen über die MAR hinaus, um eine vollständige Entfernung von Sealerresten und gegebenenfalls Guttapercharesten von den Kanalwänden und aus den Dentintubuli zu ermöglichen. Nach jedem Revisionsschritt wurden Sealer- und Guttaperchareste unter dem Lichtmikroskop bei 16-facher Vergrößerung ausgewertet, was bislang in dieser Weise in keiner Revisionsstudie erfolgte. Die Auswertung unter dem Lichtmikroskop stellt eine sehr zuverlässige Methode dar (De Carvalho Marciel et al. 2006, Schirrmeister et al. 2006 a). Sie wurde primär aufgrund der Möglichkeit der Unterscheidung von Guttapercha- und Sealerresten an den Wurzelkanalwänden ausgewählt, im Gegensatz zur Auswertung anhand von Röntgenaufnahmen (Bramante et al. 2000, Betti et al. 2001, Bueno et al. 2006, Betti et al. 2010). Die alleinige Auswertung anhand von Röntgenaufnahmen stellt keine zuverlässige Methode dar, wie bereits Cunha et al. 2007 feststellten. Obwohl bei der röntgenologischen Auswertung in zwei verschiedenen Ebenen keine Reste der Wurzelfüllung festzustellen waren, zeigten sich bei der anschließenden SEM-Analyse Füllungsreste im Wurzelkanal. Auch Duarte und Schirrmeister werteten ihre Ergebnisse sowohl radiologisch als auch mikroskopisch aus und stellten fest, dass die mikroskopische Analyse effektiver in der Auswertung von Wurzelfüllungsresten ist (Schirrmeister et al. 2006 a, Duarte et al. 2010). Eine Röntgenaufnahme ist immer nur eine zweidimensionale Darstellung eines

dreidimensionalen (3D) Objekts (Marfisi et al. 2010). Die lichtmikroskopische Darstellung (Stereomikroskop) von Wurzelkanalfüllungsresten benötigt einen geringeren Zeitaufwand und ist relativ einfach umzusetzen. Im Gegensatz zur Darstellung mit dem Mikro-CT (Hammad et al. 2008) oder CT (Computertomografie) und SEM (scanning electron microscope) können die Proben ohne Vorbehandlung nach longitudinaler Trennung der Zähne sofort ausgewertet werden. Die computertomografische Darstellung erwies sich zudem als sehr zeitaufwändige und mit hohen Kosten verbundene Auswertungsmethode (Barletta et al. 2007, Bodrumlu et al. 2008, Roggendorf et al. 2010 a). Zudem ermöglicht auch die Mikro-CT-Analyse keine eindeutige Unterscheidung von Sealer und Guttapercha, wie dies in Vorversuchen der Studie von Roggendorf et al. (2010 a) gezeigt werden konnte.

Zur objektiven Auswertung wurden die Flächen des Wurzelkanals und von Guttapercha- und Sealerresten mit der Auswertungs-Software *ImageTool* in Quadratmikrometern ( $\mu\text{m}^2$ ) berechnet. Ähnliche Revisionsstudien (Friedman et al. 1992, Bertrand et al. 1997, Bramante et al. 2000, Hülsmann, Bluhm 2004, Schirrmeyer et al. 2006 a und Bodrumlu et al. 2008) bewerteten die Reste des Wurzelkanalfüllmaterials anhand einer eigens erstellten Bewertungsskala, die je nach Untersucher subjektive Ergebnisse zulässt.

Die Aufbereitung, die Obturation, die Revision und die abschließende Auswertung der Proben wurde von dem gleichen Untersucher durchgeführt, um die Anzahl möglicher Variablen und untersucherabhängiger Fehlerquellen gering zu halten (Roggendorf 2010 b). Der Untersucher dieser Studie arbeitete verblindet und die Zuteilung der Proben zu den jeweiligen Wurzelkanalfülltechniken erfolgte per Zufallsprinzip. In der Studie von Marfisi et al. erfolgte die Auswertung lichtmikroskopischer Aufnahmen mit Hilfe einer Bewertungsskala durch drei verschiedene Untersucher (Marfisi et al. 2010).

## 7.2 Diskussion der Ergebnisse

### 7.2.1 Diskussion der Revisionseffizienz

Die Auswertung der revidierten Proben zeigte nach allen drei Revisionsschritten bei beiden Warmfülltechniken einerseits wesentlich mehr Guttapercharesten als bei den Kaltfülltechniken. Andererseits war der Anteil an Sealerresten bei den Warmfülltechniken deutlich geringer als bei jeder der drei Kaltfülltechniken. Der Grund dafür ist vermutlich, dass für die warmen Obturationsmethoden generell ein geringerer Anteil von Sealer für die Wurzelfüllung benötigt wird. Die erhitzte Guttapercha wird bei der Obturation mit dem *Thermafil*-System mit Druck durch den Kunststoffträgerstift in den Kanal appliziert. Der Sealer wird durch diesen Vorgang verdrängt und somit nimmt die Guttapercha den Hauptanteil der Wurzelfüllung ein (Clinton, van Himel 2001, De-Deus et al. 2007 b).

Im apikalen Kanaldrittel wies die warm vertikal kompaktierte Probengruppe nach jedem Revisionsschritt weitaus weniger Guttapercharesten als die *Thermafil*-Gruppe auf. Im Gegensatz zur *Thermafil*-Obturation wird bei der warmen vertikalen Kompaktion ein kalter Guttaperchastift in den Kanal eingebracht und erst im Kanal erhitzt und verdichtet, um zunächst einen apikalen Verschluss zu erhalten. Bei der *Thermafil*-Technik hingegen wird ein bereits erhitzter mit Guttapercha ummantelter Plastikträgerstift in den Kanal eingebracht. Einzelne apikale Anteile der Guttapercha können somit bei der warmen Vertikalkompaktion möglicherweise nicht richtig mit dem Instrument erhitzt werden und dadurch schlechter an den Kanalwänden anfließen, was eine leichtere apikale Entfernung bei der Revision begründen würde. Insgesamt war die *Thermafil*-Wurzelkanalfüllung am schwierigsten zu revidieren, wobei bereits im Rahmen des Handlings der Kunststoff-Carrier ein deutliches Erschwernis darstellte. Oftmals wurde der Plastikträgerstift erst im letzten Revisionsschritt vollständig aus dem Kanal entfernt, da er durch die maschinelle Instrumentierung zerspannt wurde und somit Reste des Trägerstiftes im Kanal verblieben. Die Ergebnisse suggerieren, dass es bei der warmen Vertikalkompaktion im koronalen Bereich zu einer besseren Verbindung der Guttapercha zum Dentin kommt als im mittleren und apikalen Bereich. Die Kaltfülltechniken lieferten den Warmfülltechniken konträre Ergebnisse. Hier zeigten sich nach allen drei Revisionsschritten deutlich mehr Sealer- als Guttapercharesten. Der insgesamt sehr geringe Guttaperchaanteil in der Single-cone-Gruppe ist erklärbar, da zur Obturation nur ein Guttaperchastift per Kaltfülltechnik in den Kanal eingebracht wurde, der bereits nach dem ersten Revisionsschritt relativ leicht entfernbar war. Bei Betrachtung der gesamten Reste des Obturationsmaterials zeigten sich keine deutlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen. In allen fünf Gruppen

nahm der Anteil an Wurzelkanalfüllungsresten in allen Kanaldritlein über die drei Revisionschritte fortlaufend ab.

### *Gruppenspezifische Unterschiede*

In dieser Studie wiesen die Proben der Lateralkompaktions-Gruppe nach allen drei Revisionschritten, vor allem im mittleren Kanalanschnitt einen hohen Anteil an Sealerresten auf. Dagegen verblieben nur wenige Guttaperchareste in den Kanälen und diese vor allem apikal. Insgesamt befanden sich bei der lateral kompaktierten Gruppe die meisten Wurzelkanalfüllungsreste im mittleren Kanaldritlein, wie auch in der Studie von Zmener et al. (2006). Da es sich bei der lateralen Kompaktion um die meist angewandte Wurzelkanalfülltechnik in vorangegangenen Studien handelt, konnten hier auch die meisten Vergleiche gezogen werden (Imura et al. 1996, Bramante et al. 2000, Imura et al. 2000, Betti et al. 2001, Saad et al. 2007).

Die mit der Non-compaction-Technik obturierten Proben wiesen nach der Revision ebenfalls wesentlich mehr Sealer- als Guttaperchareste auf. Der Anteil der Sealerreste war in allen Kanalabschnitten vergleichbar hoch, im Gegensatz zu den Guttapercharesten. Hier waren die meisten Reste koronal festzustellen. Insgesamt verblieb das meiste Obturationsmaterial bei der NCT-Gruppe im koronalen Kanalabschnitt. Keine bisherige Studie untersuchte die Non-compaction-Technik. Am ehesten lassen sich jedoch Vergleiche mit der häufig untersuchten lateralen Kompaktionstechnik ziehen, da die Non-compaction-Technik als Ableger der Lateralkompaktion anzusehen ist.

Die mit der Single-cone-Technik gefüllten Proben enthielten nach der Revision signifikant mehr Sealer- als Guttaperchareste. Insgesamt zeigten sich keine deutlichen Unterschiede zwischen den Kanaldritlein. Friedman et al. ermittelten nach der Revision der Lateralkompaktion vor allem apikal mehr Wurzelkanalfüllungsreste als bei der Single-cone-Revision (Friedman et al. 1993).

Die mit der *Thermafil*-Technik obturierten Proben wiesen nach allen drei Revisionschritten in jedem Kanaldritlein ähnlich wenige Sealerreste auf. Insgesamt befanden sich in der *Thermafil*-Gruppe die meisten Wurzelkanalfüllungsreste im mittleren Kanalabschnitt. Dabei handelte es sich überwiegend um Guttaperchareste. Wilcox et al. (1994) ermittelten in ihrer Studie die meisten Guttaperchareste im koronalen Kanaldritlein. Ähnliche Studien, die die *Thermafil*-Revision untersuchten, zeigten, dass eine vollständige Entfernung der Wurzelfüllung selten und nur schwer möglich ist. Daher wurde oft eine Kombination aus verschiedenen Revisionsmethoden, mittels

Wärme, Lösungsmitteln, Handfeilen, Ultraschall und rotierenden Systemen empfohlen (Bertrand et al. 1997, Wolcott et al. 1999, Baratto Filho et al. 2002).

Die warm vertikal kompaktierten Proben wiesen nach der Revision ebenfalls einen sehr geringen Anteil an Sealerresten, vor allem koronal, auf. Im mittleren Wurzeldrittel befanden sich hier die wenigsten Guttapercharesten. Insgesamt gesehen zeigte sich bei der warmen Vertikalkompaktion im koronalen Kanaldrittel ein geringerer Anteil an Wurzelkanalfüllungsresten ohne Differenzierungsmöglichkeit zwischen Sealer und Guttapercha.

Die Kaltfülltechniken enthielten im Vergleich zu den Warmfülltechniken nach dem letzten Revisionschritt nur sehr wenige Guttapercharesten in allen Kanalabschnitten. Vergleichsstudien zwischen Kalt- und Warmfülltechniken in der Revision ermittelten ebenfalls mehr Wurzelkanalfüllungsreste bei der Warm- als bei der Kaltfülltechnik. Bei Wilcox et al. (1994) und Frajlich et al. (1998) wies die *Thermafil*-Gruppe weitaus mehr Wurzelkanalfüllungsreste nach der Revision auf als die Lateralkompaktions-Gruppe.

In dieser Studie waren bei einzelnen Proben der Kaltfülltechniken in einigen Kanalabschnitten bereits nach dem zweiten Revisionschritt gar keine Guttapercharesten mehr festzustellen. In den meisten vorangegangenen Studien verblieben immer Wurzelfüllmaterialreste in den Kanälen. Dies könnte darin begründet liegen, dass jeder Zahn im Rahmen dieser Studie sehr sorgfältig hinsichtlich des Kanalquerschnitts durch die Anfertigung von Röntgenaufnahmen in zwei Richtungen selektiert wurde, um keinen weiteren Einflussfaktor für die Reinigungseffizienz zu schaffen. Eine völlige Sauberkeit der Kanalwände wurde niemals erreicht (Bramante et al. 2010). In vorangegangenen Studien befanden sich im Gegensatz zu der vorliegenden Untersuchung, vor allem im apikalen Kanaldrittel noch viele Wurzelkanalfüllungsreste nach der Revision, wobei es sich vor allem um Sealerreste handelte (Fenoul et al. 2010). Nicht entfernte Sealerreste stellen insbesondere im apikalen Kanalbereich immer ein Refugium für Bakterien dar und sollten daher möglichst vollständig entfernt werden (Nair 2006, Fenoul et al. 2010).

In dieser Studie wurde der Wurzelkanal besonders apikal während der Revision schrittweise erweitert und somit verblieben nur wenige Wurzelkanalfüllungsreste in diesem Kanalabschnitt (Hassanloo et al. 2007, Roggendorf et al. 2010 a, 2010 b). In den meisten Vergleichsstudien hingegen erfolgte die Revision nur maximal bis zur ursprünglichen Aufbereitungsgröße (De Cavalho Marciel et al. 2006, Royzenblat, Goodell 2007, Bodrumlu et al. 2008).

## 7.2.2 Diskussion der Revisionszeit

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde auch die Revisionszeit ermittelt. So stellt zwar die Revisionsdauer einen für die praktische Tätigkeit relevanten Aspekt dar, sollte jedoch kein Beurteilungskriterium für die Güte eines Obturationsmaterials oder einer Obturationstechnik sein. Dennoch ist die Revidierbarkeit einer Wurzelkanalfüllung ein relevanter Aspekt, da es sich um ein bereits von L. I. Grossman gefordertes Kriterium handelt, welches ein Obturationsmaterial erfüllen muss (Grossman et al. 1950).

Die meisten publizierten Revisionsstudien, wie auch diese Studie, erheben neben der Reinigungseffizienz auch die Revisionszeiten, um zu einer abschließenden Bewertung der jeweiligen ausgewählten Revisionsmethode zu gelangen (Wilcox et al. 1995, Hassanloo et al. 2007, Tasdemir et al. 2008 a, Tasdemir et al. 2008 b).

In einigen *In-vitro*-Studien wurde sogar ausschließlich die zum Erreichen der Arbeitslänge benötigte Revisionszeit ermittelt (Uemura et al. 1997, Royzenblat, Goodell 2007). Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde das Kriterium „Revisionsdauer“ differenzierter betrachtet. So setzt sich die Revisionszeit aus der Zeit bis zum Erreichen der Arbeitslänge, der Zeit bis zur sichtbaren Entfernung der Wurzelkanalfüllmaterialreste (keine Partikel mehr sichtbar am Revisionsinstrument) sowie der Spülung und Trocknung des Wurzelkanals zusammen, wie sie bereits in einer vorherigen Studie vorgenommen wurde (Roggendorf et al. 2010 a). Der Grund hierfür war, dass eine Wurzelkanalfüllung erst dann als revidiert beurteilt werden kann, wenn der Kanal von seinem Inhalt befreit und gereinigt vorliegt. Daher bestehen in der Revisionsdauer Unterschiede zu anderen Studien, welche eine andere Intention verfolgten. Beispielsweise enthielt die Studie von Bertrand keine Spül- und Trocknungszeiten, sondern dokumentierte lediglich die Zeit, welche bis zum Erreichen der ursprünglichen Arbeitslänge benötigt wurde (Bertrand et al. 1997).

In der vorliegenden Revisionsstudie stellte sich die *Thermafil*-Technik deutlich als die zeitaufwändigste zu revidierende Wurzelfülltechnik heraus. Diese Beobachtung war mit den Ergebnissen vorheriger Studien konform (Wilcox et al. 1994, Uemura et al. 1997, Baratto Filho et al. 2002). Der erhöhte Zeitbedarf für die Revision der mit dem *Thermafil*-System obturierten Proben hing unmittelbar mit der Schwierigkeit der Entfernung des Plastikträgerstiftes und der besseren Haftung erhitzter Guttapercha an den Kanalwänden zusammen. Generell benötigten die Warmfülltechniken eine längere Revisionszeit als die Kaltfülltechniken. Die LCT- und die NCT-Gruppe waren bei allen drei Revisionsritten mit ähnlichem Zeitaufwand zu revidieren. Die Single-cone-Technik war, wie auch in vorangegangenen Studien festgestellt, die am schnellsten und einfachsten zu revidierende Wurzelfülltechnik (Tasdemir et al. 2008 b). Dieses

Ergebnis war vorhersehbar, da bei der Single-cone-Technik – trotz nach Größe und Konizität der Aufbereitung ausgewähltem Masterpoints – nie eine mit der lateralen oder vertikalen Kompaktionstechnik vergleichbare Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung erreicht wird. Somit war bis zum letzten Revisionsschritt in den überwiegenden Fällen eine rasche und vollständige Entfernung des Guttaperchastiftes möglich.

### 7.3 Diskussion der Arbeitshypothesen

#### **Arbeitshypothese # 1:**

„Die Revision der Wurzelkanalfüllung entfernt das Obturationsmaterial vollständig.“

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass in keiner Gruppe das Obturationsmaterial vollständig entfernt werden konnte, auch nach Aufbereitung um zwei Größen über die ursprüngliche Instrumentierungsgröße hinaus.

Somit wird diese Hypothese **abgelehnt**.

#### **Arbeitshypothese # 2:**

„Die Revision der verschiedenen Obturationstechniken zeigt keine Unterschiede hinsichtlich der verbliebenen Wurzelkanalfüllungsreste.“

Die Studienergebnisse zeigen, dass sich signifikante Unterschiede hinsichtlich der Obturationsmaterialreste zwischen den Gruppen ergaben. Zudem zeigten sich gruppensignifikante Unterschiede hinsichtlich des Anteils an Guttapercha und Sealer nach allen Revisionsschritten.

Somit wird auch diese Hypothese **abgelehnt**.

### **Arbeitshypothese # 3:**

„Die Zunahme der Aufbereitungsgröße im Rahmen der Revision führt zu einer Reduktion der Obturationsreste.“

In allen experimentellen Gruppen führte die schrittweise Zunahme der Aufbereitungsgröße von .04/#40 bis .04/#50 zu einer signifikanten Reduktion der Reste von Obturationsmaterial.

Daher wird diese Hypothese **angenommen**.

### **Arbeitshypothese # 4:**

„Die erforderliche Revisionszeit zeigt zwischen den verschiedenen Obturationsgruppen keine Unterschiede.“

Die Studienergebnisse ergaben eine deutlich höhere Revisionsdauer für die Probenzähne der *Thermafil*-Gruppe.

Folglich wird die Hypothese **abgelehnt**.

## 8 Schlussfolgerungen

Anhand der Ergebnisse dieser *In-vitro*-Studie lässt sich schlussfolgernd belegen, dass sowohl bei den Warm- als auch bei den Kaltfülltechniken nach der Revision Reste der Obturationsmaterialien auf den Wänden der Wurzelkanäle verblieben sind. Während es sich bei den Kaltfülltechniken hauptsächlich um Sealerreste handelte, verblieben bei den Warmfülltechniken hingegen überwiegend Guttapercharesten in den Wurzelkanälen. Die schrittweise Revision mit maschinellen Instrumenten des *D-RaCe*-Systems erwies sich als äußerst effektiv und brachte eine signifikante Abnahme des Obturationsmaterials bei allen Wurzelkanalfülltechniken. Letztlich bestätigen die Ergebnisse auch, dass die Aufbereitung während der Revision bestehender Wurzelkanalfüllungen um mindestens zwei Instrumentengrößen über der MAI oder MAR liegen sollte.

Die Studie belegt, dass die *Thermafil*-Wurzelkanalfüllung die in der Revision zeitaufwändigste Obturationstechnik ist und die Single-cone-Wurzelkanalfüllung die von allen untersuchten Obturationstechniken am schnellsten zu revidierende Technik darstellt.

## 9 Zusammenfassung

### 9.1 Hintergrund und Ziele

Die Revision einer Wurzelkanalfüllung wird notwendig, wenn klinische oder radiologische Befunde einer Parodontitis apicalis an bereits wurzelkanalbehandelten Zähnen auftreten. Ziel der Revisionsbehandlung ist die Wiederherstellung der Integrität periapikaler Verhältnisse und die Beseitigung oder Prävention klinischer Symptome durch die erneute mechanische Aufbereitung und chemische Reinigung des Wurzelkanalsystems sowie den hermetisch dichten Verschluss des Wurzelkanals durch die Wurzelfüllung und die koronale Restauration (Weiger et al. 1994, Hülsmann, Weiger 1994, Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Revision einer Wurzelkanalbehandlung 2004).

Im Rahmen der vorliegenden Studie sollte untersucht werden, wie effizient die schrittweise maschinelle Revision verschiedener Kalt- und Warmfülltechniken mit dem maschinell rotierenden *D-RaCe*-System ist. Dazu wurden die Revisionseffizienz und die Revisionsdauer der unterschiedlichen Wurzelkanalfülltechniken ermittelt und ausgewertet.

### 9.2 Methoden

Für die Untersuchungen wurden 75 humane, extrahierte, einwurzelige Zähne dekapitiert. Die Proben wurden mit maschinellen Wurzelkanalinstrumenten des *BioRaCe*-Systems bis zu der Größe .04/#35 aufbereitet. Nach Trennung der Wurzeln in longitudinaler Richtung mittels diamantierter Trennscheibe, wurden die Zahnhälften in speziellen *Biresin*-Blöcken wieder zueinander fixiert. Es erfolgte eine weitere maschinelle Aufbereitung bis Größe .04/#40 zur Schaffung eines runden Wurzelkanalquerschnitts. Die Proben wurden zu je 15 Zähnen je einer von fünf Gruppen zugeteilt und diese mit der jeweiligen Obturationstechnik gefüllt. Die in dieser Arbeit untersuchten Wurzelkanalfülltechniken waren die laterale Kompaktion, die Non-compaction-Technik und die Single-cone-Technik bei den Kaltfülltechniken, als Vertreter der Warmfülltechniken die *Thermafil*-Technik und die warme vertikale Kompaktion. Schließlich wurden alle Proben schrittweise revidiert. Der erste Revisionsschritt erfolgte mit *D-RaCe*-Instrumenten der Größen .10/#30 und .04/#25 sowie der *BioRaCe*-Feile der Größe .04/#40. Im zweiten Revisionsschritt wurden die Wurzelkanäle mit einem „*Rondo*“ *RaCe*-Instrument (Spezialanfertigung) der Größen .04/#45 und im letzten Revisionsschritt mit einem *BioRaCe*-Instrument der Größe

.04/#50 erweitert. Nach jedem der drei Revisionschritte wurden die Proben unter dem Lichtmikroskop (*Leica*) bei 4-facher und 16-facher Vergrößerung fotografiert und untersucht und mit der Software *ImageTool* ausgewertet. Die statistische Datenanalyse erfolgte mit dem Auswertungsprogramm *SPSS 19.0*.

### **9.3 Ergebnisse**

Die Auswertung der schrittweise revidierten Proben zeigte ein eindeutiges Ergebnis. Nach jedem der drei Revisionschritte wiesen die Kaltfülltechniken weitaus weniger Guttapercha- als Sealerreste auf. Bei den Warmfülltechniken hingegen verblieben weitaus mehr Guttapercharesten im Wurzelkanal, während der Anteil an Sealerresten verhältnismäßig gering war. Insgesamt stellte sich die schrittweise Revision und Erweiterung des Wurzelkanals als äußerst effektiv heraus. In Bezug auf die Revisionszeit erwies sich die Single-cone-Technik als relativ leicht und schnell zu revidierende Wurzelkanalfülltechnik. Im Gegensatz dazu waren die Proben der *Thermafil*-Technik besonders schwer und mit einem signifikant höheren Zeitaufwand zu revidieren.

### **9.4 Praktische Schlussfolgerungen**

Die Resultate dieser Studie belegen die Effektivität der schrittweisen Aufbereitung und Erweiterung des Wurzelkanals während der Revision. Die Instrumentengröße sollte bei jeder Revision einer Wurzelkanalfüllung zumindest zwei Instrumentengrößen über der ursprünglichen Aufbereitungsgröße liegen, um eine optimale Entfernung von Sealer- und Guttapercharesten von den Wurzelkanalwänden zu gewährleisten.

Vor allem bei der Revision einer *Thermafil*-Wurzelkanalfüllung muss ein höherer Zeitaufwand einkalkuliert werden.

## 10 Summary

### 10.1 Background and Aims

Endodontic retreatment is indicated when clinical or radiographic signs of an apical periodontitis are present on teeth that have already previously been treated endodontically. The aim of endodontic retreatment is the restitution of the integrity of healthy periapical conditions and the therapy or prevention of clinical symptoms by a repeated chemomechanical instrumentation and irrigation of the root canal system followed by a hermetic seal of both the root canal system and the access cavity. This study ought to assess the efficiency of step-wise endodontic retreatment of root canal fillings performed by different cold and warm obturation techniques using *D-RaCe*-NiTi-rotary files. Therefore, the retreatment efficiency and the retreatment time were measured.

### 10.2 Methods

For this in vitro study 75 extracted human single-rooted teeth were decoronated. The specimens were instrumented by means of *BioRaCe* files to an apical size .04/#35. Following the separation of the roots in longitudinal direction using a diamond-coated disc, halves of roots were re-assembled within *Biresin* polyurethane blocks. Then, a final instrumentation to size .04/#40 was performed to obtain circular canals. The specimens were randomly assigned to 5 groups and subsequently obturated with the dedicated root filling technique. The investigated obturation techniques were: lateral compaction, die non compaction technique and die single cone technique for cold obturation, and the *Thermafil* technique and warm vertical compaction technique for warm obturation. Finally, all specimens were retreated. The first retreatment step was performed using *D-RaCe* instruments of sizes .10/#30 and .04/#25, as well as *BioRaCe* file of size .04/#40. For the second retreatment step, a *Rondo* Instrument (custom made) of size .04/#45 and in the final retreatment step a *BioRaCe* instrument of size .04/#50 was used. After each retreatment step the specimens were microphotographed by means of a light microscope (*Leica*) using 4x and 16x magnification and calculated with *Image Tool* software. Statistical analysis was performed with *SPSS 19.0*.

### **10.3 Results**

The analysis of the specimens revealed a clear result. Cold obturation showed less amount of gutta-percha than sealer. In contrast, warm obturation techniques yielded only little amounts of residual sealer and significantly more gutta-percha. In general, retreatment and canal enlargement was quite efficient. Regarding retreatment time root fillings performed using the single cone technique were easy and fast to retreat. In opposition, retreatment of *Thermafil* was less effective and significantly more time consuming.

### **10.4 Practical Conclusions**

The results of the present study show the efficiency of step-wise enlargement of the root canal during endodontic retreatment. The instrumentation size should exceed the original size of the root canal by at least 2 instrument sizes in order to remove a maximum of sealer and gutta-percha from the root canal walls.

Especially regarding retreatment of *Thermafil* obturations requires more time compared with the other obturation techniques.

## 11 Literaturverzeichnis

1. AKGZ: Die Zahnmedizin zum Zeitpunkt der Gründung des Central-Vereins deutscher Zahnärzte – ein historischer Rückblick. Deutscher Ärzte-Verlag, Dtsch Zahnärztl Z 66 (1) (2011)
2. Allen RK, Newton CW, Brown CE Jr.: A statistical analysis of surgical and nonsurgical endodontic retreatment cases. J Endod 15, 261-266 (1989)
3. Aydin B, Köse T, Caliřkan MK: Effectiveness of HERO 642 versus Hedstrom files for removing gutta-percha fillings in curved root canals: an ex vivo study. Int Endod J 42, 1050-1056 (2009)
4. Baldassari-Cruz LA, Wilcox LR: Effectiveness of gutta-percha removal with and without the microscope. J Endod 25, 627-628 (1999)
5. Baratto Filho F, Ferreira EL, Fariniuk LF: Efficacy of the 0.04 taper ProFile during the retreatment of gutta-percha-filled root canals. Int Endod J 35, 651-654 (2002)
6. Barletta FB, Rahde NM, Limongi O, Zanesco C, Mazocatto G: In vitro comparative analysis of two mechanical techniques for removing gutta-percha during retreatment. J Can Dent Assoc 73, 65 (2007)
7. Barletta FB, de Sousa Reis M, Wagner M, Borges JC, Dall'Agnol C: Computed tomography assessment of three techniques for removal of filling material. Aust Endod J 34, 101-105 (2008)
8. Barreto MS, Moraes R do A, da Rosa RA, Moreira CH, Só MV, Bier CA: Vertical root fractures and dentine defects: effects of root canal preparation, filling, and mechanical cycling. J Endod 38, 1135-1139 (2012)
9. Barrieshi-Nusair KM: Gutta-percha retreatment: effectiveness of nickel-titanium rotary instruments versus stainless steel hand files. J Endod 28, 454-456 (2002)

10. Baumann MA, Roth A: Effect of experience on quality of canal preparation with rotary nickel-titanium files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 88, 714-718 (1999)
11. Baumann MA: Die Wurzelkanalfüllung. In: Heidemann D (Hrsg): *Endodontie*. Urban & Fischer, München 123-164 (2001)
12. Beatty RG, Vertucci FJ, Zakariasen KL: Apical sealing efficacy of endodontic obturation techniques. *Int Endod J* 19, 237-241 (1986)
13. Betti LV, Bramante CM: Quantec SC rotary instruments versus hand files for gutta-percha removal in root canal retreatment. *Int Endod J* 34, 54-57 (2001)
14. Betti LV, Bramante CM, De Moraes IG, Bernadineli N, Garcia RB: Comparison of GPX with or without solvent and hand files in removing filling materials from root canals – an ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 110, 675-680 (2010)
15. Bertrand MF, Pellegrino JC, Rocca JP, Klinghofer A, Bolla M: Removal of Thermafil root canal filling material. *J Endod* 23, 54-57 (1997)
16. Bodrumlu E, Uzun O, Topuz O, Semiz M: Efficacy of three techniques in removing root canal fillings material. *JCDA* 74, 721 (2008)
17. Brackett MG, Martin R, Sword J, Oxford C, Rueggeberg FA, Tay FR, Pashley DH: Comparison of seal after obturation techniques using a polydimethylsiloxane-based root canal sealer. *J Endod* 32, 1188-1190 (2006)
18. Bramante CM, Betti LV: Efficacy of Quantec rotary instruments for gutta-percha removal. *Int Endod J* 33, 463-470 (2000)
19. Bramante CM, Fidelis NS, Assumpcao TS, Bernadineli N, Garcia RB, Bramante AS, de Moraes IG: Heat release, time required, and cleaning ability of MTwo R and ProTaper universal retreatment systems in the removal of filling material. *J Endod* 36, 1870-1873 (2010)

20. Bueno CE, Delboni MG, de Araujo RA, Carrara HJ, Cunha RS: Effectiveness of rotary and hand files in gutta-percha and sealer removal using chloroform or chlorhexidine gel. *Braz Dent J* 17, 139-143 (2006)
21. Chandra A: Discuss the factors that affect the outcome of endodontic treatment. *Aust Endod J* 35, 98-107 (2009)
22. Clinton K, Van Himel T: Comparison of warm gutta-percha obturation technique and lateral condensation. *J Endod* 27, 692-695 (2001)
23. Cohen S, Burns RC: *Pathways of the pulp*, 6. Aufl., St. Louis, MO, USA: Mosby (1994)
24. Cunha RS, De Martin AS, Barros PP, De Silva FM, Jacinto Rde C, Bueno C: In vitro evaluation of the cleansing working time and analysis of the amount of gutta-percha or Resilon remnants in the root canal walls after instrumentation for endodontic retreatment. *J Endod* 33, 1426-1428 (2007)
25. Dahlén G, Möller ÄJR: Microbiology in endodontic infections. In: Slot J, Taubman MA, eds: *Contemporary oral microbiology and immunology*. St. Louis, MO, USA: Mosby Year Book, 444-475 (1992)
26. De Carvalho Marciel AC, Zaccaro Scelza MF: Efficacy of automated versus hand instrumentation during root canal retreatment: an ex vivo study. *Int Endod J* 39, 779-784 (2006)
27. De Chevigny C, Thuan TD, Basrani BR, Marquis V, Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S: Treatment outcome in endodontics: The Toronto study - Phase 3 and 4: Orthograde retreatment. *J Endod* 34, 131-137 (2008)
28. De-Deus G, Murad C, Paciornik S, Reis CM, Coutinho-Filho T: The effect of the canal-filled area on the bacterial leakage of oval-shaped canals. *Int Endod J* 41, 183-190 (2007 a)
29. De-Deus G, Maniglia-Ferreira CM, Gurgel-Filho ED, Paciornik S, Machado ACR, Coutinho-Filho T: Comparison of the percentage of gutta-percha-filled area obtained by Thermafil and System B. *Aust Endod J* 33, 55-61 (2007 b)

30. De Oliveira DP, Barbizam JV, Trope M, Teixeira FB: Comparison between gutta-percha and Resilon removal using two different techniques in endodontic retreatment. *J Endod* 32, 362-364 (2006)
31. Denton GB, Zachariou C: The history of vitalism in pulp treatment. *Dental Cosmos* 73, 267-273 (1931)
32. Duarte MA, Cimadon VB, Zucatto C, Vier-Pelisser FV, Kuga MC: Effectiveness of rotary or manual techniques for removing a 6-year-old filling material. *Braz Dent J* 21, 148-152 (2010)
33. Dummer PM, Kelly T, Meghji A, Sheikh I, Vanitchai JT: An in vitro study of the quality of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil-obturators. *Int Endod J* 26, 99-105 (1993)
34. Dummer PM, Lyle L, Rawle J, Kennedy JK: A laboratory study of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. *Int Endod J* 27, 32-38 (1994)
35. Erdemir A, Adanir N, Belli S: In vitro evaluation of the dissolving effect of solvents on root canal sealers. *J Oral Sci* 45, 123-126 (2003)
36. Erdemir A, Ari H, Belli S: Evaluation of the effect of endodontic irrigation solutions on the microhardness and the roughness of root canal dentin. *J Endod* 30, 792-795 (2004 a)
37. Erdemir A, Eldeniz AU, Belli S: Effect of gutta-percha solvents on mineral contents of human root dentin using ICP-AES technique. *J Endod* 30, 54-56 (2004 b)
38. Fariniuk LF, Westphalen VP, Silva-Neto UX, Carneiro E, Baratto Filho F, Fidel SR, Fidel RA: Efficacy of five rotary systems versus manual instrumentation during endodontic retreatment. *Braz Dent J* 22, 294-298 (2011)
39. Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S: Treatment outcome in endodontics: The Toronto study - Phase 2: Initial treatment. *J Endod* 30, 302-309 (2004 a)

40. Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S: Treatment outcome in endodontics: The Toronto study - Phase 1 and 2: Orthograde retreatment. J Endod 30, 627-633 (2004 b)
41. Fauchard, Pierre: „Le chirurgien dentiste“. Französische Erstauflage (1728), Deutsche Auflage Berlin (1733)
42. Fenoul G, Meless GD, Perez F: The efficacy of R-Endo rotary NiTi and stainless-steel hand instruments to remove gutta-percha and Resilon. Int Endod J 43, 135-141 (2010)
43. Ferreira JJ, Rhodes JS, Ford TR: The efficacy of gutta-percha removal using ProFiles. Int Endod J 34, 267-274 (2001)
44. Frajllich SR, Goldberg F, Massone EJ, Cantarini C, Artaza LP: Comparative study of retreatment of Thermafil and lateral condensation endodontic fillings. Int Endod J 31, 354-357 (1998)
45. Friedman S, Stabholz A, Tamse A: Endodontic retreatment – case selection and technique. 3. Retreatment techniques J Endod 16, 543-549 (1990 b)
46. Friedman S: Endodontic retreatment. Alpha Omegan 83, 32-37 (1990 a)
47. Friedman S, Moshonov J, Trope M: Efficacy of removing glass ionomer cement, zinc oxide eugenol, and epoxy resin sealers from retreated root canals. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 73, 609-612 (1992)
48. Friedman S, Moshonov J, Trope M: Residue of gutta-percha and glass ionomer cement sealer following root canal retreatment. Int Endod J 26, 169-172 (1993)
49. Grossman LI: Endodontic practice (3<sup>rd</sup> edition). Lea & Febiger, Philadelphia (1950)
50. Gu, Ling, Wie, Huang: Efficacy of ProTaper universal rotary retreatment system for gutta-percha removal from root canals. Int Endod J 41, 288-295 (2008)
51. Guldener PHA: Endodontie: Wurzelkanalaufbereitung und- füllung. Schweiz Monatsschr Zahnmed 99, 1019 (1989)

52. Gutmann JL, Witherspoon DE: Obturation of the cleaned and shaped root canal system In: Cohen S, Burns RC, eds. Pathways of the pulp, 8. Aufl., St. Louis: Mosby 293-364 (2002)
53. Haapasalo M, Ørstavik D: In vitro infection and disinfection of dental tubules. J Dent Res 66, 1375-1379 (1987)
54. Hale R, Gatti R, Glickman GN, Opperman LA: Comparative analysis of carrier-based obturation and lateral compaction: a retrospective clinical outcomes study. Int J Dent, Article ID 954675 (E pub 2012)
55. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N: Threedimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. J Endod 34, 1370-1373 (2008)
56. Hassanloo A, Watson P, Finer Y, Friedman S: Retreatement efficacy of the Epiphany soft resin obturation system. Int Endod J 40, 633-643 (2007)
57. Hasselgren G: Where shall the root filling end? NY State Dent J 60, 34 (1994)
58. Hayakawa T, Tomita F, Okiji T: Influence of the diameter and taper of root canals on the removal efficiency of Thermafil Plus plastic carriers using ProTaper retreatment files. J Endod 36, 1676-1678 (2010)
59. Heinikainen M, Vehkalahti M, Murtomaa H: Retreatement in endodontics: treatment decision by general practioners and dental teachers in Finland. Int Dent J 52, 119-24 (2002)
60. Holcomb JQ, Pitts DL, Nicholls JI: Further investigation of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. J Endod 13, 277-284 (1987)
61. Hülsmann M, Stryga F: Comparison of root canal preparation using different automated devices and hand instrumentation. J Endod 19, 141-145 (1993)
62. Hülsmann M, Weiger R: Die Revision von Wurzelkanalbehandlungen. II: Techniken und Probleme der Revision. Endodontie 3, 115-129 (1994)

63. Hülsmann M: Epidemiologische Daten zur Endodontie. III: BRD, ehemalige DDR und abschließende Diskussion. *Endodontie* 5, 51 (1996)
64. Hülsmann M, Stotz S: Efficacy, cleaning ability and safety of different devices for gutta-percha removal in root canal retreatment. *Int Endod J* 30, 227-233 (1997)
65. Hülsmann M, Schriever A: Revisionen. In: Heidemann D (Hrsg): *Endodontie*. Urban & Fischer, München 165-182 (2001)
66. Hülsmann M, Bluhm V: Efficacy, cleaning ability and safety of different rotary NiTi instruments in root canal retreatment. *Int Endod J* 37, 468-476 (2004)
67. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH: Mechanical preparation of the root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics* 10, 30-76 (2005)
68. IARC: International Agency for research of cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risk to humans 7, 152-154 (1989)
69. Ingle JI: The need for endodontic instrument standardization. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 8, 1211 (1955)
70. Ingle JI: The need for uniformity of endodontic instruments, equipment and filling materials. *Int Dent J* 9, 389 (1959)
71. Jarrett IS, Marx D, Covey D, Karmazin M, Lavin M, Gound T: Percentage of canals filled in apical cross sections- an in vitro study of seven obturation techniques. *Int Endod J* 37,392-398 (2004)
72. Kardon BP, Kuttler S, Hardigan P, Dorn SO: An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal-obturation system. *J Endod* 29, 658-661 (2003)
73. Keçeci AD, Çelik Ü, Şen BH: Comparison of cold lateral compaction and continuous wave of obturation techniques following manual or rotary instrumentation. *Int Endod J* 38, 381-388 (2005)
74. Koçkapan C: *Curriculum Endodontie*. Quintessenz, Berlin (2003)

75. Körber K, Ludwig K: Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie. 2. Aufl. Georg Thieme, Stuttgart; New York, 74 (1993)
76. Kvist T, Reit C: Postoperative discomfort associated with surgical and nonsurgical endodontic retreatment. *Endod Dent Traumatol* 16, 71-74 (2000)
77. KZBV Jahrbuch 97 Statistische Basisdaten zur vertragszahnärztlichen Versorgung. Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, Köln (2010)
78. Lares C, ElDeeb ME: The sealing ability of the Thermafil obturation technique. *J Endod* 16, 474-479 (1990)
79. Ladley RW, Campbell AD, Hicks ML, Li SH: Effectiveness of halothane used with ultrasonic or hand instrumentation to remove gutta-percha from the root canal. *J Endod* 17, 221-224 (1991)
80. Lertchirakarn V, Palamara JEA, Messer HH: Load and stain during lateral condensation and vertical root fracture. *J Endod* 25, 99-104 (1999)
81. Loizides A, Eliopoulos D, Kontakiotis E: Root canal transportation with NiTi rotary file system and stainless steel hand files in simulated root canals. *Quintessence Int* 37, 369-374 (2006)
82. Marfisi K, Mercade M, Plotino G, Duran-Sindreu F, Bueno R, Roig M: Efficacy of three different rotary files to remove gutta-percha and Resilon from root canals. *Int Endod J* 43, 1022-1028 (2010)
83. Marlin J, Schilder H: Physical properties of gutta-percha when subjected to heat and vertical condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 36, 872 (1973)
84. Molander A, Reit C, Dahlén G, Kvist T: Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *Int Endod J* 31, 1-7 (1998)
85. Monticelli F, Sadek FT, Schuster GS, Volkmann KR, Looney SW, Ferrari M, Toledano M, Pashley DH, Tay FR: Efficacy of two contemporary single-cone filling techniques in preventing bacterial leakage. *J Endod* 33, 310-313 (2007 a)

86. Monticelli F, Sword J, Martin RL, Schuster GS, Weller RN, Ferrari M, Pashley DH, Tay FR: Sealing properties of two contemporary single-cone obturation systems. *Int Endod J* 40, 374-385 (2007b)
87. Mullany TP: Instrumentation of finely curved canals. *Dent Clin North Am* 23, 575 (1979).
88. Nair PNR: On the causes of persistent apical periodontitis: a review. *Int Endod J* 39, 249-281 (2006)
89. Pirani C, Pelliccioni GA, Marchionni S, Montebugnoli L, Piana G, Prati C: Effectiveness of three different retreatment techniques in canals filled with compacted gutta-percha or Thermafil: a scanning electron microscope study. *J Endod* 35, 1433-1440 (2009)
90. Pschyrembel *Klinisches Wörterbuch*. 259. Auflage, De Gruyter, Berlin (2002)
91. Reit C, Gröndahl HG: Endodontic retreatment decision making among a group of general practitioners. *Scand J Dent Res* 96, 112-117 (1988)
92. Roggendorf MJ, Legner M, Ebert J, Fillery E, Frankenberger R, Friedman S: Micro-CT evaluation of residual material in canals filled with Activ GP or GuttaFlow following removal with NiTi instruments. *Int Endod J* 43, 200-209 (2010 a)
93. Roggendorf MJ, RÜth A, Friedman S, Roggendorf HC, Yüksel S, Ebert J, Frankenberger R: Retreatment efficacy of adhesive and non-adhesive root canal sealers. IFEA Congress Athen, # P134 (2010 b)
94. Royzenblat A, Goodell GG: Comparison of removal times of Thermafil plastic obturators using ProFile rotary instruments at different rotational speeds in moderately curved canals. *J Endod* 33, 256-258 (2007)
95. Rotstein I, Cohenca N, Teperovich E, Moshonov J, Mor C, Roman I, Gedalia I: Effect of chloroform, xylene, and halothane on enamel and dentin microhardness of human teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 87, 366-368 (1999)

96. Saad AY, Al-Hadlaq SM, Al-Katheeri NH: Efficacy of two rotary NiTi instruments in the removal of gutta-percha during root canal retreatment. *J Endod* 33, 38-41 (2007)
97. Salehrabi, Rotstein: Epidemiologic evaluation of the outcomes of orthograde endodontic retreatment. *J Endod* 36, 790-792 (2010)
98. Sauk JJ, Norris K, Foster JM: Expression of heat stress proteins by human periodontal ligament cells. *J Oral Pathol* 17, 496 (1988)
99. Saunders WP, Saunders EM: Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review. *Endod Dent Traumatol* 10,105-108 (1994)
100. Schäfer E, Lohmann D: Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile - Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 35, 514-521 (2002)
101. Schilder H: Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am* 11, 723-744 (1967)
102. Schilder H: Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 18, 269 (1974)
103. Schirrmeister JF, Hermanns P, Meyer KM, Goetz F, Hellwig E: Detectability of residual Epiphany and gutta-percha after root canal retreatment using a dental operating microscope and radiographs – an ex vivo study. *Int Endod J* 39, 558-565 (2006 a)
104. Schirrmeister JF, Meyer KM, Hermanns P, Altenburger MJ, Wrbas KT: Effectiveness of hand and rotary instrumentation for removing a new synthetic polymer-based root canal obturation material (Epiphany) during retreatment. *Int Endod J* 39, 150-156 (2006 b)
105. Schirrmeister JF, Wrbas KT, Meyer KM, Altenburger MJ, Hellwig E: Efficacy of different rotary instruments for gutta-percha removal in root canal retreatment. *J Endod* 32, 469-472 (2006 c)

106. Schirmeister JF, Wrbas KT, Schneider FH, Altenburger MJ, Hellwig E: Effectiveness of a hand file and three nickel-titanium rotary instruments for removing gutta-percha in curved root canals during retreatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 101, 542-547 (2006 d)
107. Shemesh H, Bier CA, Wu MK, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR: The effects of canal preparation and filling on the incidence of dental defects. *Int Endod J* 42, 208-213 (2009)
108. Shemesh H, Roeleveld AC, Wesselink PR, Wu MK: Damage to root dentin during retreatment procedures. *J Endod* 37, 63-66 (2011)
109. Smith CS, Setchell DJ, Harty FJ: Factors influencing the success of conventional root canal therapy - a five year retrospective study. *Int Endod J* 26, 321-333 (1993)
110. Somma F, Cammarota G, Plotino G, Grande NM, Pameijer CH: The effectiveness of manuel and mechanical instrumentation for the retreatment of three different root canal filling materials. *J Endod* 34, 466-469 (2008)
111. Souza EM, Wu MK, Shemesh H, Bonetti-Filho I, Wesselink PR: Comparability of results from two leakage models. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 106, 309-313 (2008)
112. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Wurzelkanalaufbereitungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 9 (2000)
113. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 9 (2000)
114. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Prognose von Wurzelkanalbehandlungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 56, 206 (2001)
115. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Revision einer Wurzelkanalbehandlung. *Dtsch Zahnärztl Z* 59 (2004)
116. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Die Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge. *Dtsch Zahnärztl Z* 59 (2004)

117. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung. Dtsch Zahnärztl Z 60, 8 (2005)
118. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ: „Good clinical practice“: Die Wurzelkanalbehandlung. Dtsch Zahnärztl Z 60, 8 (2005)
119. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ (AG Endodontologie und Traumatologie): Die Wurzelkanalspülung. Dtsch Zahnärztl Z 61, 448 (2006)
120. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ (AG Endodontologie und Traumatologie): Die Fraktur von Wurzelkanalinstrumenten. Dtsch Zahnärztl Z 62, 534-535 (2007)
121. Takahashi CM, Cunha RS, de Martin AS, Fontana CE, Silveira CF, da Silveira CE: In vitro evaluation of the effectiveness of ProTaper universal rotary retreatment system for gutta-percha removal with or without a solvent. J Endod 35, 1580-1583 (2009)
122. Tasdemir T, Yildirim T, Celik D: Efficacy of three rotary NiTi instruments in removing gutta-percha from root-canals. Int Endod J 41, 191-196 (2008 a)
123. Tasdemir T, Yildirim T, Celik D: Comparative study of removal of current endodontic fillings. J Endod 34, 326-329 (2008 b)
124. Thompson SA, Dummer PM: Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: Part 1. Int Endod J 33, 248-254 (2000 a)
125. Thompson SA, Dummer PM: Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: Part 2. Int Endod J 33, 255-261 (2000 b)
126. Torabinejad M, Corr R, Handysides R, Shabahang S: Outcomes of nonsurgical retreatment and endodontic surgery: a systematic review. J Endod 35, 930-937 (2009)
127. Uemura M, Hata G, Toda T, Wine FS: Effectiveness of eucalyptol and d-limonene as gutta-percha solvents. J Endod 23, 739-741 (1997)

128. Unal GC, Maden M, Savgat A, Onur Orhan E: Comparative investigation of two rotary Nickel-titanium instruments: Protaper universal versus Protaper. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 107, 886-892 (2009)
129. Venturi M, Prati, C, Falconi M, Breschi L: A preliminary analysis of the morphology of lateral canals after root canal filling using a tooth-clearing technique. *Int Endod J* 36, 54-63 (2003)
130. Weiger R, Löst C, Hülsmann M: Die Revision von Wurzelkanalbehandlungen. I: Indikationsstellung. *Endodontie* 3, 27-37 (1994)
131. Weine FS, Healey HJ, Gerstein H, Evanson L: Precurved files and incremental instrumentation for root canal enlargement. *J Can Dent Ass* 36,155 (1970)
132. Weine FS, Kelly RF, Lio PJ: The effect of preparation procedures on original shape and on apical foramen shape. *J Endod* 1, 255 (1975)
133. Wilcox LR, Krell KV, Madison S, Rittmann B: Endodontic retreatment: evaluation of gutta-percha and sealer removal and canal reinstrumentation. *J Endod* 13, 453-457 (1987)
134. Wilcox LR, Juhlin JJ: Endodontic retreatment of Thermafil vs. laterally condensed gutta-percha. *J Endod* 20, 115-117 (1994)
135. Wilcox LR: Endodontic retreatment with halothane versus chloroform solvent. *J Endod* 21, 305-307 (1995)
136. Wolcott JF, Himel VT, Hichs ML: Thermafil retreatment using a new "System B" technique or a solvent. *J Endod* 25, 761-764 (1999)
137. Wu KM, Bud MG, Wesselink PR: The quality of single cone and laterally compacted gutta-percha fillings in small and curved root canals as evidenced by bidirectional radiographs and fluid transport measurements. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 108, 946-951 (2009)
138. Yilmaz Z, Deniz D, Ozcelik B, Sahin C, Cimilli, H, Cehreli ZC, Kartal N: Sealing efficiency of BeeFill 2in1 and System B/Obtura II versus single-cone and cold lateral compaction techniques. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 108, e 51-55 (2009 a)

139. Yilmaz Z, Tuncel B, Ozdemir HO, Serper A: Microleakage evaluation of roots filled with different obturation techniques and sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 108, 124-128 (2009 b)
140. Zakariasen KL, Brayton SM, Collinson DM: Efficient and effective root canal retreatment without chloroform. *J Can Dent Assoc* 56, 509-512 (1990)
141. Zaccaro Scelza MF, Lima Oliveira LR, Carvalho FB, Côrte-Real Faria S: In vitro evaluation of macrophage viability after incubation in orange oil, eucalyptol, and chloroform. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 102, e 24-27 (2006)
142. Zaccaro Scelza MF, Coil JM, De Carvalho Maciel AC, Oliveira LR, Scelza P: Comparative SEM evaluation of three solvents used in endodontic retreatment: an ex vivo study. *J Appl Oral Sci* 16, 24-29 (2008)
143. Zmener O, Pameijer CH, Banegas G: Retreatment efficacy of hand versus automated instrumentation in oval-shaped root canals: an ex vivo study. *Int Endod J* 39, 521-526 (2006)

## 12 Anhang

### 12.1 Abkürzungen

EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
NaOCl	Natriumhypochlorit
ISO	International Organization of Standardization
MAI	Master Apical Instrument
MAF	Master Apical File
MAR	Master Apical Rotary
MP	Masterpoint
WF	Wurzelkanalfüllung, Obturation
AL	Arbeitslänge
LCT	laterale Kompaktionstechnik
SCT	Single-cone-Technik
NCT	Non-compaction-Technik
TF	<i>Thermafil</i> -Technik
WVC	warme vertikale Kompaktionstechnik
Abb.	Abbildung
Tab.	Tabelle
U	Umdrehung
U x min <sup>-1</sup>	Umdrehungen pro Minute
U/min	Umdrehungen pro Minute
rpm	rotations per minute
mm	Millimeter

µm	Mikrometer
µm <sup>2</sup>	Quadratmikrometer
min	Minute
NiTi	Nickel-Titan-Legierung
p	Signifikanzwert

## 12.2 Materialien

Diamantierte Trennscheiben ISO806104 LOT 577010	Hager & Meisinger GmbH Neuss, Deutschland
Endo-Stepper	VDW Silver VDW GmbH München, Deutschland
Epoxidharz Biresin G27 Polyurethangießharz Harz (A) LOT 0012578852 Härter (B) LOT 0012406089	Sika N.V Utrecht, Niederlande
Spezial-Isolierflüssigkeit Vita Zeta HC (Heat Curing Composite) Special Insulating Liquid 30ml LOT 25040	Vita Zahnfabrik Bad Säckingen, Deutschland
Gewindeschrauben M4 x 60 DIN 963	LUX Wermelskirchen, Deutschland

Muttern  
M4  
DIN 934

LUX  
Wermelskirchen, Deutschland

Kanalaufbereitungsinstrumente:

BioRaCe – NiTi rotary instruments  
Basic Set LOT 16510  
BR0 Size .08/25  
BR1 Size .05/15  
BR2 Size .04/25  
BR3 Size .06/25  
BR4 Size .04/35  
BR5 Size .04/40

FKG Dentaire  
La-Chaux-de-Fonds, Schweiz

Gates-Glidden-Bohrer  
LOT 028013

VWD GmbH  
München, Deutschland

Grünes Winkelstück

KaVo GmbH  
Biberach, Deutschland

Blaues Winkelstück

KaVo GmbH  
Biberach, Deutschland

Glasplatte

Universitätsklinikum Marburg

Zementanrührspatel

Universitätsklinikum Marburg

Heidemann-Spatel

Universitätsklinikum Marburg

Kugelstopfer

Universitätsklinikum Marburg

C-Pilot- Feilen  
Size 06, 08 und 10

VDW GmbH  
München, Deutschland

Reamer K Size 10

VDW GmbH  
München, Deutschland

Reamer K Size 15	VDW GmbH München, Deutschland
Reamer K Size 20	VDW GmbH München, Deutschland
Reamer K Size 25	VDW GmbH München, Deutschland
Rosenbohrer	Meisinger GmbH Neuss, Deutschland
Rotes Winkelstück	KaVo GmbH Biberach, Deutschland
Spreader ISO 25 LOT 0910001174	VDW GmbH München, Deutschland
Heliobond	Ivoclar Vivadent Schaan, Lichtenstein
Tetric Flow	Ivoclar Vivadent Schaan, Lichtenstein
Composite	3M ESPE Neuss, Deutschland
Lichthärtegerät Elipar Visio 250 mW	3M ESPE Neuss, Deutschland
AH Plus Wurzelkanalfüllungsmaterial LOT 0912000739	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
Thermafil LOT 012604031	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland

Therma Prep Plus Oven	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
Obtura II, Obtura Gun	Obtura Corporation Fenton, MO, USA
Obtura Applikationskanülen Durchmesser 23 LOT 24507	Obtura Corporation Fenton, MO, USA
Obtura-Guttapercha LOT 446PO810	Obtura Spartan Earth City, MO, USA
Heatcarrier System B Modell 1005	Analytic Technology Redmond, WA, USA
Guttapercha .04/#40 LOT 17390	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
Guttapercha .02/#40 LOT 264810	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
Guttapercha .02/#25 LOT 265159, 265158	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
EDTA-Spüllösung (17 %)	Universitätsklinikum Marburg
Natriumhypochlorit (2,5 %)	Universitätsklinikum Marburg
Papierspitzen .02/#40 und .02/#35	Antaeos München, Deutschland
<u>Revisionsfeilen:</u>	
D-RaCe	
DR1-Access .10/#30 LOT 16975	FKG Dentaire La-Chaux-de-Fonds, Schweiz
DR2-Full path .04/#25 LOT 16975	FKG Dentaire La-Chaux-de-Fonds, Schweiz

BioRaCe 5 .04/#40 LOT 16510	FKG Dentaire La-Chaux-de-Fonds, Schweiz
Rondo .04/#45 (Spezialinstrument)	FKG Dentaire La-Chaux-de-Fonds, Schweiz
RaCe .04/#50 (Spezialinstrument)	FKG Dentaire La-Chaux-de-Fonds, Schweiz
Stereo-Lichtmikroskop	Leica Microsystems GmbH Deutschland
Leica Application Suite (LAS)	Leica Microsystems GmbH Deutschland
Image Tool 3.00 Bildauswertungssoftware	University of Texas San Antonio, TX, USA
SPSS 19.0 Statistisches Auswertungsprogramm	SPSS Inc. Chicago, IL, USA

## 12.3 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### 12.3.1 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1	Vorgehensweise bei der Vorbereitung, Wurzelkanalfüllung und Lagerung der Proben; Übersicht und Abfolge der Arbeitsschritte.
Abbildung 2	Methodisches Vorgehen bei der schrittweisen Revision der Wurzelkanalfüllung; Übersicht und Abfolge der Arbeitsschritte.
Abbildung 3	Röntgenaufnahmen der <i>Thermafil</i> -Technik; Abfolge von links nach rechts: Übersichtsaufnahme in vestibulo-oraler Projektionsrichtung, Übersichtsaufnahme in mesio-

distaler Projektionsrichtung, Röntgenmessaufnahme mit einer K-Feile der ISO-Größe 20 in mesio-distaler Projektionsrichtung, MP-Aufnahme in vestibulo-oraler Projektionsrichtung, WF-Kontrollaufnahme in vestibulo-oraler und in mesio-distaler Projektionsrichtung.

Abbildung 4

Röntgenaufnahmen der lateralen Kompaktionstechnik; Abfolge von links nach rechts: Übersichtsaufnahme in vestibulo-oraler und in mesio-distaler Projektionsrichtung, Röntgenmessaufnahme in mesio-distaler Projektionsrichtung, MP-Aufnahme in vestibulo-oraler Projektionsrichtung, WF-Kontrollaufnahme in vestibulo-oraler Projektionsrichtung.

Abbildung 5

Röntgenaufnahmen der lateralen Kompaktionstechnik; Abfolge von links nach rechts: Übersichtsaufnahme in vestibulo-oraler und in mesio-distaler Projektionsrichtung, Röntgenmessaufnahme in mesio-distaler Projektionsrichtung, MP-Aufnahme in vestibulo-oraler Projektionsrichtung, WF-Kontrollaufnahme in vestibulo-oraler Projektionsrichtung.

Abbildung 6

Röntgenaufnahmen der Single-cone-Technik; Abfolge von links nach rechts: Übersichtsaufnahme in vestibulo-oraler und in mesio-distaler Projektionsrichtung, Röntgenmessaufnahme in mesio-distaler Projektionsrichtung, MP-Aufnahme in vestibulo-oraler Projektionsrichtung, WF-Kontrollaufnahme in vestibulo-oraler und in mesio-distaler Projektionsrichtung.

Abbildung 7

Röntgenaufnahmen der Non-compaction-Technik; Abfolge von links nach rechts: Übersichtsaufnahme in vestibulo-oraler und in mesio-distaler Projektionsrichtung, Röntgenmessaufnahme in mesio-distaler Projektionsrichtung, MP-Aufnahme in mesio-distaler Projektionsrichtung, WF-Kontrollaufnahme in vestibulo-oraler und in mesio-distaler Projektionsrichtung.

- Abbildung 8 Maschinelle *BioRaCe*- NiTi- Instrumente der Firma *FKG*, die zur Wurzelkanalaufbereitung verwendet wurden. Das Basis-Set enthält (von links nach rechts) Instrumente der Größen BR 0 bis BR 5.
- Abbildung 9 Spezial-Isolierflüssigkeit für Polyurethangießharz der Firma *Vita*
- Abbildung 10 Polyurethangießharz *Biresin G27*: Material zur Herstellung der Probenblöcke
- Abbildung 11 *Biresin*-Block mit drei eingebetteten Probenzähnen
- Abbildung 12 *AH Plus*-Sealerpaste: Zur Wurzelkanalfüllung verwendeter Wurzelkanalsealer auf Epoxidharz-Basis
- Abbildung 13 Zur Wurzelkanalfüllung verwendete Guttaperchastifte; von links nach rechts: Größe .04/#40, Größe .02/#40 und Größe .02/#25.
- Abbildung 14 Zur Wurzelkanalfüllung (LCT und NCT) verwendeter Fingerspreader und Guttaperchastift
- Abbildung 15 Zur Wurzelkanalfüllung verwendete Guttaperchastifte: Größe .04/#40 (links) und Größe .02/#40 (rechts).
- Abbildung 16 NiTi-Instrumente *D-Race* und *BioRaCe* für den ersten Revisionsschritt, Abfolge von links nach rechts: *D-Race* .10/#30 und .04/#25 und *BioRaCe* .04/#40.
- Abbildung 17 NiTi-Instrumente *D-Race* .10/#30 und .04/#25 für den ersten Revisionsschritt.
- Abbildung 18 NiTi-Instrument „*Rondo*“ *Race* .04/#45 (Sonderanfertigung) für den zweiten Revisionsschritt.

- Abbildung 19 NiTi-Instrument *BioRace* .04/#50 für den dritten Revisionschritt.
- Abbildung 20 Einzelhälften des *Biresin*-Blocks mit je drei darin fixierten Probenhälften.
- Abbildung 21 Mit Schraube und Mutter fixierter *Biresin*-Block: Einzelhälften der Proben zusammengefügt.
- Abbildung 22 Obere Hälfte des *Biresin*-Blocks mit den Zahnhälften von drei Proben.
- Abbildung 23 Untere Hälfte des *Biresin*-Blocks mit den Zahnhälften von drei Proben
- Abbildung 24 Prozentuale Verteilung der Sealerreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#40 (*BioRaCe* 5).
- Abbildung 25 Prozentuale Verteilung der Sealerreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#45 („*Rondo*“ *RaCe*-Sonderanfertigung).
- Abbildung 26 Prozentuale Verteilung der Sealerreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#50 (*BioRaCe* 6).
- Abbildung 27 Prozentuale Verteilung der Guttaperchareste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#40 (*BioRaCe* 5).
- Abbildung 28 Prozentuale Verteilung der Guttaperchareste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#45 (FKG-Spezialinstrument „*Rondo*“).

Abbildung 29	Prozentuale Verteilung der Guttapercharesten in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#50 ( <i>BioRaCe 6</i> ).
Abbildung 30	Prozentuale Verteilung der Obturationsreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#40 ( <i>BioRaCe 5</i> ).
Abbildung 31	Prozentuale Verteilung Obturationsreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#45 ( <i>FKG-Spezialanfertigung „Rondo“</i> ).
Abbildung 32	Prozentuale Verteilung der Obturationsreste in den experimentellen Gruppen nach Revision und Instrumentierung des Wurzelkanals bis .04/#50 ( <i>BioRaCe 6</i> ).
Abbildung 33	Revisionsdauer der experimentellen Gruppen (Einzelschritte und Gesamtdauer)
Abbildung 34	Probe der lateralen Kompaktionstechnik aus den Vorversuchen
Abbildung 35	Probe der Non-compaction-Technik aus den Vorversuchen
Abbildung 36	Probe der Single-cone-Technik aus den Vorversuchen
Abbildung 37	Probe der <i>Thermafil</i> -Technik aus den Vorversuchen
Abbildung 38	Probe der warmen Vertikalkompaktion aus den Vorversuchen

### 12.3.2 Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1	Abfolge der Anwendung der NiTi-Instrumente der Firma <i>FKG</i> ( <i>BioRaCe</i> ) während der Wurzelkanalaufbereitung; Anwendung der Instrumente in der Abfolge von links nach rechts.
Tabelle 2	Signifikanzwerte (p-Werte) der Sealer- und Guttapercharesten im apikalen Wurzelkanal Drittel nach dem ersten Revisionsschritt.
Tabelle 3	Signifikanzwerte (p-Werte) der Sealer- und Guttapercharesten im mittleren Wurzelkanal Drittel nach dem ersten Revisionsschritt.
Tabelle 4	Signifikanzwerte (p-Werte) der Sealer- und Guttapercharesten im koronalen Wurzelkanal Drittel nach dem ersten Revisionsschritt.
Tabelle 5	Signifikanzwerte (p-Werte) der Sealer- und Guttapercharesten im apikalen Wurzelkanal Drittel nach dem zweiten Revisionsschritt.
Tabelle 6	Signifikanzwerte (p-Werte) der Sealer- und Guttapercharesten im mittleren Wurzelkanal Drittel nach dem zweiten Revisionsschritt.
Tabelle 7	Signifikanzwerte (p-Werte) der Sealer- und Guttapercharesten im koronalen Wurzelkanal Drittel nach dem zweiten Revisionsschritt.
Tabelle 8	Signifikanzwerte (p-Werte) der Sealer- und Guttapercharesten im apikalen Wurzelkanal Drittel nach dem dritten Revisionsschritt.
Tabelle 9	Signifikanzwerte (p-Werte) der Sealer- und Guttapercharesten im mittleren Wurzelkanal Drittel nach dem dritten Revisionsschritt.
Tabelle 10	Signifikanzwerte (p-Werte) der Sealer- und Guttapercharesten im koronalen Wurzelkanal Drittel nach dem dritten Revisionsschritt.
Tabelle 11	Signifikanzwerte (p-Werte) der Revisionszeiten für den ersten und den zweiten Revisionsschritt.

Tabelle 12	Signifikanzwerte (p-Werte) der Revisionszeiten für den dritten Revisionschritt und die gesamte Revision.
Tabelle 13	Revisionszeiten für die einzelnen Wurzelkanalfülltechniken; Revisionszeit für Schritt 1 der Revision ( $t_1$ ), Revisionszeit für Schritt 2 der Revision ( $t_2$ ), Revisionszeit für Schritt 3 der Revision ( $t_3$ ) und gesamte Revisionszeit für alle Schritte der Revision ( $t_{ges}$ ). Die Revisionszeit beinhaltet die für die Revision, den jeweiligen Revisionschritt und für Spülung und Trocknung des Wurzelkanals benötigte Zeit.
Tabelle 14	Medianwerte der Sealerreste
Tabelle 15	Medianwerte der Guttaperchareste
Tabelle 16	Medianwerte der gesamten Wurzelkanalfüllreste (WF-Reste)

## 12.4 Tabellen

Tabelle 2:

Schritt 1 Apikal	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Guttapercharestie
LCT		p=0,109	p=0,397	p=0,211	p=0,112	
NCT	p=0,570		p=0,730	p=0,041*	p=0,910	
SCT	p=0,532	p=0,776		p=0,078	p=0,776	
TF	p=0,017*	p=0,027*	p=0,003*		p=0,011*	
WVC	p=0,427	p=0,691	p=0,460	p=0,004*		
Sealerreste						

Tabelle 3:

Schritt 1 Mitte	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Guttapercharestie
LCT		p=0,363	p=0,363	p=0,061	p=0,427	
NCT	p=0,691		p=0,776	p=0,011*	p=1,000	
SCT	p=0,173	p=0,233		p=0,006*	p=0,427	
TF	p=0,015*	p=0,003*	p=0,003*		p=0,001*	
WVC	p=0,865	p=0,865	p=0,125	p=0,009*		
Sealerreste						

Tabelle 4:

<b>Schritt 1 Koronal</b>	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Guttaperchareste
LCT		p=0,826	p=0,778	p=0,036*	p=0,125	
NCT	p=0,691		p=0,910	p=0,027*	p=0,020*	
SCT	p=0,211	p=0,256		p=0,100	p=0,053	
TF	p=0,008*	p=0,006*	p=0,005*		p=0,609	
WVC	p=0,069	p=0,012*	p=0,005*	p=0,307		
Sealerreste						

Tabelle 5:

<b>Schritt 2 Apikal</b>	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Guttaperchareste
LCT		p=0,110	p=0,859	p=0,016*	p=0,972	
NCT	p=0,820		p=0,583	p=0,001*	p=0,064	
SCT	p=0,609	p=0,733		p=0,019*	p=0,552	
TF	p=0,005*	p=0,017*	p=0,005*		p=0,035*	
WVC	p=0,570	p=0,955	p=0,609	p=0,005*		
Sealerreste						

Tabelle 6:

Schritt 2 Mitte	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Guttaperchareste
LCT		p=0,701	p=0,300	p=0,005*	p=0,778	
NCT	p=0,776		p=0,594	p=0,005*	p=0,300	
SCT	p=0,280	p=0,112		p=0,001*	p=0,027*	
TF	p=0,009*	p=0,008*	p=0,005*		p=0,005*	
WVC	p=0,609	p=0,910	p=0,047*	p=0,008*		
Sealerreste						

Tabelle 7:

Schritt 2 Koronal	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Guttaperchareste
LCT		p=0,345	p=0,583	p=0,006*	p=0,006*	
NCT	p=0,496		p=0,917	p=0,015*	p=0,078	
SCT	p=0,069	p=0,256		p=0,061	p=0,053	
TF	p=0,017*	p=0,005*	p=0,002*		p=0,776	
WVC	p=0,125	p=0,015*	p=0,009*	p=0,514		
Sealerreste						

Tabelle 8:

Schritt 3 Apikal	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Guttapercharestete
LCT		p=0,735	p=0,686	p=0,004*	p=0,594	
NCT	p=0,733		p=0,753	p=0,002*	p=0,508	
SCT	p=0,394	p=0,496		p=0,019*	p=0,110	
TF	p=0,006*	p=0,020*	p=0,004*		p=0,011*	
WVC	p=0,776	p=0,570	p=0,281	p=0,005*		
Sealerreste						

Tabelle 9:

Schritt 3 Mitte	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Guttapercharestete
LCT		p=0,241	p=0,114	p=0,009*	p=0,937	
NCT	p=0,156		p=0,398	p=0,001*	p=0,401	
SCT	p=0,910	p=0,088		p=0,001*	p=0,066	
TF	p=0,004*	p=0,011*	p=0,012*		p=0,011*	
WVC	p=0,078	p=0,532	p=0,156	p=0,036*		
Sealerreste						

Tabelle 10:

<b>Schritt 3 Koronal</b>	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Gutapercharestete
LCT		p=0,594	p=0,050*	p=0,036*	p=0,182	
NCT	p=1,000		p=0,043*	p=0,078	p=0,424	
SCT	p=0,256	p=0,427		p=0,001*	p=0,008*	
TF	p=0,020*	p=0,012*	p=0,004*		p=0,245	
WVC	p=0,173	p=0,069	p=0,041*	p=0,053		
Sealerreste						

Tabelle 11:

<b>Schritt 2 Schritt 1</b>	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Revisionszeit 2 (t <sub>2</sub> )
LCT		p=0,649	p=0,088	p=0,191	p=0,099	
NCT	p=0,887		p=0,073	p=0,164	p=0,035*	
SCT	p=0,272	p=0,478		p=0,011*	p=0,002*	
TF	p=0,001*	p=0,001*	p=0,001*		p=0,589	
WVC	p=0,173	p=0,532	p=0,173	p=0,002*		
Revisionszeit 1 (t <sub>1</sub> )						

Tabelle 12:

Schritt 3	LCT	NCT	SCT	TF	WVC	Revisionszeit 3 ( $t_3$ )
Gesamt						
LCT		p=0,910	p=0,932	p=0,514	p=0,011*	
NCT	p=0,910		p=0,820	p=0,755	p=0,008*	
SCT	p=0,191	p=0,191		p=0,570	p=0,004*	
TF	p=0,001*	p=0,002*	p=0,001*		p=0,019*	
WVC	p=0,118	p=0,088	p=0,004*	p=0,020*		
Gesamte Revisionszeit ( $t_{ges}$ )						

Tabelle 13: Zeiten der Revisionschritte für die verschiedenen Obturationstechniken.

Revisionszeit [sec.]	LCT	NCT	SCT	TF	WVC
<i>Mittelwerte [SD]</i>					
$t_1$	201,07 [65,81]	201,67 [72,72]	179,87 [40,38]	337,67 [110,51]	203,67 [48,94]
$t_2$	78,40 [32,03]	78,00 [24,85]	64,73 [18,19]	95,20 [39,68]	103,27 [36,54]
$t_3$	66,20 [19,99]	67,47 [16,57]	65,73 [14,52]	72,53 [24,98]	98,27 [35,77]
$t_{gesamt}$	346,07 [93,79]	347,13 [92,93]	310,33 [50,98]	505,40 [135,90]	405,20 [99,44]

Tabelle 14: Sealerreste (Medianwerte, Minimum und Maximum in %)

Obturationstechnik	Kanal Drittel	Revisions schritt 1	Revisions schritt 2	Revisions schritt 3
		Medianwert (Min./Max.)	Medianwert (Min./Max.)	Medianwert (Min./Max.)
LCT	Apikal	26,98 (12,22/87,65)	26,96 (7,81/70,31)	15,06 (3,47/56,77)
	Mitte	39,22 (15,73/62,44)	31,64 (10,08/58,32)	26,12 (8,23/51,49)
	Koronal	40,84 (13,93/75,61)	24,33 (5,51/66,03)	17,94 (3,77/57,40)
NCT	Apikal	41,18 (0,00/84,00)	30,35 (0,00/74,09)	16,34 (0,00/53,19)
	Mitte	47,97 (15,23/64,11)	29,90 (9,43/51,86)	20,48 (3,49/41,72)
	Koronal	46,71 (16,27/69,82)	25,00 (14,51/52,88)	20,89 (3,47/43,42)
SCT	Apikal	58,79 (29,51/88,54)	30,58 (6,77/47,99)	24,33 (5,51/66,03)
	Mitte	64,29 (39,96/100,00)	41,15 (6,83/55,70)	31,60 (0,72/53,70)
	Koronal	58,95 (42,26/98,86)	36,42 (16,05/82,38)	27,37 (12,19/55,79)
TF	Apikal	51,56 (15,42/89,39)	46,71 (16,27/69,82)	7,28 (0,00/43,47)
	Mitte	50,60 (26,89/100,00)	6,34 (0,00/59,76)	4,80 (0,00/45,85)
	Koronal	40,07 (16,83/78,07)	7,28 (0,00/43,47)	5,08 (0,00/37,36)
WVC	Apikal	55,72 (27,87/82,20)	24,03 (3,08/58,40)	17,62 (8,18/40,00)
	Mitte	61,75 (21,41/97,32)	31,70 (2,49/53,14)	16,45 (0,83/46,31)
	Koronal	50,45 (26,36/97,24)	9,39 (0,00/55,31)	7,58 (0,00/56,34)

Tabelle 15: Guttaperchareste (Medianwerte, Minimum und Maximum in %)

Obturationstechnik	Kanal Drittel	Revisions schritt 1	Revisions schritt 2	Revisions schritt 3
		Medianwert (Min./Max.)	Medianwert (Min./Max.)	Medianwert (Min./Max.)
LCT	Apikal	17,26 (0,00/44,31)	10,09 (0,00/43,10)	0,00 (0,00/13,09)
	Mitte	24,60 (0,00/52,88)	5,14 (0,00/37,24)	3,91 (0,00/30,11)
	Koronal	17,42 (0,00/47,50)	6,58 (0,00/26,80)	0,50 (0,00/21,69)
NCT	Apikal	4,60 (0,00/51,21)	0,00 (0,00/35,94)	0,00 (0,00/33,46)
	Mitte	14,44 (0,00/52,47)	9,33 (0,00/46,91)	0,00 (0,00/18,86)
	Koronal	16,75 (0,00/41,46)	9,03 (0,00/37,49)	0,00 (0,00/23,93)
SCT	Apikal	7,51 (0,00/39,92)	4,60 (0,00/51,21)	0,00 (0,00/35,07)
	Mitte	15,99 (0,00/50,26)	0,00 (0,00/38,52)	0,00 (0,00/23,48)
	Koronal	10,18 (0,00/37,30)	6,15 (0,00/34,67)	0,00 (0,00/18,92)
TF	Apikal	23,70 (0,00/79,23)	14,95 (0,00/47,66)	10,54 (0,00/44,25)
	Mitte	40,51 (6,37/82,51)	31,19 (0,00/79,73)	18,75 (0,00/71,54)
	Koronal	25,40 (11,48/65,88)	20,62 (5,93/45,87)	10,12 (0,00/63,44)
WVC	Apikal	11,05 (2,69/35,38)	9,01 (0,00/36,92)	1,85 (0,00/11,88)
	Mitte	13,07 (0,57/51,32)	7,24 (0,00/34,18)	0,00 (0,00/31,58)
	Koronal	38,92 (0,00/71,21)	25,79 (0,00/45,81)	1,07 (0,00/30,14)

Tabelle 16: Gesamte WF-Reste (Medianwerte, Minimum und Maximum in %)

Obturationstechnik	Kanal Drittel	Revisions schritt 1	Revisions schritt 2	Revisions schritt 3
		Medianwert (Min./Max.)	Medianwert (Min./Max.)	Medianwert (Min./Max.)
LCT	Apikal	58,62 (21,83/92,11)	39,86 (11,95/70,31)	16,97 (7,04/56,77)
	Mitte	66,80 (15,73/100,00)	38,68 (21,36/61,77)	32,42 (8,23/54,01)
	Koronal	58,26 (13,93/92,21)	34,40 (5,51/72,61)	30,19 (3,77/60,19)
NCT	Apikal	53,88 (1,06/92,39)	39,35 (1,02/74,09)	22,42 (0,96/53,19)
	Mitte	64,11 (15,23/100,00)	36,95 (9,43/88,81)	22,62 (3,49/42,89)
	Koronal	65,90 (17,21/100,00)	39,14 (14,51/82,41)	27,85 (3,47/67,35)
SCT	Apikal	58,79 (29,51/88,54)	37,65 (21,90/68,99)	23,98 (2,97/42,33)
	Mitte	64,29 (39,96/100,00)	43,35 (6,83/72,14)	31,86 (0,72/55,08)
	Koronal	58,95 (42,26/98,86)	45,74 (25,98/90,92)	27,96 (12,19/55,79)
TF	Apikal	51,56 (15,42/89,39)	38,46 (7,87/56,03)	18,77 (4,49/48,41)
	Mitte	50,60 (26,89/100,00)	42,79 (20,85/91,22)	27,52 (6,16/78,20)
	Koronal	40,07 (16,83/78,07)	30,86 (8,25/57,12)	24,98 (1,92/63,44)
WVC	Apikal	55,72 (27,87/82,20)	43,15 (17,90/59,99)	21,63 (8,27/48,45)
	Mitte	61,75 (21,41/97,32)	40,26 (2,49/77,85)	21,00 (0,87/70,17)
	Koronal	50,45 (26,36/97,24)	34,36 (8,74/78,55)	15,97 (1,07/86,48)

## 12.5 Bilder

Die nachfolgenden Bilder stammen aus der *In-vitro*-Studie vorangehenden Vorversuchen.



Abb. 34: Probe der lateralen Kompaktionstechnik (aus den Vorversuchen)



Abb. 35: Probe der Non-compaction-Technik (aus Vorversuchen)



Abb. 36: Probe der Single-cone-Technik (aus den Vorversuchen)



Abb. 37: Probe der *Thermafil*-Technik (aus den Vorversuchen)



Abb. 38: Probe der warmen vertikalen Kompaktionstechnik (aus den Vorversuchen)

## 13 Danksagung

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

Mein ganz besonderer und herzlicher Dank gilt Herrn Dr. Matthias Roggendorf, Geschäftsführender Oberarzt der Abteilung für Zahnerhaltungskunde der Zahnklinik Marburg, für die freundliche Überlassung des Themas und seine überaus engagierte und hervorragende Betreuung.

Ferner bedanke ich mich bei Herrn Büttner und Frau Grimmelbein für ihre Hilfestellung und Unterstützung bei dem experimentellen Teil dieser Arbeit.

## 14 Verzeichnis akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer während meines Studiums an der JLU in Gießen waren:

Frau Prof. Dr. Baumgart-Vogt (Anatomie)  
Herr Prof. Dr. Dreyer (Pharmakologie)  
Herr Dr. Driever (Allgemeine Pathologie und pathologische Anatomie)  
Herr Prof. Dr. Eikmann (Hygiene)  
Frau Prof. Dr. Ganß (Konservierende Zahnheilkunde)  
Herr PD Dr. Gonzales (Parodontologie)  
Herr PD Dr. Grandel (Innere Medizin)  
Herr Prof. Dr. Hild (Chirurgie)  
Herr Prof. Dr. Dr. Howaldt (MKG)  
Herr PD Dr. Jung (Dermatologie)  
Herr Prof. Dr. Klimek (Konservierende Zahnheilkunde)  
Herr Prof. Dr. Koçkapan (Konservierende Zahnheilkunde)  
Herr Prof. Dr. Dr. Krämer (Kinderzahnheilkunde)  
Herr Prof. Dr. Kummer (Anatomie / Biologie)  
Herr Dr. May (Oralchirurgie)  
Herr Prof. Dr. Mayser (Dermatologie)  
Herr Prof. Dr. Meyer (Physik)  
Herr Prof Dr. Meyle (Parodontologie)  
Frau Dr. Michel (Zahnmedizinische Propädeutik)  
Herr Prof. Dr. Müller (Chemie)  
Herr AkDir Dr. Novotny (Physik)  
Herr Prof. Dr. Preissner (Biochemie)  
Herr Dr. Rehmann (Prothetik)  
Herr Prof. Dr. Roelcke (Geschichte der Medizin)  
Frau Prof. Dr. Ruf (Kieferorthopädie)  
Frau Dr. Schaaf (MKG)  
Herr Prof. Dr. Schindler (Chemie)  
Herr Dr. Schramm (HNO)  
Herr Prof. Dr. Schulz (Physiologie)  
Herr Dr. Dr. Streckbein (MKG)  
Herr Prof. Dr. Wetzel (Kinderzahnheilkunde)  
Herr Prof. Dr. Wöstmann (Prothetik)