

**Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der
Universität Würzburg**

Direktor: Professor Dr. med. dent. Gabriel Krastl

**Technische Qualität von Wurzelkanalfüllungen an simulierten, gekrümmten
Wurzelkanälen in Abhängigkeit von der Wurzelfülltechnik**

**Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
vorgelegt von
Matthias Stanislawiak
aus Köthen (Anhalt)**

Würzburg, August 2016

Referent : Priv.-Doz. Dr. med. dent. Norbert Hofmann

Korreferent : Univ.-Prof. Dr. med. dent. Gabriel Krastl

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 29.03.2017

Der Promovend ist Zahnarzt

In Dankbarkeit meiner Familie gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Guttapercha – das Kernmaterial	4
1.2	Sealer.....	5
1.3	Die unterschiedlichen Techniken zur Wurzelkanalfüllung	8
1.3.1	Kalte Fülltechniken	9
	Die Laterale Verdichtung	9
	Die Zentralstifttechnik	12
1.3.2	Thermoplastische Fülltechniken	14
	Das trägerbasierte System (GuttaMaster®).....	14
	Die Vertikale Verdichtung nach <i>Herbert Schilder</i>	16
1.4	Zielsetzung der Arbeit.....	17
2	Material und Methoden.....	18
2.1	Auswahl und Aufbereitung der Kunststoffblöcke	18
2.2	Gruppeneinteilung und Füllung	20
2.2.1	Gruppe 1	21
2.2.2	Gruppe 2	22
2.2.3	Gruppe 3	22
2.2.4	Gruppe 4	23
2.3	Vermessen, Einbetten und Anfertigen der Schliffbilder	25
2.4	Auswertung der Schliffbilder	28
2.4.1	Qualitative Auswertung: Anzahl und Art der Defekte, Anzahl der Hilfsspitzen	28
2.4.2	Quantitative Auswertung: Flächenanteil von Sealer, Guttapercha, Träger und Defekten.....	28
2.4.3	Statistische Auswertung.....	29
3	Ergebnisse	30
3.1	Kraftmessung.....	30
3.2	Schliffbilder	33

Inhaltsverzeichnis

3.2.1	Kalte laterale Verdichtung nach ISO-Norm	33
3.2.2	Kalte laterale Verdichtung nach ABCD-Kodierung	35
3.2.3	Zentralstifttechnik	37
3.2.4	Trägerbasiertes Obturationssystem.....	39
3.3	Art der Defekte	41
3.3.1	Lufteinschlüsse	41
3.3.2	Spreaderartefakte	44
3.4	Anzahl der Defekte	46
3.5	Eindringtiefe der Hilfsspitzen	47
3.6	Flächenanteil der Guttapercha bzw. Guttapercha inkl. Kunststoffträger	48
3.7	Vergleich des Sealer-Anteils	51
3.8	Vergleich des Defekt-Anteils.....	53
4	Diskussion.....	55
4.1	Diskussion der Methoden	55
4.2	Diskussion der Ergebnisse	59
5	Zusammenfassung.....	66
	Literaturverzeichnis	69
	Anhang.....	82
	Urheberrechtshinweis	82
	Verzeichnis der verwendeten Materialien und Geräte	82
	Danksagung	85
	Curriculum vitae	86

1 Einleitung

Eines der obersten Ziele in der endodontischen Therapie ist neben der Entfernung sämtlicher pulpalen Gewebsreste sowie der gründlichen Reinigung und Formgebung des Wurzelkanals, dessen dichter Verschluss mit einem inerten Füllungsmaterial (Vertucci *et al.* 2006). Da besonders häufig Zähne mit zu kurzen oder insuffizienten Wurzelfüllungen periapikale Läsionen aufweisen, ist es für den Behandler erstrebenswert die Qualität von Wurzelfüllungen stetig zu verbessern (Özbaş *et al.* 2011).

In der Literatur findet man weitere Publikationen, die sich mit der Häufigkeit und Qualität von Wurzelkanalfüllungen sowie deren Erfolgsrate auseinandersetzen. So berichten Hülsmann *et al.* (1991) in einer Studie, dass über die Hälfte der 139 untersuchten Wurzelfüllungen deutlich zu kurz waren (Endpunkt mehr als 2 mm vor dem Apex) und sogar 68% Mängel in der Homogenität, sowie eine periapikale Radioluzenz aufwiesen. In Bezug auf die Veränderung der Häufigkeit und Qualität der endodontischen Versorgung in einem Untersuchungszeitraum von 1976-1993 zeigten sich in einer weiteren Studie weder „kontinuierlich quantitative noch qualitative Veränderungen“ (Hülsmann & Snezna 1998). Farzaneh *et al.* (2004) gaben in der Toronto-Studie Heilungs- beziehungsweise Erfolgsraten für initiale Wurzelkanalbehandlungen von 79% bis 93% an, abhängig vom Ausgangszustand des apikalen Parodonts, je nachdem ob eine apikale Parodontitis vorgelegen hat oder nicht (Farzaneh *et al.* 2004; Friedman *et al.* 2003). Aufgrund dieser Erkenntnisse und der sich daraus bietenden Möglichkeit die Wurzelkanalfüllungen weiter zu verbessern, ist es das Ziel dieser Arbeit, sich mit der Problematik und der Qualität verschiedener Obturationstechniken speziell an simulierten, gekrümmten Wurzelkanälen auseinanderzusetzen.

Einleitung

Die eigentliche Wurzelkanalbehandlung beginnt mit der Trepanation. Neben der Kenntnis über die Varianten des Wurzelkanalsystems ist ein guter endodontischer Zugang eine der Grundvoraussetzungen, denn Schwierigkeiten während der Instrumentation der Wurzelkanäle entstehen meist als Folge eines zu kleinen oder falsch angelegten Zugangs zur Pulpakammer und den Wurzelkanälen (Baumann & Beer 2008). Im Anschluss an die Trepanation, einschließlich Erweiterung der Kanaleingänge und Festlegung der Aufbereitungslänge, erfolgt die mechanische und zeitgleich chemische Aufbereitung der Wurzelkanäle. Von elementarer Bedeutung ist dabei das sorgfältige Debridement des Wurzelkanalsystems, welches das Entfernen von Pulpagewebsresten, angesammelten Debris und bakteriell infizierten Dentins beinhaltet, um die Anzahl der Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem zu reduzieren (Hülsmann *et al.* 1997). Die mechanische Instrumentierung des endodontischen Systems hat heutzutage primär das Ziel, die Voraussetzung für eine optimale chemische Desinfektion zu schaffen und somit das Vordringen der Wurzelkanalspülung bis in das apikale Delta zu ermöglichen (Hülsmann & Schäfer 2007).

In verschiedenen Studien konnte nachgewiesen werden, dass es keine Aufbereitungstechnik gibt, die eine vollständige mechanische Bearbeitung der Wurzelkanalwände ermöglicht (Brkanic *et al.* 2010; Davis *et al.* 1972; De-Deus *et al.* 2008; Gutierrez & Garcia 1968; Hülsmann *et al.* 1997; Paqué *et al.* 2010; Taha *et al.* 2010). Deshalb hat die chemische Aufbereitung eine entscheidende Bedeutung für den Therapieerfolg, da erst durch diese Maßnahme, die intrakanaläre Keimzahl auf ein nichtpathogenes Maß reduziert werden kann (Hülsmann & Schäfer 2007).

Die Aufbereitung gekrümmter Kanäle insbesondere bei Verwendung von relativ unflexiblen Edelstahl-Handfeilen mit schneidenden, scharfkantig zulaufenden Instrumentenspitzen ist sehr fehleranfällig. Mögliche Aufbereitungsfehler sind unter anderem apikale Stufenbildungen oder unerwünschte Begradigungen der ursprünglichen Kanalform (Roane *et al.* 1985). Campos & del Rio (1990) konnten in ihren Untersuchungen aufzeigen, dass gekrümmte Kanäle häufig im apikalen und mittleren Drittel begradigt werden. Um diese Fehler zu minimieren, wurden rotierende Nickel-Titan-Instrumente entwickelt. Durch ihr geringes Elastizitätsmodul und des

Einleitung

daraus resultierenden großen Bereichs elastischer und pseudoelastischer Deformation arbeiten diese zentrierter im Kanal und ermöglichen somit, die ursprüngliche Kanalform besser beizubehalten (Schäfer & Lohmann 2002b; Walia *et al.* 1988). Doch selbst unter Verwendung rotierender Nickel-Titan-Instrumente kommt es immer wieder zu Begradigungen des originären Kanalverlaufs (Hartmann *et al.* 2007; Özer 2011). Bei übermäßigem Dentinabtrag der Krümmungsinne- sowie der Außenseite resultiert daraus meist ein länglich-ovaler Kanalquerschnitt (Schäfer & Lohmann 2002a). Wird die Wurzelkanalfüllung anschließend mittels Zentralstifttechnik durchgeführt, ist gerade in diesem Bereich ein hoher Sealeranteil erforderlich, um den Kanal suffizient zu verschließen, da der runde Guttaperchastift keine formkongruente Passung aufweist (Ozawa *et al.* 2009).

Des Weiteren kann aufgrund des übermäßigen Dentinabtrags und der damit verbundenen Schwächung der Kanalwände das Risiko für Wurzelfrakturen, besonders in Verbindung mit der lateralen Verdichtungstechnik, erhöht sein (Shemesh *et al.* 2009; Wilcox *et al.* 1997).

Nach abgeschlossener chemomechanischer Aufbereitung des Wurzelkanalsystems muss dieses dauerhaft hermetisch dicht und biokompatibel verschlossen werden. Dadurch soll die Passage von Mikroorganismen und Flüssigkeit entlang des Wurzelkanals verhindert werden. Voraussetzung für die Wurzelfüllung ist die Symptomlosigkeit des zu behandelnden Zahnes sowie ein frei von Exsudat bleibendes Kanalsystem. Das Wurzelfüllmaterial sollte vor allem dimensionsstabil, unempfindlich und unlöslich gegenüber Gewebeflüssigkeiten, biokompatibel und bakterio- statisch sein. Empfohlen wird die Anwendung eines oder mehrerer Füllstifte (Kernmaterial) in Kombination mit einem Wurzelkanalsealer (Europäische Gesellschaft für Endodontologie 2006).

1.1 Guttapercha – das Kernmaterial

Während im 19. Jahrhundert Wurzelkanäle hauptsächlich mit Gold- oder Zinnfolie gefüllt wurden, führte Edwin Truman im Jahre 1847 Guttapercha in die Zahnheilkunde ein. Circa 20 Jahre später beschrieb G.A. Bowman erstmals die alleinige Anwendung von Guttapercha zum Füllen von Wurzelkanälen (Cruse & Bellizzi 1980; Michel *et al.* 1997).

Guttapercha besteht aus dem gereinigten, eingetrockneten Milchsaft des Isonandra-Gutta-Baums (Hülsmann 2008). Aus chemischer Sicht handelt es sich bei dem Guttapercha-Molekül um das trans-Isomer des natürlichen Kautschuks (cis-Isomer). Guttapercha kann grundsätzlich in drei verschiedenen Formen vorkommen, die alle bei der Wurzelkanalfüllung eine Rolle spielen. Zu unterscheiden sind zwei kristalline Formen und eine amorphe Form. Handelsübliche Stifte aus Guttapercha liegen hauptsächlich in der kristallinen β -Phase vor, welche durch Erwärmung auf 42-49° Celsius in die kristalline α -Phase umgewandelt werden können. Wird die Erwärmung auf 53-59° Celsius fortgeführt, folgt daraus der Übergang in die amorphe Verschmelzungsphase, welche mit dem Verlust der kristallinen Form einhergeht. Diese Phasenumwandlungen haben auch Volumenveränderungen zur Folge, die bei den thermoplastischen Füllungsverfahren beachtet werden müssen. Die Wurzelfüllstifte setzen sich je nach Hersteller zu 10-22% aus dem eigentlichen Transpolyisopren-Guttapercha-Molekül, zu 59-75% aus Zinkoxid als Füllstoff sowie aus weiteren Zusätzen von Wachsen und Harzen als Weichmacher und Metallsulfaten als Röntgenkontrastmittel, zusammen (Friedman *et al.* 1975; Stock *et al.* 2005).

Da Guttapercha keinen adhäsiven Verbund mit der Kanalwand eingeht und kleinere Unebenheiten oder Hohlräume somit nicht abgedichtet werden können, wird zusätzlich ein Zement (Sealer) für diese Bereiche zwingend erforderlich (Pascon & Spångberg 1990; Tagger *et al.* 1994; Younis & Hembree 1976).

Einleitung

Nach dem Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie (2006) sollten folgende Anforderungen an Wurzelkanalfüllmaterialien gestellt werden:

- Biokompatibilität
- Dimensionsstabilität
- Unempfindlichkeit gegenüber Gewebeflüssigkeiten sowie Unlöslichkeit darin
- bakteriostatischer Effekt
- Röntgenopazität
- (einfache) Entfernbarkeit für erforderliche Revisionen oder Stiftbohrungen

1.2 Sealer

Wie bereits erwähnt, erfüllen Wurzelkanalzemente (sog. Paste oder auch Sealer) die Funktion, apikale Ramifikationen, laterale Kanäle, Unregelmäßigkeiten der Kanalwand sowie Hohlräume, die mit Guttapercha nicht auszufüllen sind, dauerhaft zu verschließen. Sie fungieren als eine Art Bindeglied zwischen der Wurzelkanalwand und dem Kernmaterial der Wurzelkanalfüllung (Kontakiotis *et al.* 2007; Lee, K. W. *et al.* 2002; Wennberg & Ørstavik 1990).

Die heute gebräuchlichsten Sealer können anhand ihrer Zusammensetzung auf der Basis von Zinkoxid-Eugenol, Epoxidharz, Silikon, Glasionomerzement sowie auf Basis von Kalziumhydroxid eingeteilt werden.

Sie setzen sich zumeist aus zwei Komponenten zusammen, die miteinander vermischt werden müssen. Im Verlauf der Abbindereaktion kann es zu Dimensionsveränderungen kommen, die eine Kontraktion von maximal 1% sowie 0,1% Expansion nicht überschreiten sollten (Marin-Bauza *et al.* 2012). Überwiegend kommt es während der initialen Polymerisation zur Kontraktion; allerdings wurden aber auch Expansionsvorgänge beschrieben (Hammad *et al.* 2008; Kazemi *et al.* 1993; Wiener & Schilder 1971). Nach der Polymerisation kann es zur Wasseraufnahme in den Zement kommen, woraus wiederum Expansionen resultieren (Flores *et al.* 2011; Marin-Bauza *et al.* 2010; Marin-Bauza *et al.* 2012; Ørstavik *et al.* 2001).

Die größten Dimensionsveränderungen treten laut Ørstavik *et al.* (2001) innerhalb der ersten vier Wochen auf. Sealer auf Basis von Zinkoxid-Eugenol zeigten generell eine

Einleitung

leichte Schrumpfung von 0,3 bis 1%, Epoxidharz-basierte Sealer wie AH 26 eine sehr hohe Expansion von 4 bis 5%, während AH-Plus nur um 0,4 bis 0,9% expandierte. Roekoseal, ein Zement auf Silikonbasis, zeigte die geringsten Dimensionsveränderungen von bis zu 0,2%. Dimensionsveränderungen, insbesondere in Form von Schrumpfung, können zu Porositäten und Hohlräumen, im Bereich zwischen Sealer und Dentin sowie zwischen Sealer und Guttapercha, führen (Ørstavik *et al.* 2001).

Da die Passage von Mikroorganismen durch größere Defekte erleichtert wird, gilt es, die Auswirkungen der Dimensionsveränderungen des Sealers auf die Dichtheit der Wurzelkanalfüllung möglichst gering zu halten (Baumann & Beer 2008; Hülsmann 2008). Deshalb sollte grundsätzlich bei allen Wurzelfülltechniken ein Anteil an stabilem Kernmaterial von 90% des Kanalvolumens und maximal 10% Pastenanteil angestrebt werden (Schäfer 2001).

Zusätzlich dürfen sich die Wurzelkanalfüllpasten entsprechend der Forderung nach Unempfindlichkeit und Unlöslichkeit gegenüber Gewebeflüssigkeiten, in diesen nicht lösen (Ørstavik 1983; Schäfer & Zandbiglari 2003; Hülsmann & Schäfer 2007).

Sealer, die Medikamentenzusätze enthalten, widersprechen der Forderung nach Unlöslichkeit und sind seit längerem als obsolet einzustufen. Als Beispiel wäre Endomethasone zu nennen, welches als Medikamentenzusatz Kortikosteroide zur Entzündungshemmung enthält. Es verursacht meist eine lokale Immunsuppression, wodurch sich eine bereits im periapikalen Gewebe etablierte Entzündung durch unkontrollierte Vermehrung eventuell noch vorhandener Mikroorganismen verschlechtern kann (DGZMK 2000).

Der in dieser Arbeit verwendete Zement AH Plus (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) zählt zu den Sealern, die auf Epoxidharz basieren. Es ist das Nachfolgeprodukt des von Schroeder 1954 entwickelten AH 26 (Dentsply DeTrey), welches ein gutes Abdichtungsvermögen aufweist, während der langsamen Abbindung nur wenig schrumpft (Guldener & Langeland 1993) und anschließend innerhalb der ersten 30 Tage eine hohe Expansion aufweist (Ørstavik *et al.* 2001; Wiener & Schilder 1971). AH 26 enthält Hexamethylentetramin und setzt dadurch nach dem Anmischen

Einleitung

zeitlich begrenzt geringe Mengen an Formaldehyd frei. Nach Spångberg *et al.* (1993) sind diese Mengen aus toxikologischer Sicht zwar irrelevant, um aber die Biokompatibilität zu verbessern, hat man beim AH Plus auf diesen Inhaltsstoff verzichtet (Leonardo *et al.* 1999).

Die werkstoffkundlichen Eigenschaften hinsichtlich Volumenbeständigkeit, Wasserlöslichkeit und Radioopazität sind im Vergleich zum Vorgängerprodukt verbessert worden und auch im Vergleich mit anderen Sealern als sehr gut zu bewerten (Marin-Bauza *et al.* 2012; Schäfer 2001).

1.3 Die unterschiedlichen Techniken zur Wurzelkanalfüllung

Die unterschiedlichen Wurzelkanalfülltechniken lassen sich in Techniken unterteilen, bei denen Guttpercha im kalten Zustand verwendet wird und solche, bei denen sie im erwärmten Zustand verwendet wird (Barthel *et al.* 2004).

Zu den Kalttechniken gehören die laterale Verdichtung und die Einstifttechnik, zu den Warmtechniken („thermoplastischen Verfahren“) zählen die trägerbasierte Obturationstechnik (Thermafil: Firma Maillefer; GuttaMaster®: Firma VDW), sowie die vertikale Verdichtung nach Schilder und deren Weiterentwicklungen.

Das oberste Ziel bei allen Fülltechniken ist eine - entsprechend den Forderungen der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie - dauerhafte volumenstabile und biokompatible Wurzelfüllung mit möglichst großem Anteil an stabilen Kernmaterial (Guttapercha) sowie nur geringem Anteil an Sealer, um Inkongruenzen auszugleichen. Da wie bereits oben erwähnt, Wurzelkanalfüllpasten beim Abbinden Dimensionsveränderungen unterliegen und im zeitlichen Verlauf undicht werden können (Kontakiotis *et al.* 1997), sollte deren Anteil sehr gering bleiben.

1.3.1 Kalte Fülltechniken

Die Laterale Verdichtung

Die kalt-laterale Verdichtung galt bisher als eine der bewährtesten Wurzelfülltechniken und wird immer wieder als Vergleichsmethode für neue Techniken herangezogen. Das Hauptmerkmal ist die Applikation und Verdichtung vieler kalter Guttaperchastifte durch spezielle Spreizinstrumente (sog. Spreader), um der Forderung nach einem möglichst großen Verhältnis von Guttapercha zu Sealer nachzukommen und somit den Wurzelkanal möglichst dicht zu verschließen (Kontakiotis *et al.* 1997; Wu *et al.* 1994).

Ein Hauptwurzelstift (Masterpoint), welcher der Größe des zuletzt auf voller Arbeitslänge verwendeten Aufbereitungsinstruments entspricht, wird in Bezug auf die korrekte Länge sowie Friktion im Bereich der apikalen Konstriktion angepasst. Bei ungenügender Klemmpassung oder zu geringen Widerstands beim Herausziehen aus dem Kanal („tug-back“) kann der Masterpoint mit Kalibrierungshilfen etwas eingekürzt werden. Nach abschließender Kanaltrocknung wird der vorbereitete Masterpoint gleichmäßig dünn mit Sealer benetzt und auf die vorher überprüfte Länge in den Kanal appliziert. Daraufhin muss weiterer Platz für zusätzliche Guttaperchastifte (Hilfsspitzen) geschaffen werden. Dies erfolgt mit Handspreadern oder Fingerspreadern (Spreizinstrumente), welche den Masterpoint gegen die Wurzelkanalwand pressen und ihn somit verformen (Baumann & Beer 2008; Hülsmann 1993; Stock *et al.* 2005).

Die Schwierigkeit dabei ist die Kraft richtig zu dosieren, die zur plastischen Verformung der Guttapercha notwendig ist. Wird einerseits nicht ausreichend in lateraler und vertikaler Richtung verdichtet, so kann für die weiteren Guttaperchastifte (Hilfsspitzen) nicht genügend Platz geschaffen werden, was zu einem schlechteren Guttapercha-Sealer-Verhältnis und einer inhomogenen Wurzelkanalfüllung führen würde. Andererseits sind zu große Kräfte beim Spreaden verantwortlich für Wurzeldeformationen, woraus sofort oder auch später Frakturen und Infrakturen des

Einleitung

Wurzeldentins resultieren können (Dang & Walton 1989; Klimm *et al.* 2011; Meister *et al.* 1980). Da Wurzelfrakturen sehr schwierig zu diagnostizieren sind und die Therapieform einzig in der Extraktion des Zahnes respektive in der Hemisektion und Extraktion der betroffenen Wurzel besteht (Toure & Boucher 2013), ist es für jeden Behandler erstrebenswert die notwendige Kraft zur Verdichtung der Guttapercha angemessen zu dosieren.

Die von den meisten Behandlern üblicherweise aufgewendeten Kräfte liegen einer Studie zufolge zwischen 10 und 30 N (Lindauer *et al.* 1989). Die Arbeitsgruppe um Lertchirakarn (1999) konnte bei Anwendung von Fingerspreadern durchschnittliche Kräfte von 10 bis 14 N und für den D11 Handspreader signifikant größere Kräfte von 20 bis 25 N messen. Es konnte bei der Verwendung der Handspreader eine bis zu fünffach erhöhte Dehnung der Wurzeloberfläche im Vergleich zu den Fingerspreadern nachgewiesen werden. In einer Untersuchung von Holcomb *et al.* (1987) traten 13 % der Wurzelfrakturen bereits bei Kräften unterhalb von 35 N auf, eine Fraktur sogar schon bei einer Kraft von 15 N. Aufgrund der Tatsache, dass bei dünneren Wurzeln geringere Kräfte ausreichen um Wurzelfrakturen zu verursachen, sollte der Kraftaufwand beim Verdichten zahnspezifisch angepasst werden. Anhand dieser Studien und Erkenntnisse kann man sich an einen erforderlichen Kraftaufwand im Bereich von 10 bis maximal 30 N orientieren.

Da Fingerspreader nachweislich weniger Spannungen des Wurzeldentins verursachen, sollte diesen gegenüber den unflexibleren Handspreadern der Vorzug gegeben werden. Hochflexible Fingerspreader aus Nickeltitan zeichnen sich besonders in gekrümmten Kanälen durch ein tieferes Penetrationsvermögen aus, wodurch die Guttapercha auch noch im apikalen Bereich verdichtet wird (Schmidt *et al.* 2000; Sobhi & Khan 2003; Wilson & Baumgartner 2003). In der Literatur wird deshalb eine Penetration des Spreaders bis kurz vor Aufbereitungslänge (AL minus 1-2mm) gefordert (Allison *et al.* 1981; Allison *et al.* 1979; Johnson & Kulid 2011). Andere Autoren konnten herausstellen, dass eine Penetration des Spreaders bis auf die volle Aufbereitungslänge mit einer höheren apikalen Dichtigkeit korreliert (Shahi 2007).

Einleitung

Fingerspreader existieren in verschiedenen Ausführungen. Sie können aus relativ unflexiblen Edelstahl bestehen oder aus hochflexiblem Nickeltitan. Des Weiteren stehen sie in ISO-Größen sowie in herstellereigenen Größenkodierungen (Kodierung A, B, C, D: Firma Maillefer; xx-fein, x-fein, fein, mittel, dick: Firma Denstply DeTrey) zur Verfügung (Hofmann 2013). Der wesentliche Unterschied liegt in der Konizität zwischen ABCD- und ISO-Normierung. Typisch für Spreader der ISO-Normierung ist eine zweiprozentige Konizität, für Spreader der ABCD-Normierung dagegen eine im Vergleich höhere Konizität. Es existieren bisher nur sehr wenige Untersuchungen, die sich mit den Eigenschaften dieser verschiedenen Größenkodierungen befassen (Gani *et al.* 2000). Gani *et al.* (2000) konnten mit ISO-kodierten Edelstahlspreadern gegenüber ABCD-kodierten Edelstahlspreadern Wurzelfüllungen mit einem größeren Flächenanteil an Guttapercha erzielen. Ob Unterschiede mit NiTi-Fingerspreadern der gleichen Kategorisierung bestehen, ist bisher nicht geklärt.

Aufgrund der guten Eigenschaft, möglichst viel Guttapercha im Wurzelkanal zu verdichten, galt die kalte laterale Verdichtung laut DGZMK bisher als Standardtechnik (DGZMK 2005). Als problematisch werden die häufig zu beobachtenden Hohlräume und Defekte zwischen den einzelnen Guttaperchastiften angesehen. Diese können entstehen, wenn die zu applizierende Hilfsspitze nicht das vorherige Spreaderniveau erreicht, da zu wenig verdichtet wurde und infolge dessen die Hilfsspitze bereits koronal klemmt. Gani *et al.* (2000) postulieren, die in ihrer Studie beobachteten Defekte seien „häufig“ auf dieses Phänomen zurückzuführen, ohne dies zu quantifizieren. Des Weiteren kann die Spitze beim Einführen in den Kanal abknicken, oder sich korkenzieherartig verformen und deswegen nicht weiter vorgeschoben werden (Brayton *et al.* 1973; Wu *et al.* 2000; Wu & Wesselink 2001).

Die Zentralstifttechnik

Die Zentralstifttechnik wird in der Literatur auch als Singlecone- oder Einstifttechnik beschrieben. Im Gegensatz zur lateralen Verdichtung wird bei der Zentralstifttechnik üblicherweise nur ein einziger Guttaperchastift in den Wurzelkanal eingebracht, welcher im Wurzelkanal nicht weiter manipuliert wird. Wichtigste Anforderung dabei ist eine möglichst gute Formkongruenz zwischen dem zuletzt verwendeten Aufbereitungsinstrument, daraus resultierender Kanalform und Guttaperchastift. Nach präziser Anpassung des Stifts werden die Kanalwände mit Sealer beschickt und der Zentralstift auf Arbeitslänge in den Kanal eingeführt. Im Anschluss an den Abschmelzvorgang und die Überschussentfernung kann wiederum mit einem Plugger der koronale Anteil vertikal verdichtet werden (Barthel *et al.* 2004).

Gegenüber der lateralen Verdichtung oder thermoplastischen Füllmethoden ist es mittels Zentralstifttechnik möglich, das Wurzelkanalsystem innerhalb kürzester Zeit zu verschließen (Schäfer *et al.* 2012). Darüber hinaus ist das Risiko für Dentinfrakturen verringert, da kein Spreader zum Einsatz kommt, der sowohl laterale und vertikale Kräfte auf das Wurzelfüllungsmaterial, als auch auf das Wurzelentin überträgt (Shemesh *et al.* 2009, 2010).

Defekte oder Hohlräume, die bei der lateralen Verdichtungstechnik durch die Spreaderanwendung verursacht werden können (Budd *et al.* 1991; Jarrett *et al.* 2004; Souza *et al.* 2009), sind hier bei dieser Technik ausgeschlossen und wenn überhaupt nur durch unzureichende Sealerapplikation oder nicht übereinstimmende Formkongruenz des Zentralstifts mit dem Wurzelkanal präsent. Einige Publikationen berichten über größere prozentuale Flächenanteile an Sealer im Vergleich mit anderen Wurzelfülltechniken (Marciano *et al.* 2011; Schäfer *et al.* 2012). Als Grund kann angeführt werden, dass auf die Anwendung zusätzlicher Hilfsspitzen verzichtet wird, die den Sealeranteil reduzieren würden. Andere Studien dagegen können im Vergleich zur kalten lateralen Verdichtung ähnlich gute Ergebnisse (Gordon *et al.* 2005; Ozawa *et*

Einleitung

al. 2009;) oder, zumindest apikal, sogar bessere Resultate erzielen (Tasdemir *et al.* 2009; Schäfer *et al.* 2013).

1.3.2 Thermoplastische Fülltechniken

Thermoplastischen Fülltechniken machen sich die Eigenschaft von Guttapercha zunutze, bei Erwärmung auf über 53°C in die fließfähige amorphe Verschmelzungsphase überzugehen. Durch das klebrige sowie fließfähige Verhalten erwärmter Guttapercha ist es möglich, insbesondere laterale Kanäle, Ramifikationen sowie Kanalunregelmäßigkeiten besser auszufüllen als dies mit herkömmlichen Fülltechniken der Fall ist (De-Deus *et al.* 2007; Johnson 1978; Schilder 1967). Ebenso kann der Sealeranteil und das damit korrelierende Risiko der Abbindekontraktion sowie Expansion reduziert werden (De-Deus *et al.* 2007).

Das trägerbasierte System (GuttaMaster®)

Das GuttaMaster® System (VDW, München) basiert auf der Trägerstifttechnik, welche ursprünglich 1978 von Johnson beschrieben wurde. Die Technik beruht auf plastifizierbarer α -Guttapercha, welche auf einem Träger in den Wurzelkanal eingebracht wird, um diesen zu verschließen. Anfangs wurden als Trägermaterial Edelstahl oder Titan verwendet, heute nutzt man stattdessen Kunststoff (Ingle & Bakland 1994).

Der mit Guttapercha ummantelte Kunststoffkern (sog. Obturator) muss entsprechend der endgültigen Aufbereitungsgröße ausgewählt werden. Da der Kunststoffträger sozusagen „im Überschuss“ mit Guttapercha ummantelt ist, kann der Obturator jedoch nicht selbst einprobiert werden. Stattdessen wird ein vom Hersteller angegebenes Prüfinstrument („Verifier“) bis auf 1 mm vor Arbeitslänge in den zu obturierenden Kanal eingeführt und sollte gerade eben nicht klemmen („tug-back“). Nach Beschicken der Wurzelkanalwände mit einer gleichmäßigen aber dünnen Sealerschicht und Erwärmung des passenden Obturators in einem systemzugehörigen Ofen, wird der so vorbereitete Obturator in den Kanal appliziert. Dabei wird die plastifizierte Guttapercha mittels Träger an die Wurzelkanalwände gepresst. Sobald die Guttapercha erkaltet ist,

Einleitung

muss der Träger am Kanaleingang abgetrennt werden. Hierfür stehen nichtdiamantierte kugelförmige Instrumente („PREPI® Burs“) zur Verfügung, mit denen hochtourig und ohne Wasserkühlung der Kunststoffträger und überschüssige Guttapercha abgeschmolzen werden (VDW 2015).

Es konnte bereits mehrfach gezeigt werden, dass mit trägerbasierten Systemen im Vergleich zur kalten lateralen Verdichtung ein größerer prozentualer Flächenanteil an dimensionsstabilen Kernmaterial (Guttapercha und Träger), sowie eine geringere Farbstoffpenetration bei Dichtheitsmessungen erzielt werden kann (De-Deus *et al.* 2007; Gençoglu 2003; Gençoglu *et al.* 2002; Gulsahi *et al.* 2007).

Auf der anderen Seite konnte aber auch nachgewiesen werden, dass die Fülltechniken mit erwärmter Guttapercha insbesondere bei lateralen, ovalen und unregelmäßig geformten Kanälen mit Isthmen sowie Einziehungen ebenfalls an ihre Grenzen stoßen, da auch hier Hohlräume mit einer Mischung aus Wurzelfüllmaterial, Bakterien und Gewebsresten zurückbleiben (De-Deus *et al.* 2008; Ricucci & Siqueira 2010; Vera *et al.* 2012).

Das GuttaMaster® Obturationsverfahren ist speziell auf das Aufbereitungssystem Mtwo® NiTi von VDW abgestimmt. In aktuelleren Publikationen (Aminsobhani *et al.* 2015; Dadresanfar *et al.* 2010; Robberecht *et al.* 2012; Schäfer *et al.* 2012) kommt dieses Aufbereitungssystem ebenfalls zur Anwendung, allerdings werden davon ausgehend nicht die Trägerstifttechnik sondern andere Fülltechniken mit erwärmter Guttapercha analysiert.

Die Vertikale Verdichtung nach *Herbert Schilder*

Diese Füllmethode ist zwar nicht Gegenstand dieser Arbeit, aber da sie große Bedeutung als Wegbereiter für alle anderen thermoplastischen Techniken hat, sollte sie trotzdem mit angeführt werden.

Das Prinzip dieser Technik beruht auf der Erwärmung von Guttapercha über einen Hitzeträger und der sich anschließenden vertikalen Verdichtung mit verschiedenen Pluggern, sodass dadurch das Wurzelkanalsystem vollständig in seinen drei Dimensionen abgefüllt wird. Der angepasste Masterpoint wird in den Kanal auf entsprechende Länge eingeführt und dessen oberes Drittel mit einem erhitzten Spreader entfernt. Die im Kanal verbliebene erwärmte Guttapercha wird nun in der Phase des *down packings* mit kalten Pluggern vertikal verdichtet. Dadurch werden bereits laterale Kanäle im koronalen Kanalanteil definitiv verschlossen. Nach einer weiteren Serie von Erhitzen, Entfernen und Verdichten bis ungefähr 4 mm vor dem Apex, sollen alle lateralen Kanäle abgefüllt sein. Der apikale Guttaperchaanteil wird wiederum leicht erwärmt und verdichtet. Der Wurzelkanal ist nun nur noch in diesem Bereich durch Guttapercha obturiert.

In der sich anschließenden Phase des *back packings* wird das restliche mittlere und obere Kanaldrittel sukzessiv mit erwärmten Guttaperchastücken abgefüllt (Schilder 1967).

1.4 Zielsetzung der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der technischen Qualität von Wurzelkanalfüllungen an simulierten gekrümmten Kanälen in Abhängigkeit von der Wurzelfülltechnik. Im Zentrum steht die Frage, ob die laterale Verdichtung besser mit ISO-genormten Spreadern / Hilfsspitzen oder mit ABCD-genormten Spreadern / Hilfsspitzen erfolgen soll. Als zusätzliche Vergleichsgruppen werden die Zentralstifttechnik und ein trägerbasiertes System (GuttaMaster®) herangezogen. Zur Beurteilung der Wurzelfüllungen werden Serienschliffe angefertigt.

Qualitativ werden die Querschnitte auf das Vorhandensein von Defekten untersucht. Weiterhin wird erfasst, ob sich die Defekte kontinuierlich über mehrere Schnitthöhen erstrecken. Zusätzlich wird die Zahl der verwendeten Hilfsspitzen, sowie die Eindringtiefe des Kunststoffträgers bei der trägerbasierten Technik dokumentiert.

Die quantitative Auswertung umfasst folgende Parameter:

- der prozentuale Flächenanteil der Guttapercha der Wurzelkanalfüllung
- der prozentuale Flächenanteil des Sealers der Wurzelkanalfüllung
- der prozentuale Flächenanteil der Defekte (Hohlräume) der Wurzelkanalfüllung

Die Null-Hypothese lautet: der Flächenanteil von Guttapercha, Sealer und Defekten ist bei den unterschiedlichen Fülltechniken nicht signifikant verschieden.

2 Material und Methoden

2.1 Auswahl und Aufbereitung der Kunststoffblöcke

Für die durchzuführenden Experimente wurden insgesamt 50 Kunststoffblöcke (Endotrainer A-ETE-20, frasaco GmbH, Tettngang, Deutschland) mit jeweils einem simulierten gekrümmten Wurzelkanal (Krümmung circa 20 °) verwendet. Die Kanäle waren rot eingefärbt und die Länge betrug nach Herstellerangaben 18 mm.

Um die Längenangaben zu kontrollieren und die Aufbereitungsart zu testen, wurden 10 Blöcke nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Da durch die rote Einfärbung der Kanäle eine visuelle Kontrolle der Arbeitslänge nicht möglich war, wurde vor der Aufbereitung jeweils eine Nadelmessaufnahme mit einer Initialfeile der ISO-Größe 15 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) angefertigt. Um die zylinderförmigen Probestücke möglichst gleichmäßig und mit der Krümmungsebene des Wurzelkanals parallel zur Oberfläche des digitalen Sensors des CCX digital (Trex-Trophy Radiology Inc., Marne-la-Vallée, France) auszurichten, wurden sie mittels eines selbst hergestellten Silikonblöckchens (Silaplast Futur, Detax, Ettlingen, Deutschland) fixiert. Der Zentralstrahl des Röntgengerätes war senkrecht auf die Krümmungsebene des Wurzelkanal ausgerichtet. Der Fokus-Objekt-Abstand betrug 47 mm und der Objekt-Film-Abstand 7mm. 0,12 Sekunden war die Belichtungszeit bei 70 kV und 8 mA .

Diese 10 Kunststoffblöcke wurden probeweise maschinell mit dem drehmomentregulierten Motor VDW.Silver® (VDW) und dem Mtwo® NiTi-System (VDW) auf die ermittelte Länge von 18mm bis zur Größe ISO 40 aufbereitet, um an diesen die Aufbereitungstechnik einzuüben.

Anschließend wurden für die Untersuchung 40 weitere Blöcke ebenfalls bis zu einer apikalen Größe von ISO 40 maschinell aufbereitet.

Material und Methoden

Dabei wurden die Mtwo®-Instrumente sofort auf die volle Arbeitslänge von 18mm in den aufzubereitenden Kanal eingebracht. Die Aufbereitung erfolgte in folgender Sequenz:

Tabelle 1: Reihenfolge der Aufbereitung mit Mtwo®

Größe nach ISO-Norm	Konizität in %
10	4
15	5
20	6
25	6
30	5
35	4
40	4

Nach jedem vierten Kunststoffblock kamen neue Instrumente zur Anwendung. Um die Aufbereitung zu erleichtern und die Reibung zu verringern, wurden die Instrumente mit einem EDTA-haltigen Gleitmittel FileCare (VDW) benetzt. Nach jeder Instrumentierung wurde der Kanal mit 2,5 ml H₂O unter Verwendung einer Plastikspritze mit einer aufgesteckten stumpfen Spülkanüle (Endo 30G, 0.3 x 27mm, Transcodent, Kiel, Deutschland) gespült. Im Kanal verbliebene Acrylspäne wurden mittels eines Ultraschallgeräts (Satelec-Pierre Rolland GmbH, Mettmann, Deutschland) mit einer IRR-Feile der Größe 20/21 (Acteon GmbH, Mettmann, Deutschland) gelöst und durch Spülung entfernt. Um möglichst gleichmäßige Aufbereitungen zu erzielen, wurden diese von nur einem Behandler durchgeführt. Nach Anwendung des letzten Aufbereitungsinstruments und abschließender Spülung des definitiv aufbereiteten Kanals mit 80% Ethanol erfolgte die Kanaltrocknung mit Papierspitzen (Taper 4%, VDW). Während der gesamten Aufbereitung mussten 3 Blöcke verworfen und ersetzt werden, da ein Instrumentenbruch stattfand und zwei Blöcke Veränderungen des ursprünglichen Kanalverlaufs in Form von Begradigung oder Stufenbildung zeigten.

2.2 Gruppeneinteilung und Füllung

Nach erfolgter Aufbereitung und Trocknung wurden die 40 Kunststoffblöcke in 4 Gruppen eingeteilt (Gruppe 1 bis 4). Entsprechend ihrer Aufteilung wurden sie gefüllt:

Tabelle 2: Gruppeneinteilung

Versuchsgruppe	Anzahl der Kunststoffblöcke	Sealer	Guttapercha-Stift	Technik
1	10	AH Plus	Masterpoint + Hilfsspitzen (ISO-Norm)	Kalt-laterale Verdichtung mit NiTi-Spreadern (ISO-Norm)
2	10	AH Plus	Masterpoint + Hilfsspitzen größerer Konizität (ABCD)	Kalt-laterale Verdichtung mit NiTi-Spreadern (ABCD)
3	10	AH Plus	Mtwo®- Guttapercha	Zentralstift-Technik
4	10	AH Plus	GuttaMaster® Obturator	Thermoplastische Technik

Um die Kraftausübung während der Wurzelkanalfüllung zu standardisieren, wurde jeder Block für den Füllungsvorgang, in einem Kraftaufnehmer mit Biegebalkensensor (Kraftaufnehmer Nr. 0180, Burster Präzisionsmechanik GmbH, Gernsbach, Deutschland) fixiert. Über das Messmodul mit Display sowie integrierter Schnittstelle für den PC und entsprechender Software (Burster Präzisionsmesstechnik, Software Digivision 2008 Version 1.0.0) erfolgte die Erfassung und Auswertung der produzierten lateralen und vertikalen Kräfte während des Füllungsvorgangs (Versuchsaufbau siehe Sulz 2013).

Bei jedem Verdichtungsprozess der lateralen Verdichtung wurde eine konstante Kraft von maximal 10 Newton ausgeübt. Zum Teil konnten bei der lateralen Verdichtung

aufgrund der Flexibilität der Nickel-Titan-Spreader keine größeren Kräfte angewendet werden, da diese bei noch größerer Kraftanwendung oberhalb des Kanaleingangs abgeknickt wären. Nur beim abschließenden koronalen Verdichten konnten größere Kräfte von zum Teil über 20 Newton auf die Wurzelkanalfüllung ausgeübt werden.

Der Sealer AH Plus (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) wurde für die Wurzelkanalfüllungen in allen vier Gruppen verwendet. Die zwei Materialkomponenten (Paste A und B) wurden mit einem Metallspatel nach Herstellerangaben im Verhältnis 1:1 auf einer Glasplatte angemischt.

2.2.1 Gruppe 1

Kalt-laterale Verdichtung unter Verwendung von Nickel-Titan Fingerspreadern nach ISO-Norm (VDW) mit einem der MAF entsprechenden Masterpoint (Guttapercha Taper 2% „Top Colour“, ISO 40, roeko, Langenau, Deutschland) und Sealer (AH Plus): bei zu geringer Klemmpassung („tug-back“) wurde die Spitze des Masterpoints mit einem Skalpell auf einer Glasplatte so eingekürzt, dass der Masterpoint nun einen leichten tug-back auf voller Arbeitslänge erreichte. Anschließend wurde der Sealer mit Papierspitzen dünn und gleichmäßig an der Kanalwand verteilt. Überschüsse wurden mit einer weiteren sauberen Papierspitze entfernt. Des Weiteren wurde der Masterpoint und zusätzliche Hilfsspitzen (roeko) auf einer Glasplatte dünn mit Sealer beschickt. Der vorbereitete Masterpoint wurde auf volle Arbeitslänge in den Kanal eingebracht. Der daran anschließende Verdichtungsprozess erfolgte durch oben genannte Fingerspreader beginnend mit der Größe 25 da durch die Größen 15 und 20 nicht ausreichend Platz für die erste Hilfsspitze geschaffen werden konnte. Dabei wurde der Masterpoint verformt und gegen die Wurzelkanalwand gepresst, und gleichzeitig ein Hohlraum geschaffen, der in etwa der Form des Fingerspreaders entsprach. Dieser Hohlraum wurde mit der nächstkleineren Hilfsspitze (ISO 20) ausgefüllt. Die vorbereitete Hilfsspitze wurde bis zur Eindringtiefe des vorhergehenden Spreaders in den Kanal eingeführt. Anschließend wurde mit dem nächstgrößeren NiTi-Spreader (30) der erforderliche Platz für die nachfolgenden Hilfsspitzen (ISO 25)

geschaffen. Die laterale Verdichtung wurde fortgesetzt bis sich der Spreader, unter Einhaltung der zuvor festgelegten Kräfte maxima, nur noch wenige Millimeter in den Wurzelkanal einführen ließ. Mit einem heißen Heidemannspatel wurde überschüssige Guttapercha entfernt und die Wurzelkanalfüllung zuletzt mit einem Stopfer (RCP 12, Hu-Friedy, Tuttlingen, Deutschland) am Kanaleingang verdichtet.

2.2.2 Gruppe 2

Kalt-laterale Verdichtung unter Verwendung von Nickel-Titan Fingerspreadern größerer Konizität sowie äquivalenten Hilfsspitzen nach ABCD-Norm (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) mit einem der MAF entsprechenden Masterpoint (Guttapercha Taper 2%, ISO 40, roeko, Langenau, Deutschland) und Sealer (AH Plus).

Der Verdichtungsprozess erfolgte durch oben genannte Fingerspreader beginnend mit der Größe B, da durch den Fingerspreader der Größe A nicht ausreichend Platz für die erste Hilfsspitze (Größe A) geschaffen werden konnte. Für die nachfolgenden Hilfsspitzen (Größe B) wurde die Guttapercha mit einem Fingerspreader der Größe C lateral verdichtet.

Das sich anschließende Procedere entsprach dem der Gruppe 1.

2.2.3 Gruppe 3

Zentralstifttechnik mit Sealer (AH Plus): hierfür wurde Mtwo- α [®] Guttapercha (Taper 4%) der Firma VDW verwendet. Entsprechend der ISO-Größe und Arbeitslänge des zuletzt verwendeten Aufbereitungsinstruments (ISO-Größe 40) wurde ein passender Guttaperchastift ausgewählt und hinsichtlich eines leichten tug-backs überprüft. Der Sealer wurde mit einer Papierspitze gleichmäßig dünn auf die Kanalwände aufgebracht. Überschüsse wurden mit einer weiteren sauberen Papierspitze entfernt und danach der Wurzelkanal mit dem, gleichmäßig sowie dünn, mit Sealer beschickten Guttaperchastift abgefüllt.

Im Anschluss wurde überschüssiges Material im Kanaleingangsbereich mit einem heißen Heidemannspatel abgeschmolzen und die Wurzelfüllung mit einem Stopfer (RCP 12, Hu-Friedy, Tuttlingen, Deutschland) koronal verdichtet.

2.2.4 Gruppe 4

Thermoplastische Technik mit einem trägerbasierten Obturationssystem (Guttamaster®, VDW) und AH Plus als Sealer: ein Prüfinstrument (GuttaMaster® Kunststoff Verifier, VDW) wurde nach Herstellerangaben mittels Minifix Messlehre (VDW) auf die entsprechende Obturationsreferenzlänge (Arbeitslänge minus ca. 1 mm) eingestellt und hinsichtlich eines leichten tug-backs überprüft. Ließ sich der Verifier nicht auf Arbeitslänge einführen, wurde der nächstkleinere Verifier überprüft. Bei nichtvorhandener Klemmpassung wurde wiederum der nächstgrößere Verifier probiert und der Wurzelkanal leicht maschinell nachbearbeitet, bis der exakt gewünschte tug-back erreicht war. Die jeweils verwendete Größe ist in Tabelle 3 angegeben. Der Farbe/Größe des Verifiers entsprechend wurde ein dazu passender Obturator (VDW) ausgewählt.

Tabelle 3: Größe des GuttaMaster®-Obturator

Nummer des Kunststoffblocks	ISO des Obturators
1	45
2	40
3	45
4	45
5	45
6	35
7	40
8	35
9	40
10	40

Nach der Längenkalibrierung über den Silikonstopp wurde der Obturator in dem systemzugehörigen Vorwärmofen (GuttaMaster® Ofen, VDW) erwärmt. In der Zwischenzeit konnte der Sealer mit einer Papierspitze gleichmäßig dünn im Wurzelkanal appliziert werden. Überschüssigen Sealer entfernte man mit einer weiteren sauberen Papierspitze.

Danach wurde der erwärmte Obturator mit gleichmäßigem, apikal gerichtetem Druck langsam auf Referenzlänge in den Wurzelkanal eingeführt und unter leichtem Druck einige Sekunden gehalten. Nach Erhärten der Guttapercha konnte der Kunststoffträger mit einem PREPI® Bur (VDW) direkt am Kanaleingang abgetrennt und die Wurzelkanalfüllung abschließend mit einem Stopfer (RCP 12, Hu-Friedy, Tuttlingen, Deutschland) nachverdichtet und überschüssige Guttapercha entfernt werden.

Noch vor dem vollständigen Aushärten des Sealers wurden Röntgenkontrollaufnahmen angefertigt. Bei insuffizienten, inhomogen erscheinenden Wurzelfüllungen wurde revidiert, der Kanal mit 80% Ethanol gespült, getrocknet und erneut gefüllt.

2.3 Vermessen, Einbetten und Anfertigen der Schliffbilder

Mit den zur Verfügung stehenden technischen Mitteln war es nicht möglich, Serienschnitte der gekrümmten Wurzelkanäle so anzufertigen, dass die Schnittebene jeweils senkrecht zum Wurzelkanalverlauf gelegen hätte. Bei Anfertigung der Schnitte senkrecht zur Außenfläche der Blöcke wären die Schnitte zwar senkrecht zum koronalen Kanalabschnitt erfolgt, der wichtigere apikale Kanalanteil wäre aber schräg getroffen worden. Deshalb wurden die Blöcke um 12° geneigt montiert. Somit lagen die Schnittebenen in der Mitte der Krümmung senkrecht zum Kanalverlauf, im wichtigeren apikalen Anteil um 8° und im koronalen Anteil um maximal 12° gegenüber dieser Idealposition geneigt.

Nach dem vollständigen Abbinden des Sealers wurden die Blöcke mit einem Auflichtmikroskop mit eingebauter Digitalkamera (LEICA EZ4 D, Leica Mikrosysteme Vertrieb GmbH, Wetzlar, Deutschland) fotografiert. Mit dem Bildanalyseprogramm Sigma Scan Pro 5 (Systat Software Inc., Chicago, USA) wurde der Abstand zwischen dem Ende des Wurzelkanals und der Unterseite des Blockes vermessen. Mit einer Fräsmaschine (Hermle UWF 902 H, Hermle AG, Gosheim, Deutschland) wurde jeder Block im Winkel von 12° zur Unterseite des Blockes bis zu einem Abstand von 1,5 mm vom Ende des Wurzelkanals abgeschliffen. Die Blöcke wurden gruppenweise mit dem Ende des Wurzelkanals nach unten auf Kunststoffobjektträger (Objektträgerplatte 50x100x2 mm, Exakt Apparatebau, Norderstedt) mit Sekundenkleber geklebt, mit Gruppenbezeichnung sowie Nummer versehen und die Hohlräume zwischen den einzelnen Blöcken mit Epoxidharz (ARALDITE CW 2215, CIBA, Wehr, Deutschland) ausgefüllt.

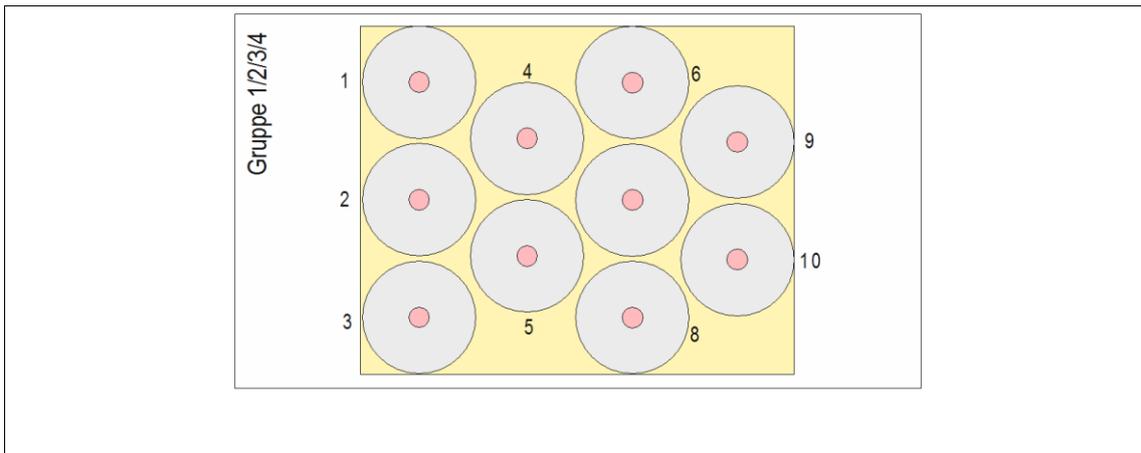


Abbildung 1: schematische Aufsicht auf Objektglaträger mit Kunststoffblöcken und Nummernkennzeichnung (eigene Zeichnung)

Daraufhin erfolgte eine Lagerung im Memmertschrank für 24 Stunden bei 37° Celsius. Nach dem Auspolymerisieren des Epoxidharzes wurden die Proben in eine Trennbandsäge (EXAKT, Norderstedt, Deutschland) eingespannt, sodass sie unter Wasserkühlung auf eine Länge bis 16 mm vor dem Apex gekürzt werden konnten.

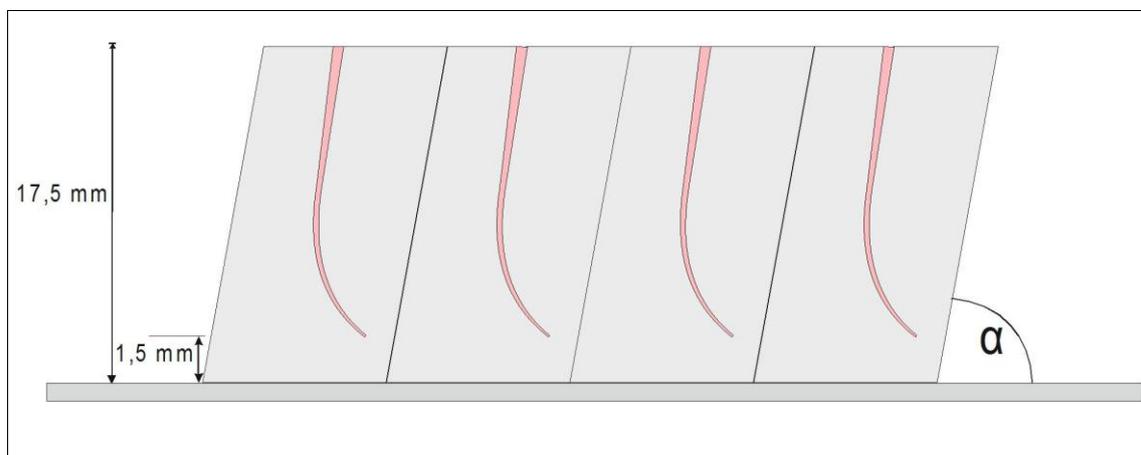


Abbildung 2: schematische Darstellung der Kunststoffblöcke auf Objektglaträger in der Seitenansicht, der Winkel α (78°) verdeutlicht den Ausgleich der Kanalkrümmung (eigene Zeichnung)

Um möglichst feine und exakte Schriffe zu produzieren, wurden die Blöcke in einer Nass-Schleifmaschine (EXAKT, Norderstedt) mit Schleifpapier (Struers, Silicon Carbide) der Körnung 320, 500, 800 und 1000 in aufsteigender Reihenfolge bearbeitet, bis die gewünschte Untersuchungsschicht erreicht war. Dies erfolgte koronal und in der Mitte

Material und Methoden

des Wurzelkanals in Millimeterschritten (15mm bis 6mm vor Apex) und im apikalen Drittel in halben Millimeterschritten (ab 6mm vor Apex). Die Schliffe wurden nach jedem Durchgang stereomikroskopisch in 35facher Vergrößerung fotografiert (LEICA EZ4D) und im TIFF-Datenformat (Tagged Image File) abgespeichert.

2.4 Auswertung der Schliffbilder

2.4.1 Qualitative Auswertung: Anzahl und Art der Defekte, Anzahl der Hilfsspitzen

Für jedes Schliffbild wurden folgende Befunde festgehalten:

- Zahl der Hilfsspitzen (nur Versuchsgruppe 1 und 2)
- Zahl der Defekte

Die Klassifizierung der Defekte erfolgte nach dem Erscheinungsbild:

- einzelner Lufteinschluss/Luftblase
- durchgehender Lufteinschluss, welcher sich über mehrere Schnittebenen fortsetzt
- Defekt als Spreaderartefakt; diese Klassifikation wurde gewählt, wenn der Defekt eine eher kreisrunde Form aufwies und an entsprechender Stelle im nächsten koronal gelegenen Schliffbild eine Hilfsspitze oder ein weiteres Spreaderartefakt erkennbar war.

2.4.2 Quantitative Auswertung: Flächenanteil von Sealer, Guttapercha, Träger und Defekten

Mit dem digitalen Bildanalyseprogramm SigmaScan Pro 5[®] (Systat Software Inc., Chicago, USA) erfolgte die Auswertung der erstellten Schliffbilder. Auf jedem Schliffbild wurde die Umgrenzung folgender Flächen auf dem Bildschirm interaktiv eingezeichnet und die zugehörige Fläche (in Anzahl an Pixeln) abgespeichert:

1. Gesamter Wurzelkanal
2. Guttapercha (ggf. inklusive Kunststoffträger)
3. ggf. Kunststoffträger
4. Defekte (jeweils einzeln)

Ergebnisse

Die Flächen der Defekte / Luftblasen wurden aufaddiert. Die Fläche des Sealers wurde berechnet als Differenz zwischen der Fläche des Wurzelkanals und den übrigen Flächen (also der Summe aus Guttapercha inkl. Kunststoffträger und Summe der Defekte). Abschließend wurde für die Fläche der Guttapercha (inkl. Kunststoffträger), des Kunststoffträgers, des Sealers und der Defekte der prozentuale Anteil an der Gesamtfläche des Wurzelkanals berechnet. Die Schliffbilder im Abstand von 15 und 0,5 mm von der Arbeitslänge zeigten uneinheitliche Ergebnisse und wurden von der statistischen Auswertung ausgeschlossen.

2.4.3 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse der erhobenen Daten erfolgte mit dem Programm SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Da von einer Normalverteilung der Daten nicht ausgegangen werden konnte, wurden parameterfreie Tests verwendet. Für jeden Abstand von der Arbeitslänge wurde für jede Versuchsgruppe der Median, der Interquartilsabstand sowie das 10%- und 90%-Perzentil der einzelnen Flächenanteile berechnet. Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen wurde mit Hilfe der Rangvarianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test) auf statistische Signifikanz überprüft. Als Post-hoc-Test für den Einzelgruppenvergleich wurden paarweise U-Tests nach Mann-Whitney mit Bonferroni-Holm-Korrektur durchgeführt.

Gruppenunterschiede in der Häufigkeit von Defekten und deren Verteilung auf Einzeldefekte vs. über mehrere Schnittebenen reichende Defekte wurden mit Hilfe des χ^2 -Tests auf statistische Signifikanz überprüft. Die maximale Eindringtiefe der ersten, zweiten und dritten Hilfsspitze bei den lateralen Verdichtungstechniken wurde unter Verwendung des U-Tests (Mann-Whitney) auf signifikante Unterschiede getestet.

3 Ergebnisse

3.1 Kraftmessung

Die während des Füllvorgangs aufgezeichneten Messprotokolle der vertikalen Kräfte sind exemplarisch auf den unten stehenden Abbildungen 3 bis 6 dargestellt. Dabei zeigten sich für die einzelnen Fülltechniken charakteristische Kurvenverläufe.

Die exemplarischen Kurvenverläufe machen deutlich, dass für die Spreadervorgänge respektive Füllungsvorgänge, das zuvor festgelegte Kraftmaximum von 10 Newton kaum überschritten wurde. Negative Kräfte entstanden beim Herausziehen der Spreader. Nur beim abschließenden Abtrennen der Guttaperchaüberschüsse und Nachverdichten kam es zu einer größeren Kraftanwendung von zum Teil über 20 Newton.

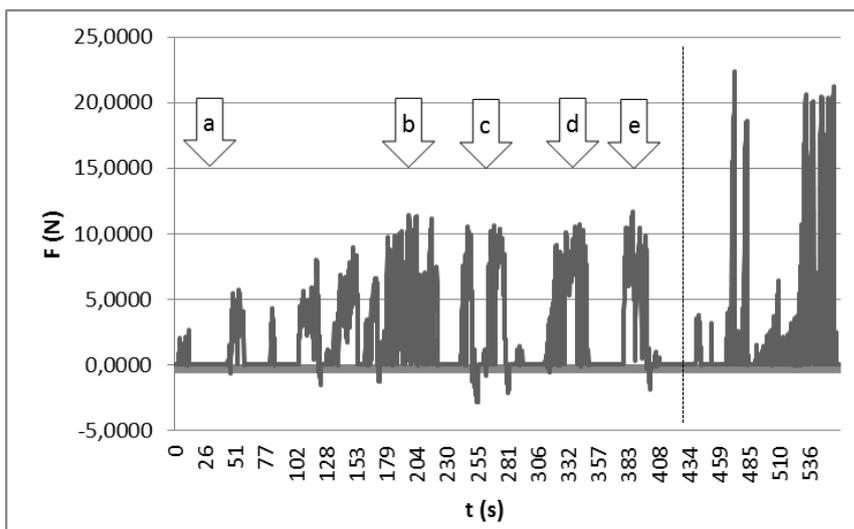


Abbildung 3: Messprotokoll vertikaler Kräfte bei der Wurzelkanalfüllung (KLV) unter Verwendung von Spreadern/Hilfsspitzen nach ISO-Norm. Pfeil a: Sealerapplikation; Pfeil b: Verdichtungsmaximum (VM) des Masterpoints; Pfeil c: VM der 1. Hilfsspitze, Pfeil d: VM der 2. HS; Pfeil e: VM der 3. HS; Bereich ab t= 434s: Abschmelzen und Nachverdichten

Ergebnisse

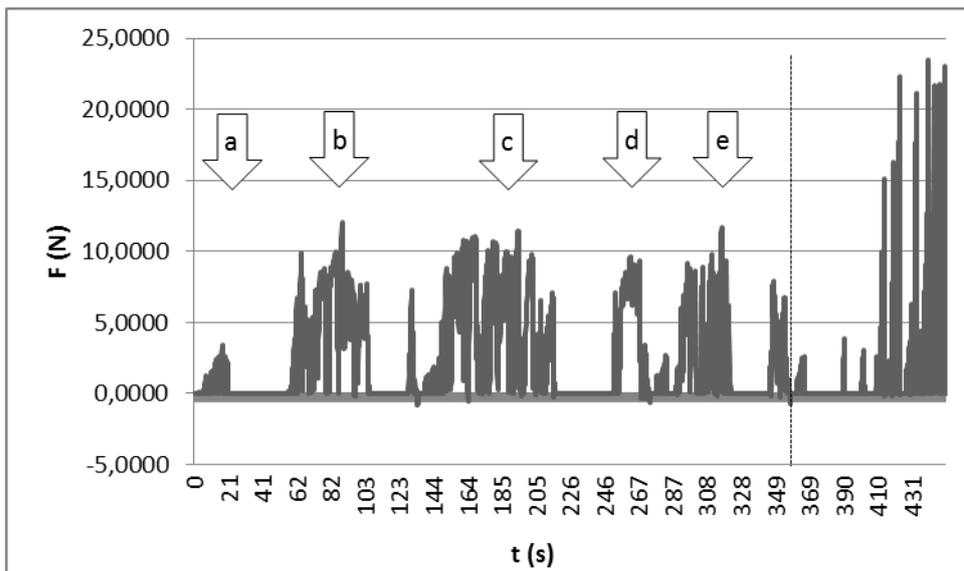


Abbildung 4: Messprotokoll vertikaler Kräfte bei der Wurzelkanalfüllung (KLV) unter Verwendung von Spreadern/Hilfsspitzen größerer Konizität (ABCD-Kodierung). Pfeil a: Sealerapplikation, Pfeil b: Verdichtungsmaximum (VM) des Masterpoints, Pfeil c: VM der 1. Hilfsspitze, Pfeil d: VM der 2. HS, Pfeil e: VM der 3. HS, Bereich ab t=349s: Abschmelzen und Nachverdichten

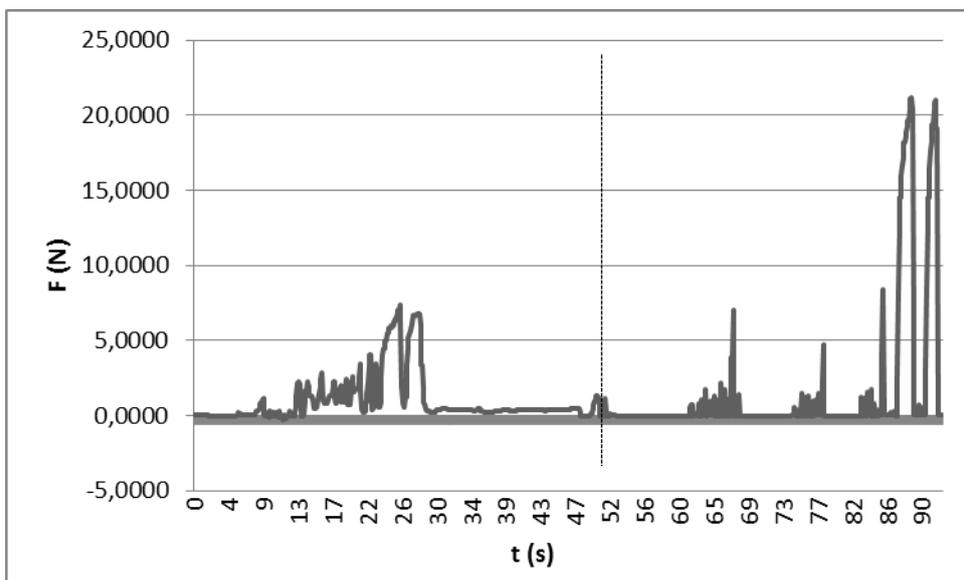


Abbildung 5: Messprotokoll vertikaler Kräfte bei der Wurzelkanalfüllung mit Zentralstifttechnik. Sealerapplikation bei t= 0-9s, Applikation des Zentralstifts bei t= 13-26s, Abschmelzen und Nachverdichten ab t= 52s

Ergebnisse

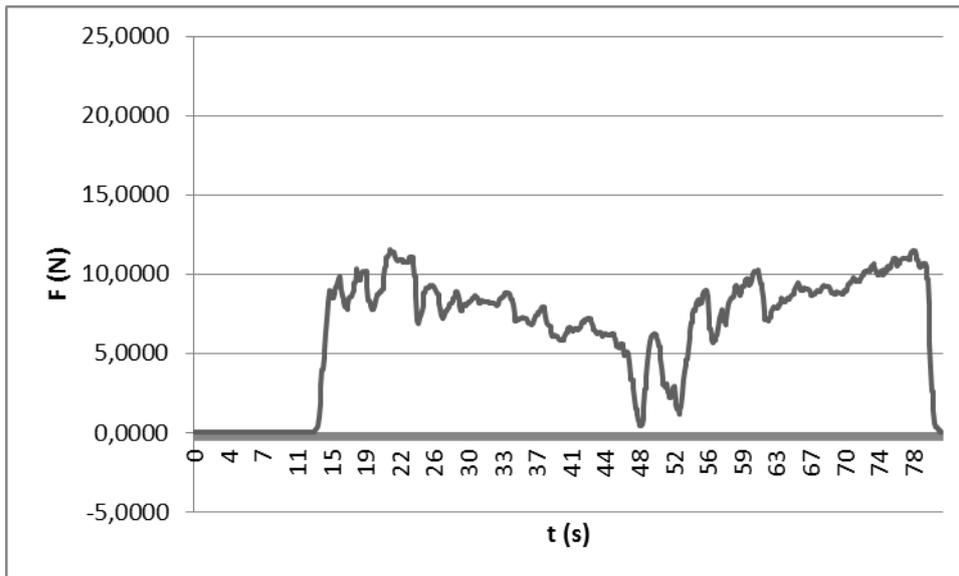


Abbildung 6: Messprotokoll vertikaler Kräfte bei der Wurzelkanalfüllung mit trägerbasiertem System (GuttaMaster®). Beginn der Applikation des erwärmten Obturators bei t=11s, Abtrennen des Trägers bei t= 78s

3.2 Schliffbilder

3.2.1 Kalt-laterale Verdichtung nach ISO-Norm

In der Abb. 7 werden exemplarisch Schliffbilder eines Wurzelkanals dargestellt, der durch die laterale Verdichtungsmethode mittels Spreadern und Hilfsspitzen nach ISO-Norm (Konizität = 2%) obturiert wurde.

Auf Höhe von 1mm vor Arbeitslänge (AL) lässt sich gut erkennen, dass der apikale Bereich auf der Krümmungsinenseite (im Bild rechts) kaum instrumentiert und zusätzlich durch den Sealer nicht vollständig verschlossen ist.

Die Schnittebene 3mm vor AL zeigt einen leicht ovalen Kanalquerschnitt, der vom runden Guttapercha Masterpoint technisch nicht vollständig ausgefüllt werden kann. Dafür füllt aber der Sealer den Bereich zwischen Guttapercha und Wurzelkanalwand suffizient aus.

Im mittleren und koronalen Kanaldrittel erscheint das Wurzelfüllmaterial homogen und wandständig. Durch den Spreadervorgang verursachte leichte Deformationen des Masterpoints lassen sich auf Höhe von AL – 6mm sowie - 9mm betrachten. Dennoch erscheint der Sealeranteil relativ hoch.

Im Querschnitt von AL – 14mm sieht man zwischen Masterpoint und Hilfsspitze einen deutlichen Defekt im Sealer in Form eines Lufteinschlusses.

Ergebnisse

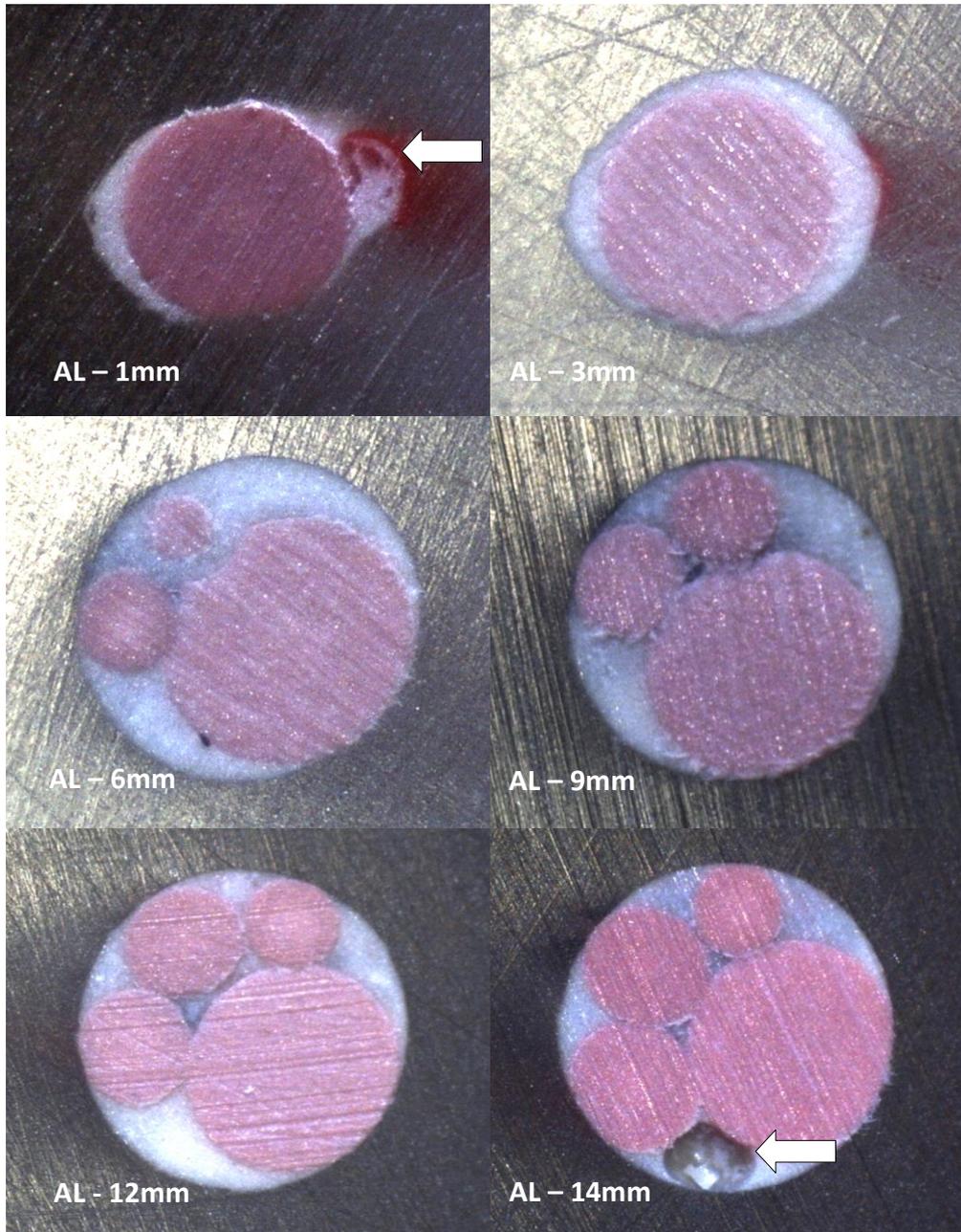


Abbildung 7: Schliffbilder eines Kunststoffblocks (Probe #8) der Gruppe 1 mit kalt-lateraler Verdichtung nach ISO-Norm 1mm, 3mm, 6mm, 9mm, 12mm und 14mm vor Arbeitslänge (AL). Anmerkungen: Guttapercha stellt sich farblich rosa dar, Sealer weißlich sowie Hohlräume/ Defekte als dunklere Bereiche innerhalb des Kanalquerschnitts (durch die weißen Pfeile markiert)

3.2.2 Kalt-laterale Verdichtung nach ABCD-Kodierung

Die Abb. 8 zeigt Schliffbilder eines Kunststoffblocks aus der Versuchsgruppe 2 (ABCD-Spreader sowie Hilfsspitzen mit der Konizität >2%) auf verschiedenen Arbeitslängen über den gesamten Wurzelkanalverlauf.

Auf Höhe von 1mm vor AL ist zu erkennen, dass die Krümmungsinneseite (roter Wandbereich) nicht instrumentiert wurde, die Außenseite aber hingegen etwas überinstrumentiert, wodurch ein leicht ovaler Querschnitt resultiert. Der Bereich um den Masterpoint ist aber suffizient mit Sealer ausgefüllt.

Im mittleren Kanaldrittel lässt sich beginnend von 6mm vor AL bis einschließlich 9mm vor AL, lateral der ersten Hilfsspitze, ein durchgehender Defekt erkennen. Dieser kann vermutlich durch das Einbringen von Luft beim Applizieren der Hilfsspitze verursacht worden sein. Zusätzlich zeigt sich ein singulärer Lufteinschluss zwischen den beiden Hilfsspitzen bei 9mm vor Arbeitslänge.

Auf 12mm vor Arbeitslänge sind die Bereiche zwischen den Guttaperchastiften, mit Ausnahme einer kleinen randständigen Luftblase, homogen mit Sealer ausgefüllt. Deformationen der Guttapercha durch den Spreadervorgang sind sehr gut auf Höhe von 15 mm vor AL zu beobachten.

Ergebnisse

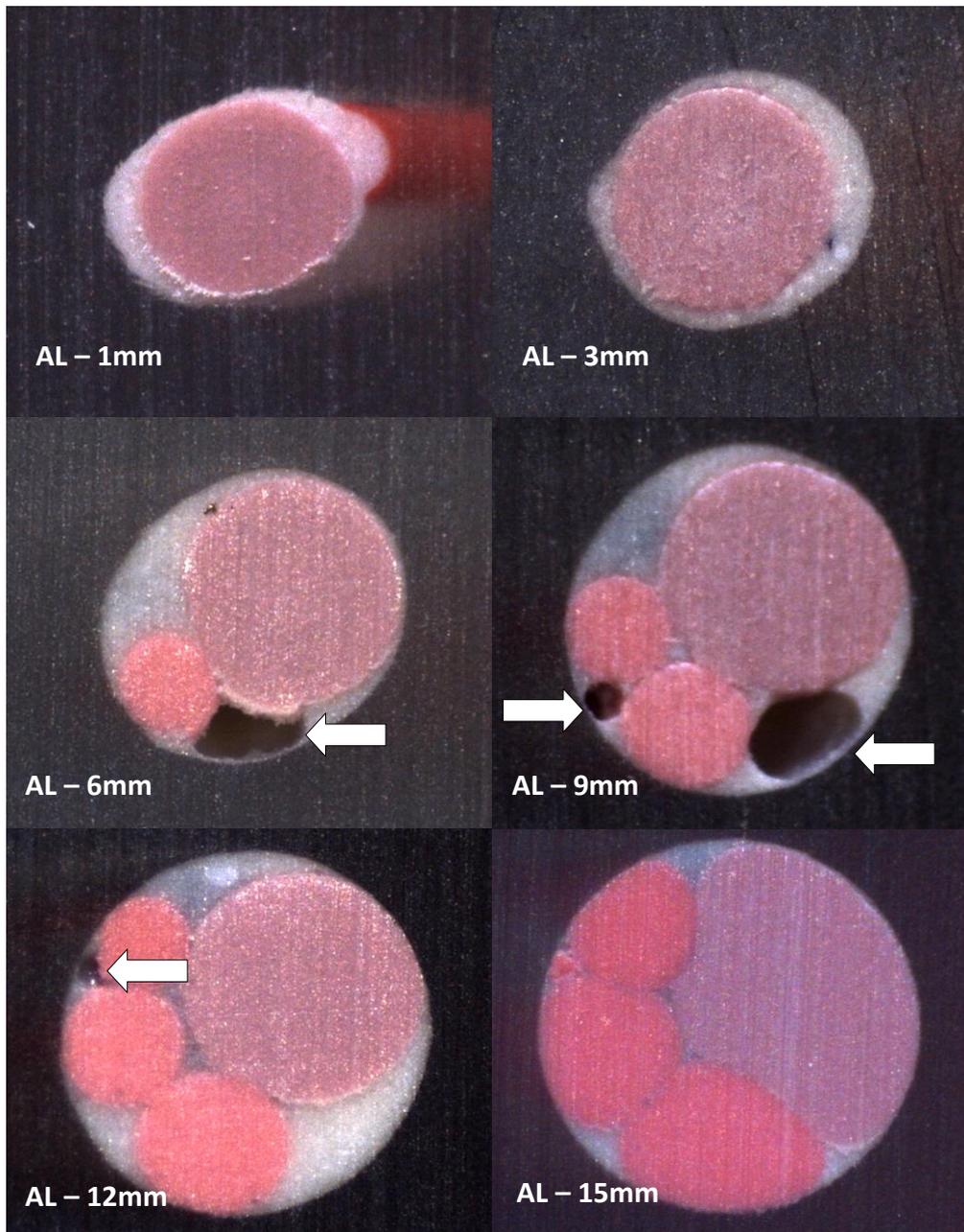


Abbildung 8: Schliffbilder eines Kunststoffblocks (Probe #7) der Gruppe 2 mit kalt-lateraler Verdichtung nach ABCD-Norm 1mm, 3mm, 6mm, 9mm, 12mm und 15mm vor Arbeitslänge (AL). Anmerkungen: Guttapercha stellt sich farblich rosa dar, Sealer weißlich sowie Hohlräume/ Defekte als dunklere Bereiche innerhalb des Kanalquerschnitts (durch die weißen Pfeile markiert)

3.2.3 Zentralstifttechnik

Die Abb. 9 zeigt Schliffbilder der Versuchsgruppe 3 über den gesamten Kanalverlauf. Die Formkongruenz des Zentralstifts mit dem Wurzelkanal ist fast über die gesamte Länge des Wurzelkanals gewährleistet. Im apikalen Bereich 1mm vor AL stellt sich wiederum eine leichte Überinstrumentierung der Krümmungsaußenseite dar.

Der Raum zwischen Guttaperchastift und Wurzelkanalwand wird homogen und suffizient mit Sealer ausgefüllt. Einzige Ausnahme stellt die größere Luftblase im Sealer auf Höhe von 6mm vor AL dar.

Ergebnisse

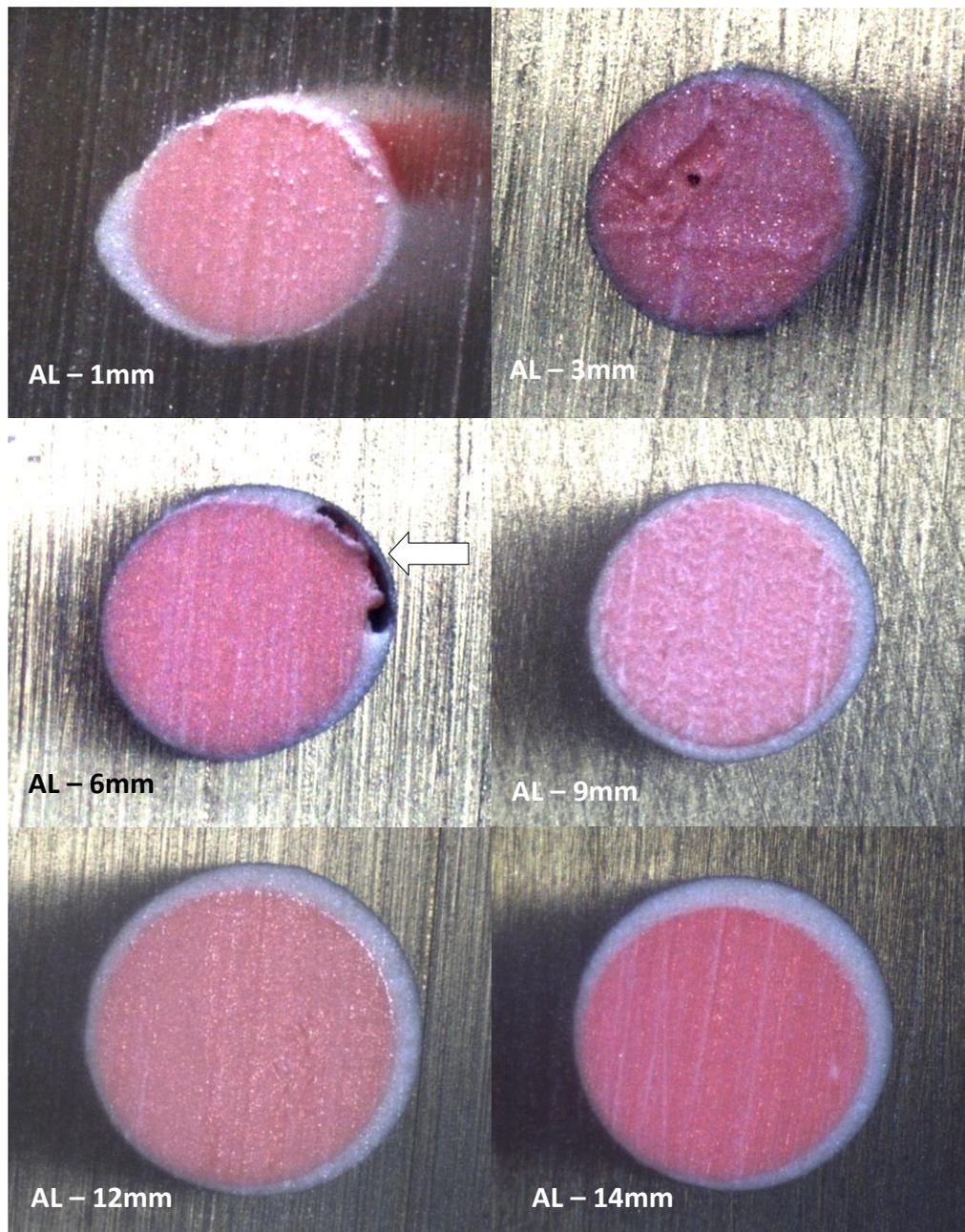


Abbildung 9: Schliiffbilder eines Kunststoffblocks (Probe #10) der Gruppe 3 mit Zentralstifttechnik 1mm, 3mm, 6mm, 9mm, 12mm und 14mm vor Arbeitslänge (AL). Anmerkungen: Guttapercha stellt sich farblich rosa dar, Sealer weißlich sowie Hohlräume/ Defekte als dunklere Bereiche (Pfeilmarkierung bei AL - 6mm)

3.2.4 Trägerbasiertes Obturationssystem

Die Abb. 10 zeigt exemplarisch Schliffbilder aus der Versuchsgruppe 4. Auffällig ist, dass sich im Vergleich zu allen vorherigen Versuchsgruppen ein größerer Anteil an stabilem Kernmaterial (schwarz gefärbter Kunststoffträger mit rosa Guttapercha) verwirklichen lässt, sowie deutlich weniger Sealer im Wurzelkanal vorhanden ist.

Im Bereich von 1mm vor Arbeitslänge sieht man, wie das Guttaperchaendstück (ohne Kunststoffträger) das Kanallumen suffizient verschließt. Etwas Sealer dichtet zusätzlich den Randbereich ab. Generell ist die Wurzelkanalfüllung über den gesamten Kanalverlauf sehr randständig und ohne Defekte. Nur im koronalen Bereich von 15mm vor Arbeitslänge stellt sich ein randständiger Defekt dar. Aufgrund des Schliffverfahrens könnte es zum Ausbrechen von Guttapercha gekommen sein.

Ergebnisse

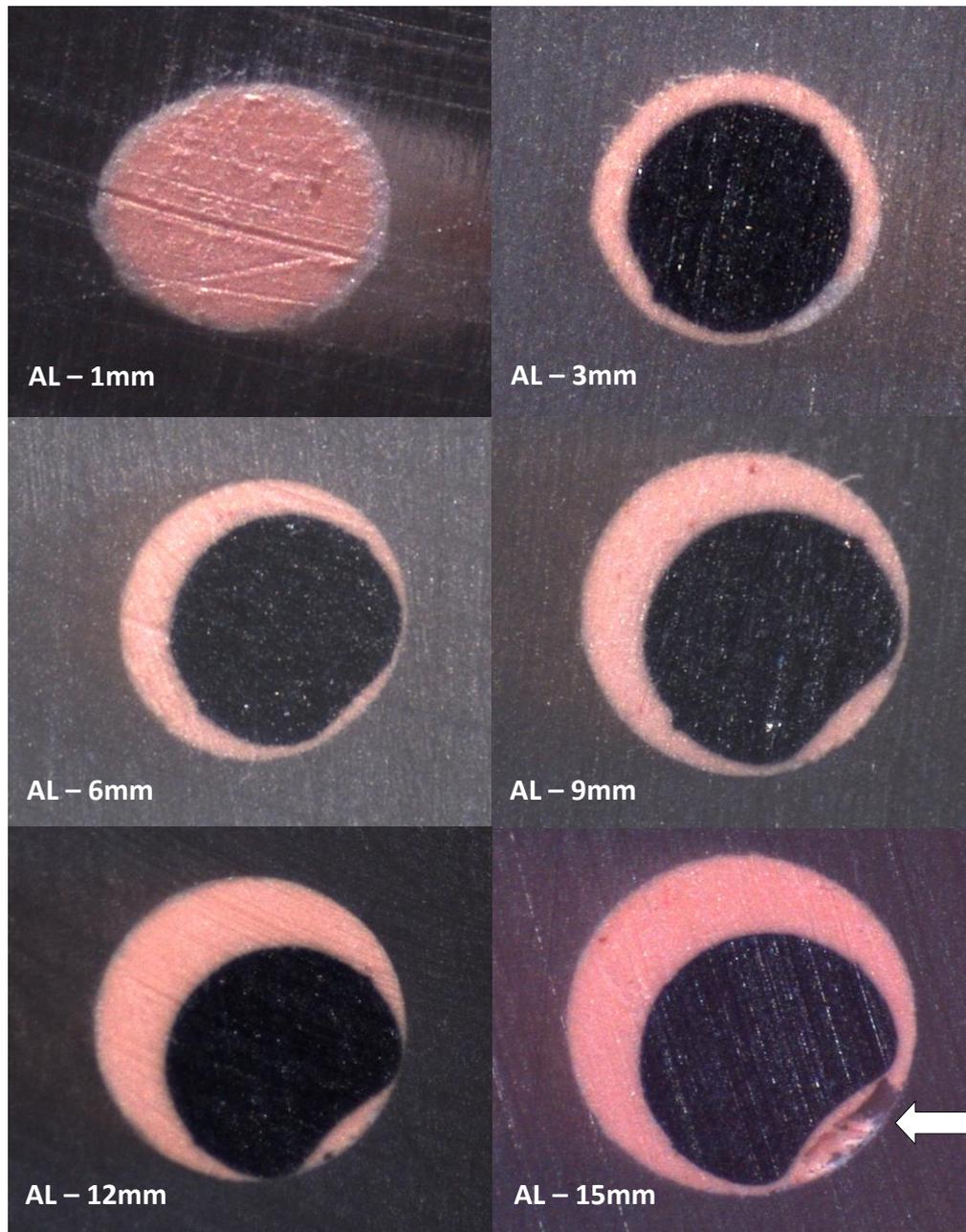


Abbildung 10: Schliffbilder eines Kunststoffblocks (Probe #5) der Gruppe 4 mit trägerbasiertem Obturationssystem 1mm, 3mm, 6mm, 9mm, 12mm und 15mm vor Arbeitslänge (AL). Anmerkungen: Guttapercha stellt sich farblich rosa dar, der Kunststoffträger schwarz, Sealer weißlich. Defekt bei AL – 15mm (Pfeilmarkierung)

3.3 Art der Defekte

3.3.1 Lufteinschlüsse

Bei den angefertigten Wurzelkanalfüllungen ist neben der Defektquantität auch die Qualität, sprich die Defektart, von großem Interesse. Fehler können zum einen bei der Applikation der Guttaperchastifte entstehen, i.d.R. durch ein nicht vollständiges Erreichen der Arbeitslänge. Zum anderen kann es beim Applizieren des Sealers zu Lufteinschlüssen kommen, die häufig randständig bzw. zwischen einzelnen Guttaperchastiften lokalisiert sein können.

Auffällig in dieser Arbeit waren durchgehende Defekte, die sich über mehrere Schnittebenen erstrecken. Die Abb. 11 zeigt exemplarisch einen solchen, sich über mehrere Ebenen verteilenden Lufteinschluss, welcher zugleich der größte war. Eine Klassifikation als Spreaderartefakt scheidet aus, da die 11mm vor AL erstmals erkennbare dritte Hilfsspitze an anderer Stelle liegt als der Lufteinschluss.

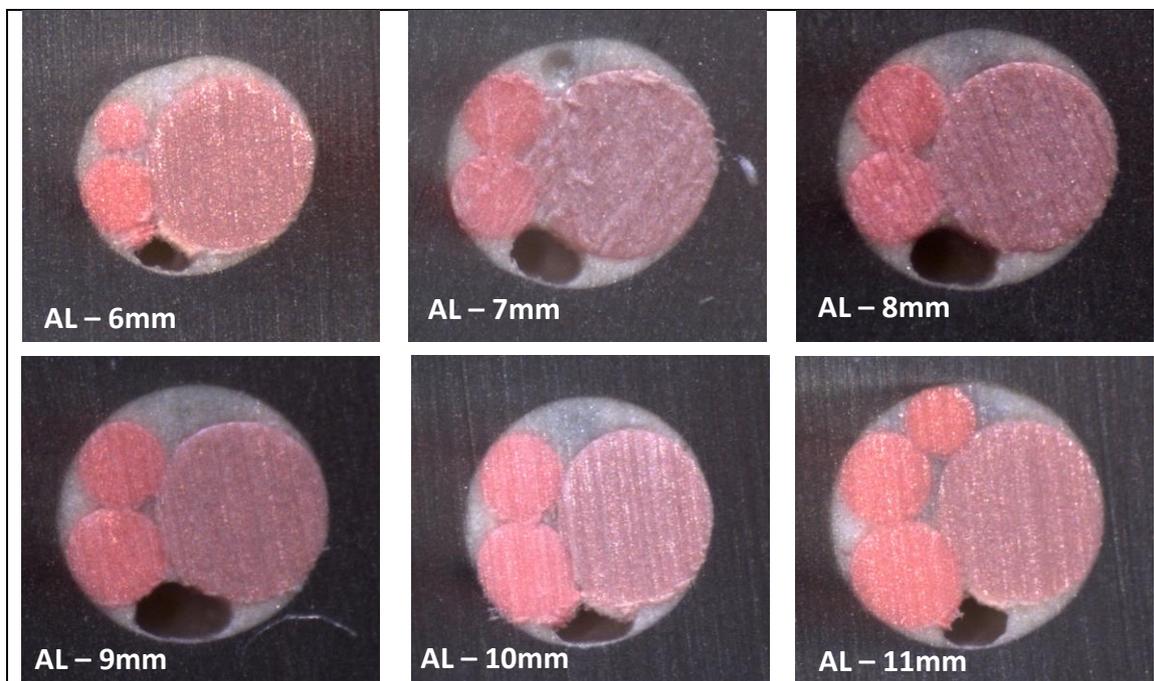


Abbildung 11: durchgehender Lufteinschluss von 6mm bis einschließlich 11mm vor Arbeitslänge bei der kalt-lateralen Verdichtung mit Spreadern/Hilfsspitzen nach ABCD-Norm (Probe #5)

Ergebnisse

Auf Abb. 12 lässt sich neben dem durchgehenden Defekt das Problem der Aufbereitung gekrümmter Kanäle verdeutlichen. Zu erkennen ist im apikalen Drittel die Überinstrumentierung zur Krümmungsaußenseite hin und die Nichtinstrumentierung der Krümmungsinenseite (roter Wandbereich).

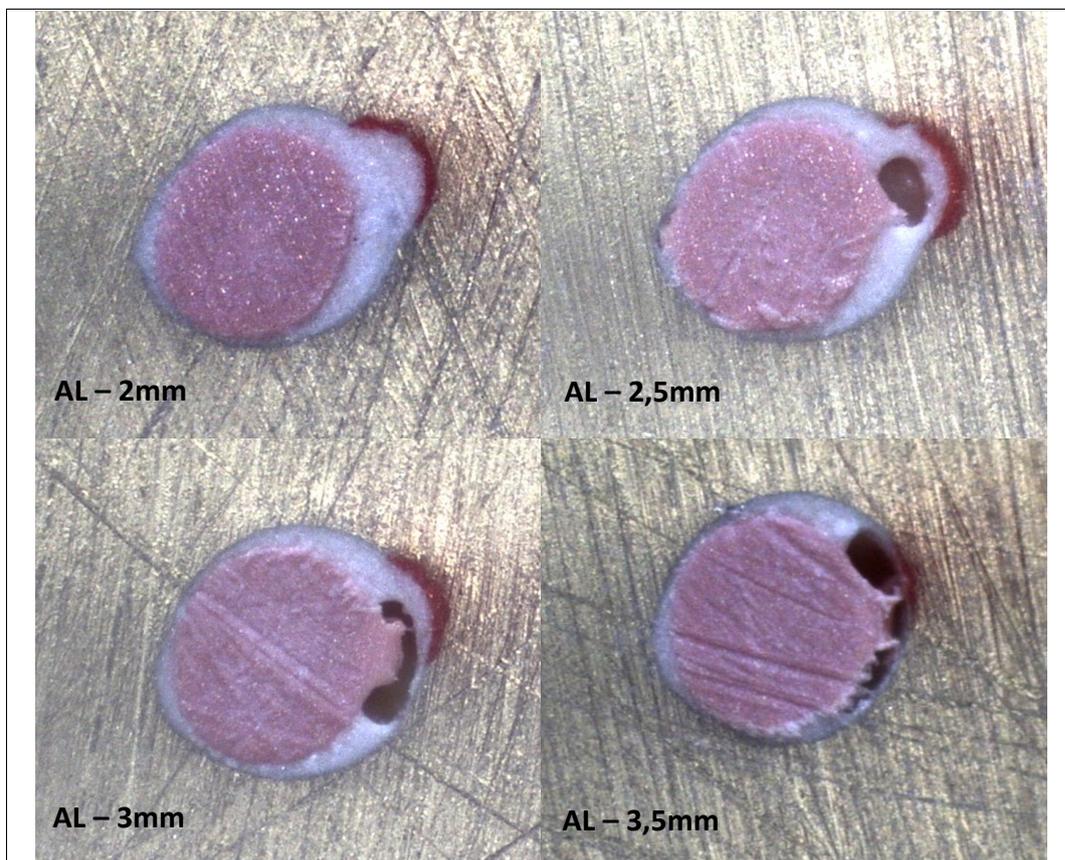


Abbildung 12: Schliffbilder eines Kunststoffblocks (Probe #10) aus der Versuchsgruppe 2 mit kalt-lateraler Verdichtung (ABCD-Norm) bei 2mm, 2,5mm, 3mm und 3,5mm vor Arbeitslänge.

Neben dem durchgehenden Defekt wird die Problematik der Aufbereitung gekrümmter Kanäle deutlich (hier speziell im apikalen Drittel): Unterinstrumentierung der Krümmungsinenseite und infolge dessen die Überinstrumentierung zur Außenseite hin.

Ergebnisse

Kleinere, singuläre Luft einschlüsse wie beispielsweise die unten stehenden Abbildungen zeigen, traten insgesamt in 78 Fällen auf:

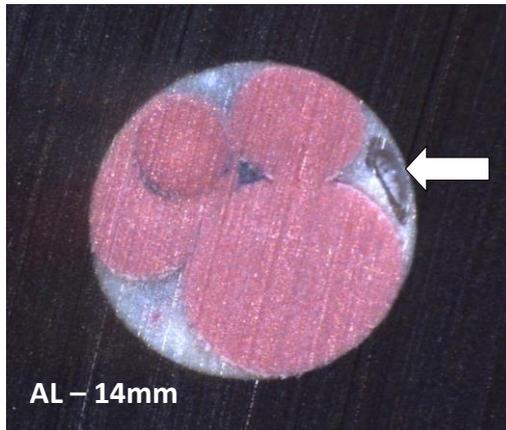


Abbildung 13: Schliffbild eines Kunststoffblocks (Probe #9) aus der Versuchsgruppe 1 mit kalt-lateraler Verdichtung nach ISO-Norm 14mm vor Arbeitslänge; Defekt im Bereich des Sealers (Pfeilmarkierung)

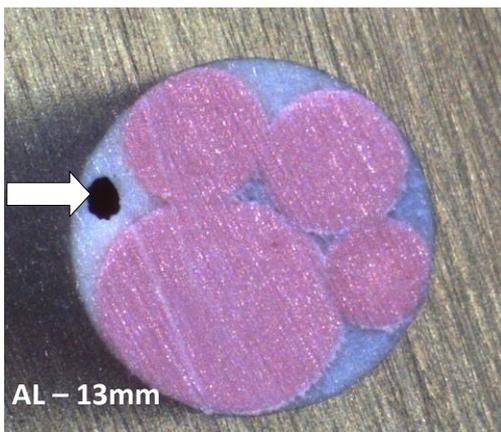


Abbildung 14: Schliffbild eines Kunststoffblocks (Probe #10) aus der Gruppe 1 mit kalt-lateraler Verdichtung nach ISO-Norm; kleiner Defekt im Bereich des Sealers (Pfeilmarkierung)

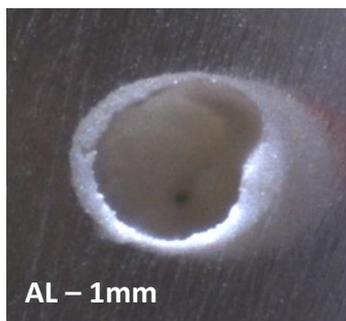


Abbildung 15: Schliffbild eines Kunststoffblocks (Probe #8) der Versuchsgruppe 4 mit trägerbasierter Technik 1 mm vor Arbeitslänge; Hohlräume respektive Luftpockets traten hier im Bereich des Apex häufiger auf. Bedingt durch die Gestaltung der Acrylblöcke konnte die Luft nicht entweichen und wurde im apikalen Bereich gestaut.

3.3.2 Spreaderartefakte

In den zwei Versuchsgruppen mit der kalt-lateralen Verdichtungstechnik ließen sich kaum Fehler klassifizieren, die primär durch den Spreadervorgang verursacht worden sein könnten.

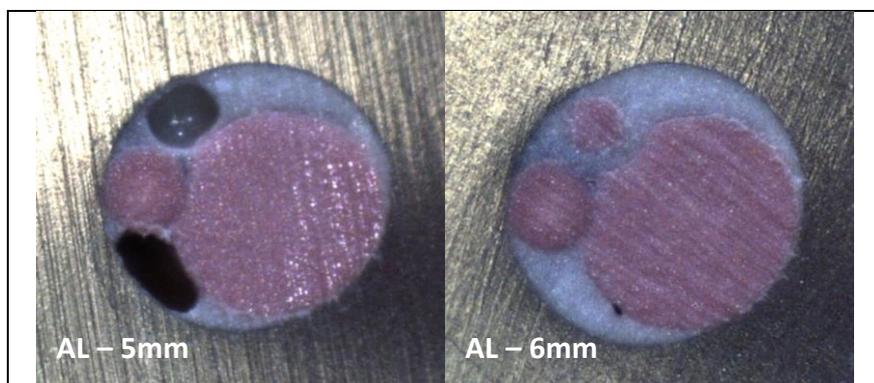


Abbildung 16: Schliffbilder eines Kunststoffblocks (Probe #8) aus der Versuchsgruppe 1 mit kalt-lateraler Verdichtung nach ISO-Norm; Beispiel für ein mögliches Spreaderartefakt oberhalb der ersten Hilfsspitze in Schnittebene 5mm vor Arbeitslänge. Da auf der nächsthöheren Ebene (AL - 6mm) an gleicher Stelle die zweite Hilfsspitze zu erkennen ist, kann dies als Spreaderartefakt interpretiert werden. Die zweite Hilfsspitze erreicht nicht das Spreaderniveau von AL - 5mm und der entstandene Hohlraum bleibt ungefüllt.

Ergebnisse

Abb. 17 stellt ein Beispiel dar, in dem die Hilfsspitze nicht so weit vordringt, wie mit dem Spreader Platz geschaffen wurde:

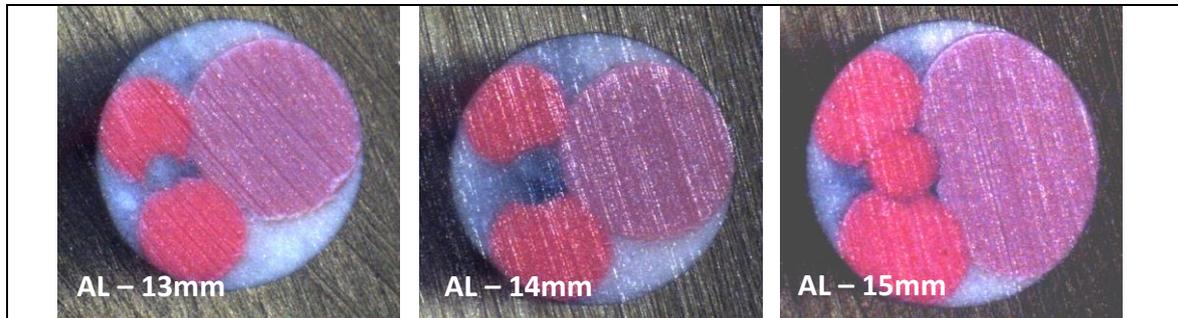


Abbildung 17: Schliffbilder eines Kunststoffblocks (Probe #8) der Versuchsgruppe 2 mit kalt-lateraler Verdichtung nach ABCD-Norm; auf AL – 15mm ist die dritte Hilfsspitze erstmalig zu erkennen. Das eigentliche Spreaderniveau für die dritte Hilfsspitze wird anhand der Deformationen der Guttapercha auf AL – 13mm und 14mm erkennbar. Der vom Spreader geschaffene Platz wird aber suffizient vom Sealer ausgefüllt

Weitere Fehlerquellen können aber auch umgebogene Hilfsspitzen sein:

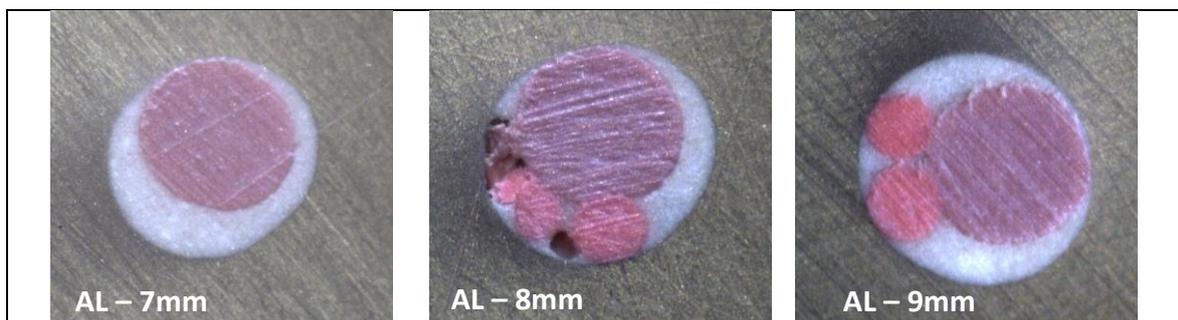


Abbildung 18: Schliffbilder eines Kunststoffblocks (Probe #6) aus der Versuchsgruppe 2 mit kalt-lateraler Verdichtung nach ABCD-Norm. In Ebene von 8mm vor Arbeitslänge scheint eine dritte Hilfsspitze erkennbar zu sein. Da aber auf der Ebene von 9mm vor Arbeitslänge nur zwei Hilfsspitzen existieren, kann sich die Spitze der zweiten Hilfsspitze verbogen haben und als dritte Hilfsspitze fehlinterpretiert werden. Entsprechende Phänomene wurden bereits früher in der Literatur beschrieben (Brayton *et al.* 1973)

3.4 Anzahl der Defekte

Tabelle 4: Absolute Häufigkeit der Defekte in den einzelnen Gruppen; Unterschiede in der Verteilung Defektsumme vs. Versuchsgruppen (rot umrandet; Chi-Quadrat $p < 0.001$); grün umrandet (Chi-Quadrat $p < 0.001$)

Technik	Defektsumme ($p < 0.001$)	Anzahl der Einzeldefekte ($p < 0.001$)	Anzahl der Defekte, die durchgehenden Defekten angehören ($p < 0.001$)	Anzahl der durchgehenden Defekte
KLV (ISO)	117	19	98	23
KLV (ABCD)	62	21	41	10
Zentralstift- Technik	116	23	93	21
Trägerbasierte Technik	28	15	13	6

Tabelle 4 zeigt die Anzahl der Defekte in den unterschiedlichen Versuchsgruppen. Insgesamt wurden quantitativ die häufigsten Defekte in der Versuchsgruppe 1 (KLV-ISO) und 3 (Zentralstifttechnik) beobachtet. Die Versuchsgruppe 2 (KLV-ABCD) zeigte weniger Defekte. Die geringste Defektanzahl wurde in der Versuchsgruppe 4 (trägerbasierte Technik) gefunden (Chi-Quadrat-Test: $p < 0.001$).

Defekte, die durchgehenden Defekten angehören, traten im Vergleich zu Einzeldefekten ähnlich häufig (Gruppe „Trägerbasierte Technik“), doppelt so häufig (Gruppe „KLV (ABCD)“) oder mit 4- bis 5-facher Häufigkeit auf (übrige Gruppen). Dieser Unterschied in den Verteilungen ist signifikant (Chi-Quadrat-Test: $p < 0.001$).

3.5 Eindringtiefe der Hilfsspitzen

Tabelle 5: Median und Interquartilsabstand der durchschnittlichen Eindringtiefen der Hilfsspitzen für die kalte laterale Verdichtung (Gruppe 1: mit ISO-normierten Spreadern und Hilfsspitzen, Gruppe 2: mit ABCD-normierten Spreadern und Hilfsspitzen); Angaben in mm vor Arbeitslänge (AL)

Gruppe	1. Hilfsspitze	2. Hilfsspitze	3. Hilfsspitze
ISO	4,75 (4 - 5)	5,5 (4,375 - 6)	11 (10,75 - 12)
ABCD	7 (5 - 8)	8 (7 - 9)	11,5 (11 - 13,25)
U-Test	p<0.01	p<0.001	n.s.

Anhand der obigen Tabelle lässt sich erkennen, dass die erste und zweite Hilfsspitze der ISO-Kodierung tiefer penetrieren als die der ABCD-Normierung mit größerer Konizität. Für die dritte Hilfsspitze ist kein signifikanter Unterschied festzustellen.

3.6 Flächenanteil der Guttapercha bzw. Guttapercha inkl.

Kunststoffträger

Die Abb. 19 zeigt den prozentualen Anteil der Guttapercha (ggf. inkl. Kunststoffträger) an der Gesamtfläche des Wurzelkanals für die vier Versuchsgruppen an den jeweiligen Abständen von der Arbeitslänge. Wie oben bereits erwähnt, werden die Resultate für die Abstände 15mm und 0,5mm von der Arbeitslänge nicht dargestellt.

Der größte Anteil an Kernmaterial (Guttapercha, bzw. Guttapercha inkl. Kunststoffträger) im koronalen und mittleren Kanaldrittel lässt sich mit der trägerbasierten Technik (Guttamaster®) erzielen, gefolgt von der Zentralstifttechnik und den beiden Versionen der lateralen Verdichtung.

Dabei bestehen auf allen Schnitthöhen von 14mm bis einschließlich 3,5mm signifikante Unterschiede zwischen der trägerbasierten Technik verglichen mit den lateralen Verdichtungsmethoden und der Zentralstifttechnik. Der Median des Kernmaterials liegt in diesen zwei oberen Dritteln, für die trägerbasierte Technik, im Bereich von 95% bis 98%. Im Vergleich dazu verteilen sich die Mediane für die beiden lateralen Verdichtungsmethoden zwischen 61% und 77%. Im apikalen Drittel ab 3mm sind keine signifikanten Unterschiede zwischen der trägerbasierten Technik und den lateralen Verdichtungstechniken festzustellen, da der prozentuale Anteil der Guttapercha in Gruppe 4 sehr stark streut (Median 69% - 87%).

Abb. 19 lässt weiterhin erkennen, dass auf der gesamten untersuchten Länge die geringsten Schwankungen des Guttapercha-Anteils in der Gruppe 3 (Zentralstifttechnik) auftreten. Die Flächenanteile (Mediane) in dieser Gruppe verteilen sich über einen Bereich von 78% bis 87%. Insbesondere im Bereich von 13mm bis 2mm vor Arbeitslänge kann mit der Zentralstifttechnik signifikant mehr Guttapercha im Vergleich zur lateralen Verdichtung mit ABCD- sowie mit ISO-normierten Spreadern realisiert werden.

Im direkten Vergleich zur trägerbasierten Technik weist die Zentralstifttechnik in den beiden oberen Kanaldritteln einen geringeren Guttapercha-Flächenanteil auf. Im apikalen Drittel, ab 3mm vor Arbeitslänge, bleibt der Median des Guttapercha-Anteils

Ergebnisse

der Zentralstifttechnik relativ konstant zwischen 83% und 86%. Wie bereits oben geschildert, wird im Gegensatz dazu der Anteil in Gruppe 4 geringer und streut über einen größeren Bereich (Median 69% - 87%).

Betrachtet man den Obturator des trägerbasierten Systems isoliert, fällt auf, dass im oberen sowie im mittleren Kanaldrittel der Anteil (Median) zwischen 49% und 56% an der Gesamtfläche beträgt. Ab 3,5mm vor Arbeitslänge wird der Median stetig geringer und auf den letzten apikalen 2mm sind nur noch Ausreißerwerte zu beobachten.

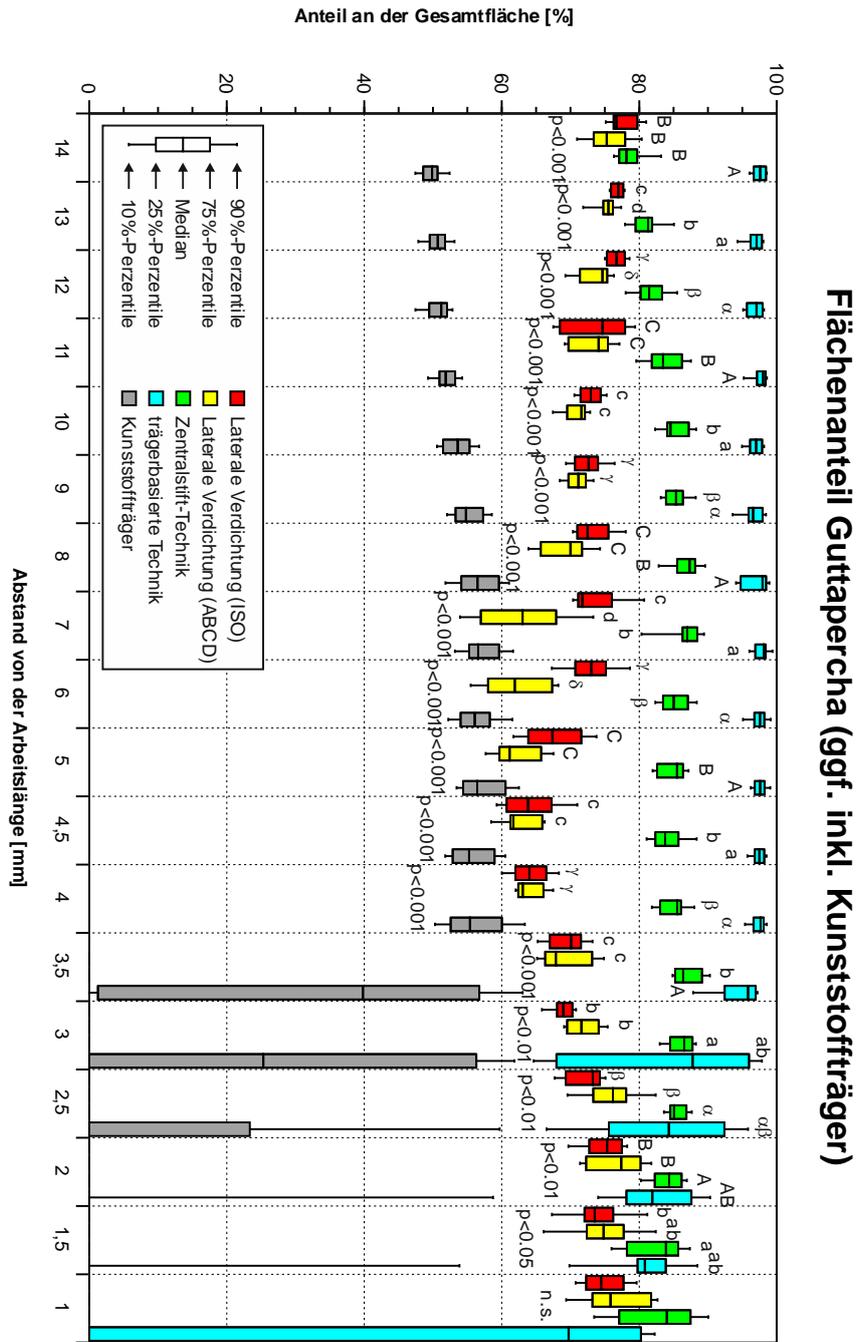


Abbildung 19: Flächenanteil der Guttapercha (ggf. inkl. Kunststoffträger); Signifikanzangaben: Ergebnis der Rangvarianzanalyse. Gleiche Buchstaben kennzeichnen Gruppen, die nicht signifikant verschieden sind (paarweise U-Tests mit Bonferroni-Holm-Korrektur : n.s.)

3.7 Vergleich des Sealer-Anteils

Abb. 20 veranschaulicht den prozentualen Sealer-Anteil an der Gesamtfläche des Wurzelkanals für die vier Versuchsgruppen an den jeweiligen Abständen zur Arbeitslänge.

Als Konsequenz der geringsten Anteile an Guttapercha bei den beiden lateralen Verdichtungsmethoden zeigt sich der höchste Sealer-Anteil besonders im mittleren Kanaldrittel im Zuge der lateralen Verdichtung mit ABCD-normierten Spreadern (Gruppe 2), gefolgt von der lateralen Verdichtung mit ISO-normierten Spreadern (Gruppe 1), und wesentlich geringeren Anteilen an Sealer mittels Zentralstifttechnik (Gruppe 3) sowie der trägerbasierten Technik (Gruppe 4).

Auffällig ist, dass die Zentralstifttechnik auf allen Schnitthöhen eine sehr geringe Streuung des Flächenanteils gegenüber allen anderen Versuchsgruppen aufweist.

Relativ ausgeprägte Schwankungen im Sealer-Anteil zeigen sowohl die laterale Verdichtung mit ISO-normierten Spreadern (Gruppe 1), als auch die laterale Verdichtung mit ABCD-normierten Spreadern (Gruppe 2).

Der Sealer-Anteil bewegt sich im Median über den gesamten Kanalverlauf für die beiden lateralen Verdichtungstechniken zwischen 17% und 35%.

Der Flächenanteil des Sealers bei der trägerbasierten Technik beträgt im koronalen und mittleren Drittel maximal 4% im Median. Erst ab 3,5mm vor Arbeitslänge nimmt er zu und erreicht sein Maximum bei 1mm, mit einem Median von ca. 24%.

Auf dieser Höhe (1mm vor Arbeitslänge) zeigt sich für die Zentralstifttechnik ein signifikant geringerer Sealer-Anteil von 12% (Median) im Vergleich zum trägerbasierten System.

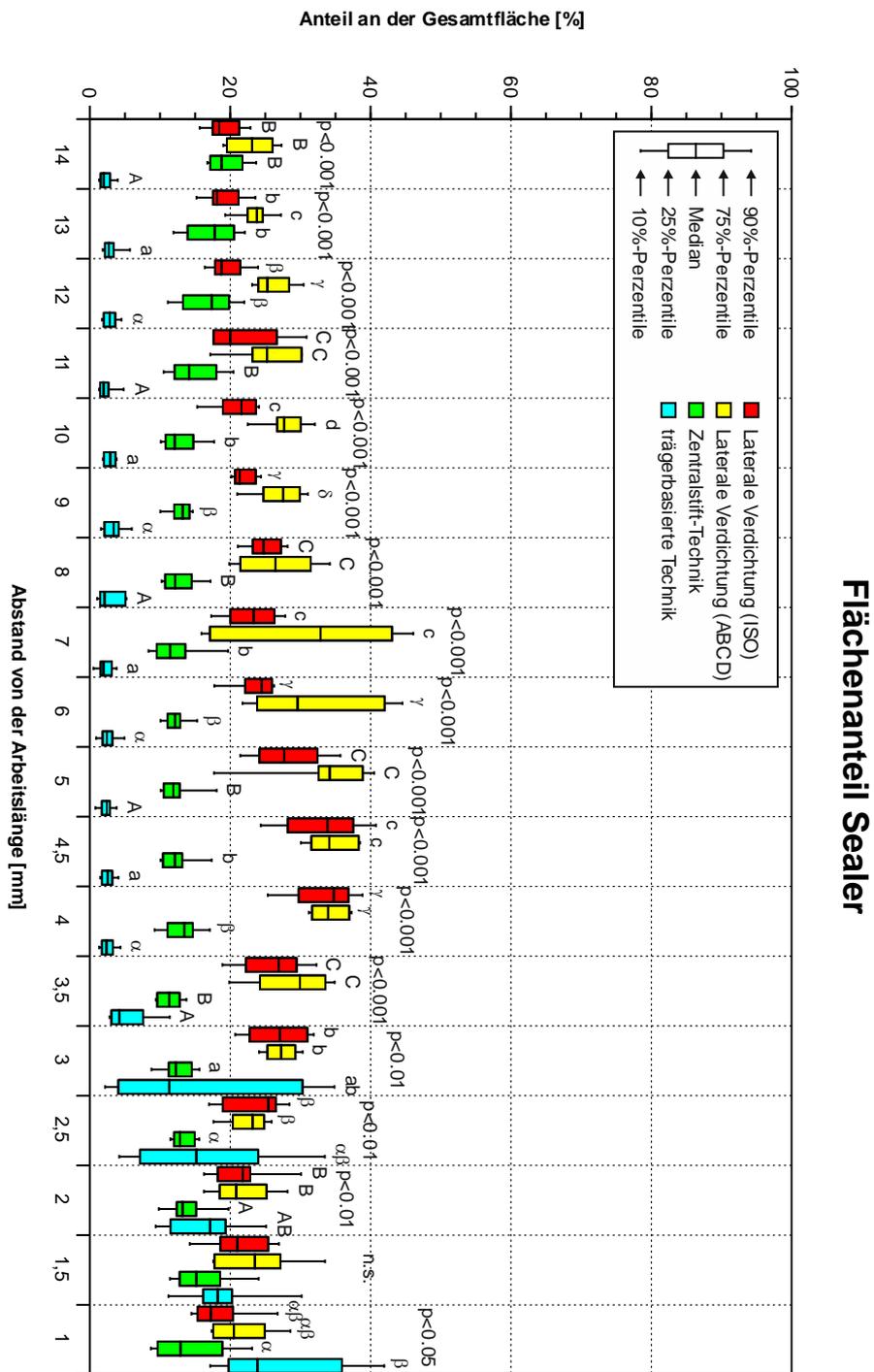


Abbildung 20: Flächenanteil des Sealers; Signifikanzangaben und Buchstaben wie in Abb. 19

3.8 Vergleich des Defekt-Anteils

Der Anteil der Defekte an der Gesamtfläche an den jeweiligen Abständen zur Arbeitslänge der vier Versuchsgruppen wird in der Abb. 21 dargestellt.

Die größten Defektanteile werden im gesamten Verlauf mit beiden lateralen Verdichtungstechniken, gefolgt von der Zentralstifttechnik und zuletzt dem trägerbasierten System, verursacht.

Im Bereich des koronalen Drittels weist die Gruppe 1 (laterale Verdichtung mit ISO-normierten Spreadern) einen Defektflächenanteil von 1,5% bis 5,8% (Median) auf. In der Gruppe 2 schwankt der Median zwischen 0,25% und 0,75%, in Gruppe 3 zwischen 0% und 1,5% und in Gruppe 4 zwischen 0% und 0,25% (jeweils Mediane).

Im mittleren Kanaldrittel zeigt sich eine stärkere Streuung der Defektanteile für die zweite Versuchsgruppe (laterale Verdichtung mit ABCD-normierten Spreadern) mit Medianen von 0% bis 4,5% Defektflächenanteil. Signifikant geringere Defektanteile wies aber nur Versuchsgruppe 4 (trägerbasierte Technik) auf im Vergleich zu Gruppe 1 (7mm vor AL) bzw. Gruppe 1 und 3 (6 und 5mm vor AL).

Im apikalen Bereich, konkret zwischen 3,5mm und 1mm vor Arbeitslänge, ist der Defektanteil an der Gesamtfläche in Gruppe 1 ähnlich verteilt wie im koronalen Bereich (Mediane: 0,7% -4,5%).

Mit Ausnahme auf Höhe von 1mm vor Arbeitslänge wurden die geringsten Defektanteile mit der trägerbasierten Technik verursacht. Betrachtet man den ganzen Kanalverlauf, verteilen sich die Defektanteile (Mediane) über einen Bereich von 0% bis 0,5%. Nur bei 1 mm vor Arbeitslänge ist in der Gruppe 4 eine massive Streuung festzustellen.

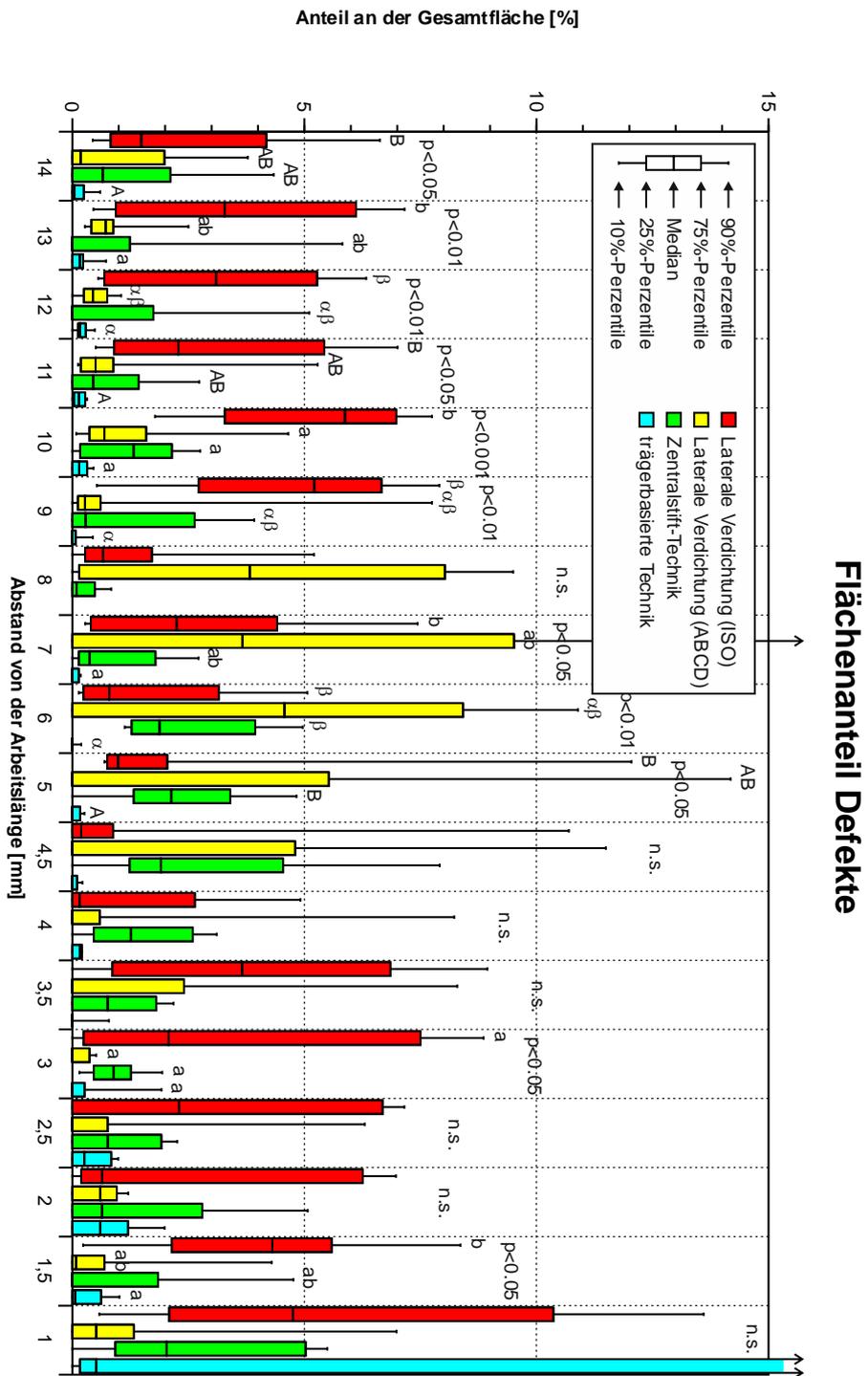


Abbildung 21: Flächenanteil der Defekte; Signifikanzangaben und Buchstaben wie in Abb. 19

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Methoden

In dieser Studie wurden zur Durchführung der Experimente simulierte Wurzelkanäle in Kunststoffblöcken (Endotrainer, frasaco GmbH) verwendet. Ein Nachteil dieser Modelle besteht darin, dass sie die komplexe Wurzelkanalanatomie natürlicher Zähne mit ihren feinen Verästelungen und lateralen Kanälen nicht wiedergeben können.

Ein wichtiger Vorteil ist, dass die Versuchsbedingungen durch die Reproduzierbarkeit besser standardisiert werden können. Die Modelle sind uneingeschränkt verfügbar, darüber hinaus bleibt die Unabhängigkeit von anatomischen Variationen gewahrt. Da die maschinelle Aufbereitung unter Sichtkontrolle erfolgen kann, ist es möglich, eventuelle Abweichungen von der ursprünglichen Kanalform rechtzeitig zu erkennen und somit die Anzahl der Aufbereitungsfehler zu minimieren. Diese Maßnahmen garantieren eine größtmöglich standardisierte Präparation, wie bereits publiziert wurde (Rangel *et al.* 2005).

Um die Anzahl der Aufbereitungsfehler weiter zu reduzieren, kam das maschinell rotierende Aufbereitungssystem Mtwo® NiTi zur Anwendung. Wegen des s-förmigen Querschnittsdesigns sowie geringen Kerndurchmessers besitzen die Instrumente eine sehr hohe Frakturresistenz (Lee *et al.* 2011). Durch den großen Spanraum können sehr effizient Debris und Dentinspäne abtransportiert werden (Schäfer & Oitzinger 2008).

Laut Schäfer *et al.* (2006b) führen Mtwo Instrumente zu weniger Begradigungen als andere Systeme (K3 oder RaCe) und sind somit in Hinsicht auf eine zentrierte apikale Aufbereitung unter Beibehaltung des ursprünglichen Kanalverlaufs sehr gut geeignet. Trotzdem kam es in unseren Untersuchungen vereinzelt zu Veränderungen der Kanalanatomie in Form von Unterinstrumentierung der Krümmungsinnenseite, insbesondere im apikalen Bereich, und ebenso zur Unterinstrumentierung der Krümmungsaußenseite im mittleren Kanaldrittel respektive im direkten Bereich der

Diskussion

Krümmung. Auch in anderen Studien konnten Veränderungen der Kanalanatomie selbst mit maschineller Nickel-Titan Aufbereitung nicht gänzlich vermieden werden (Hartmann *et al.* 2007; Sonntag *et al.* 2007).

Um die Qualität von Wurzelkanalfüllungen zu bewerten, gibt es verschiedene Verfahren. Zum einen kann mittels mikroskopischer Fotografie das prozentuale Flächenverhältnis der einzelnen Füllungsmaterialien bestimmt werden, zum anderen bietet sich auch die Möglichkeit der Bewertung mittels Farbstoffpenetration, deren Zuverlässigkeit allerdings schon in der Vergangenheit in Frage gestellt wurde (Wu & Wesselink 1993). Die Penetration des Farbstoffs kann beispielsweise durch Lufteschlüsse behindert werden (Kazemi & Spangberg 1995) oder schlichtweg nicht erkannt werden, da der Farbstoff bei Kontakt mit einigen Füllmaterialien seine Farbe verlieren kann (Wu *et al.* 1998).

Wie auch schon in anderen Studien (Gençoglu *et al.* 2002; Ozawa *et al.* 2009; Schäfer *et al.* 2012; Wu *et al.* 2001) wurden Querschnitte (Schliffpräparate) angefertigt, um die prozentualen Flächenanteile der Wurzelfüllmaterialien zu bestimmen. Bei der Anfertigung von Sägeschnitten besteht die Gefahr, dass die Guttapercha auf Grund ihrer geringeren Härte über die Grenze des Wurzelkanals hinaus verschmiert wird, sodass es zu einer Überschätzung des Flächenanteils der Guttapercha kommt. Solche Artefakte sind auch auf Beispielbildern in der Literatur erkennbar (Aminsobhani *et al.* 2015). Durch Politur der Schnitte werde die Grenze zwischen Guttapercha und umgebender Hartsubstanz jedoch wieder klar dargestellt, sodass der Flächenanteil der Guttapercha mit ähnlicher Genauigkeit bestimmt werden könne wie z.B. mit phasenkontrastverstärkter Computertomographie (Zaslansky *et al.* 2011). Durch eine kontinuierliche Wasserkühlung beim Schleifen wurde in dieser Arbeit versucht, der Entstehung von Schliffartefakten entgegenzuwirken.

Anhand der sich anschließenden mikroskopischen Auswertung und Flächenberechnung mittels Sigma Scan Pro 5 kann das Verhältnis von Guttapercha und Sealer sehr gut bestimmt werden. Andererseits hat aber auch dieses Verfahren seine Schwächen, da die Markierung der jeweiligen zu bestimmenden Flächen dem Untersucher obliegt und

Diskussion

dadurch keine hundertprozentige Objektivität gewährleistet ist. Allerdings werden Unterschiede zwischen einzelnen Untersuchern mit kleiner als 3% angegeben (Zaslansky *et al.* 2011).

Das prozentuale Verhältnis von Guttapercha, Sealer sowie Defekten wurde in der vorliegenden Arbeit als Parameter für die Qualität von Wurzelkanalfüllungen untersucht. Als Sealer wurde in dieser Arbeit AH Plus verwandt, da er im Vergleich zu anderen Füllpasten eine gute Dimensionsstabilität und eine ausreichend lange Verarbeitungszeit aufweist (McMichen *et al.* 2003; Schäfer & Zandbiglari 2003).

Viele Autoren verweisen auf die Volumenveränderungen von Sealern während der Abbindephase. So konnten Wiener & Schilder (1971) initiale Expansionsvorgänge bei Sealern auf Epoxidharzbasis nachweisen. Bereits nach 30 Tagen aber zeigten diese Proben Volumenverluste von durchschnittlich 1,28%. Löslichkeiten verschiedener Sealer wurden u.a. von Ørstavik (1983), Peters (1986) sowie Tronstad *et al.* (1988) beschrieben. Neben Kazemi *et al.* (1993) konnten auch Schäfer & Zandbiglari (2003) Substanzverluste mehrerer Sealer durch Resorption und Löslichkeit nachweisen. Darüber hinaus beschrieben Kontakiotis *et al.* (1997) vereinzelt größere Undichtigkeiten für dickere Sealerschichtstärken als für dünne Schichtstärken. Daraus wird die Forderung abgeleitet, dass der Sealer in möglichst geringer Menge und nur als möglichst dünne sowie gleichmäßige Schicht auf der Wurzelkanalwand appliziert werden sollte.

Auch der Anteil an Defekten (Hohlräumen) hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der Wurzelfüllung. Ursache dafür können die bereits erwähnte Schrumpfung sowie Porositäten des Sealers oder auch ungefüllte Bereiche als Folge von Verdichtungsprozessen sein (Wu *et al.* 2000). Diese Hohlräume können ein erneutes Bakterienwachstum begünstigen und unter Umständen zu einer vollständigen Passage von Mikroorganismen führen, wodurch die Gefahr einer Reinfektion gegeben sein kann.

Diskussion

Aufgrund dessen ist es unerlässlich, einen möglichst großen Anteil von dimensionsstabiler Guttapercha in Verbindung mit minimalen Sealeranteil anzustreben (Jarrett *et al.* 2004; Schäfer *et al.* 2012).

4.2 Diskussion der Ergebnisse

Das Ziel dieser Arbeit war es, die technische Qualität unterschiedlicher Wurzelkanalfüllmethoden zu untersuchen und zu bewerten. Der Schwerpunkt dabei war, ob die laterale Verdichtung besser mit ISO-genormten Spreadern und Hilfsspitzen oder mit Spreadern und Hilfsspitzen stärkerer Konizität (ABCD-genormt) erfolgen sollte. Die laterale Verdichtung galt bisher als Standardwurzelfülltechnik und wird in vielen aktuellen Publikationen als Vergleichsmethode gegenüber neuen Techniken herangezogen (Aminsobhani *et al.* 2015; Celikten *et al.* 2015; Gupta *et al.* 2015; Ozer & Aktener 2009; Schäfer *et al.* 2012; Schäfer *et al.* 2015). Schäfer *et al.* (2012) konnten in Ihren Untersuchungen Flächenanteile für Guttapercha von bis zu 93,42% mit der lateralen Verdichtungstechnik erreichen, wobei hierfür aber nur Fingerspreader der Größenkodierung ISO 25 Verwendung fanden. Ob Unterschiede zur lateralen Verdichtung mit ABCD-normierten Fingerspreadern bestehen, wurde nicht untersucht. Die Arbeitsgruppe um Gani (2000) berichtet, dass sich mit ISO-normierten Fingerspreadern ein größerer Guttaperchaanteil im Wurzelkanal von durchschnittlich 71,4% realisieren lässt als mit ABCD-genormten Fingerspreadern (durchschnittlich 51,2%). Allerdings kamen in Ihren Untersuchungen keine hochflexiblen Nickeltitan-Spreader sondern relativ unflexible Edelstahlspreader zur Anwendung. Die detailliertere Analyse dieser Daten zeigt, dass 1 mm und 2 mm vor AL in allen Gruppen ein Guttaperchaanteil in der Größenordnung von 60% beobachtet wurde, also ein schlechteres Ergebnis als in der vorliegenden Studie. Dies spricht für eine schlechte Anpassung der Masterpoints, möglicherweise auf Grund unregelmäßiger Kanal- bzw. Aufbereitungsformen. Hier könnte auch die Aufbereitung der Wurzelkanäle mit Handinstrumenten in Step-Back-Technik eine Rolle spielen, die das Risiko einer Kanalbegradigung birgt. Das in der Arbeit gezeigte Beispielbild dokumentiert einen klaren Aufbereitungsfehler in Form eines Elbows. 3mm und 4mm vor AL wurden für die konischeren ABCD-Spreader Guttaperchaflächenanteile von ca. 40%, für die ISO-genormten Spreader von annähernd 80 % beobachtet. Die erstgenannten Werte sind

Diskussion

schlechter, die zweiten besser als in der vorliegenden Studie. Auch wenn die genannte Arbeit eine Statistik zum Vergleich der Versuchsgruppen vermissen lässt, darf die Signifikanz angesichts der großen Stichprobenstreuungen bezweifelt werden.

Vergegenwärtigt man sich nochmals die Flächenanteile für Guttapercha und Sealer (vgl. Abb. 19; Abb. 20), wird deutlich, dass kaum signifikante Unterschiede zwischen der lateralen Verdichtung mit ISO- und ABCD-normierten Spreadern bestehen. Der Guttaperchaanteil verteilt sich für diese beiden Techniken auf den Bereich zwischen 61% und 77% im Median. Ähnlich hohe Flächenanteile von 93% wie in der Arbeit von Schäfer *et al.* (2012) konnten hier mit der lateralen Verdichtung nicht erreicht werden. In mehreren Untersuchungen wurde bereits festgestellt, dass Fingerspreader aus Nickeltitan gegenüber jenen aus Edelstahl tiefer penetrieren und zusätzlich der erforderliche Kraftaufwand zur Verdichtung deutlich reduziert wird (Schmidt *et al.* 2000; Wilson & Baumgartner 2003).

In der vorliegenden Studie zeigt sich, dass die schlankeren nach ISO normierten Spreader sowie Hilfsspitzen offensichtlich etwas tiefer penetrieren als die konischeren ABCD-normierten Spreader und Hilfsspitzen. So reichten in der erstgenannten Gruppe die erste und zweite Hilfsspitze bis 4,75mm bzw. 5,5mm, in der zweiten Gruppe demgegenüber nur bis 7mm bzw. 8mm vor Arbeitslänge. Dementsprechend ist bei Verwendung der ISO-kodierten Spreader / Spitzen der Flächenanteil an Guttapercha im Bereich von 5mm bis 10mm vor Arbeitslänge größer als nach Verwendung der ABCD-genormten Spreader und Spitzen; dieser Unterschied erreicht allerdings nur 6mm und 7mm vor Arbeitslänge das Niveau statistischer Signifikanz.

Generell aber war es unter Beachtung einer Maximalkraft von 10 N nicht möglich, die Spreader tiefer als 4-5mm vor Arbeitslänge einzubringen. Im Gegensatz zu Lehrbüchern und anderen Studien konnte ein Idealzustand, mit dem Einbringen vieler Guttaperchaspitzen bis in den apikalen Bereich, nicht realisiert werden (Aminsobhani *et al.* 2015; Baumann & Beer 2008; Nielsen & Baumgartner 2006; Stock *et al.* 2005).

Diskussion

Im Vergleich der beiden lateralen Verdichtungsmethoden gegenüber der trägerbasierten Technik lassen sich insbesondere im mittleren und koronalen Kanaldrittel signifikante Unterschiede für den Guttaperchaanteil und Sealeranteil feststellen. Dabei kann mit GuttaMaster® ein wesentlich höheres Guttapercha – Sealer Verhältnis erreicht werden. Der prozentuale Guttapercha-Flächenanteil [PGFA] in diesen zwei Dritteln beträgt für GuttaMaster® im Median ca. 97% und der Anteil des Sealers bewegt sich unterhalb von 3% im Median. Der PGFA der beiden lateralen Verdichtungsmethoden befindet sich dagegen im Bereich zwischen 61% und 77% (Median). Daraus resultiert ein entsprechend höherer Sealer Anteil von circa 17% bis 35% im Median. Im apikalen Kanaldrittel ab 3mm vor AL liegen allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen Gruppen vor. Ähnliche Resultate erzielten Ozawa *et al.* (2009). In deren Studie an 42 extrahierten Prämolaren, zwar unter Aufbereitung von Pro Taper und Profiles, konnte mit einer trägerbasierten Obturationstechnik ebenso der geringste Sealer-Anteil im mittleren Kanaldrittel, im Vergleich zur lateralen Verdichtungstechnik und Zentralstifttechnik verwirklicht werden. Diese Ergebnisse stehen auch in Einklang mit denen der Arbeitsgruppe um Gençoglu (2002), die einen signifikant größeren Guttapercha-Anteil von durchschnittlich 98,85 % für das trägerbasierte Obturationsverfahren gegenüber der lateralen Verdichtung mit durchschnittlich 81,21% beobachteten. Außerdem führten die trägerbasierten Obturationstechniken in dieser Studie zu einer besseren Dichtheit im Farbstoffpenetrationsversuch als die laterale Verdichtung.

De-Deus *et al.* (2007) bestätigten in ihren Untersuchungen den signifikant höheren Guttapercha-Anteil für ein trägerbasiertes Obturationsverfahren von annähernd 99% im Vergleich zur lateralen Verdichtung mit 85% im Maximum. Andere Studien zur Dichtheit der Wurzelkanalfüllungen im Farbstoffpenetrationsversuch konnten dagegen die Überlegenheit trägerbasierter Fülltechniken gegenüber der lateralen Verdichtung nicht bestätigen (Abarca *et al.* 2001; Fabra-Campos 1993; Schäfer & Olthoff 2002).

Die ebenso untersuchte Zentralstifttechnik weist über den gesamten Kanalverlauf eine sehr geringe Streuung der Flächenanteile für Guttapercha sowie Sealer im Vergleich zu

Diskussion

den anderen Techniken auf (vgl. Abb. 19; Abb. 20). Der PGFA der Zentralstifttechnik beträgt 78% bis 87% im Median und ist mit wenigen Ausnahmen signifikant größer als bei den beiden lateralen Verdichtungsmethoden.

Dieses Resultat steht in Widerspruch zur Arbeit von Schäfer *et al.* (2012). Sie haben auf allen Schnitthöhen von 2, 3, 4, 6 und 8mm an extrahierten menschlichen Zähnen mit der Zentralstifttechnik einen signifikant geringeren Guttapercha-Anteil als mit der lateralen Verdichtungsmethode erzielt. Der PGFA für die Zentralstifttechnik lag in ihren Untersuchungen zwischen 61,1% und 83,6%, während er für die laterale Verdichtung mindestens 76,2% bis maximal 93,4% betrug. Da deren Aufbereitungs- und Obturationstechniken sowie die verwendeten Materialien (NiTi Fingerspreader ISO 25, Sealer AH Plus) zum großen Teil mit den hier verwendeten übereinstimmen, kann dieses gegensätzliche Ergebnis zum einen in deren Aufbereitung natürlicher Zähne begründet sein. Anders als die in der vorliegenden Studie verwendeten Kunststoffblöcke mit ihrem homogenen fast runden Kanalquerschnitt, weisen natürliche Zähne ein sehr komplexes Kanalsystem auf. Insbesondere unregelmäßig geformte Wurzelkanäle sowie nicht aufbereitbare Isthmen stellen ein Problem für die Obturation dar (De-Deus *et al.* 2008, Wu & Wesselink 2001). Da bei der Zentralstifttechnik nur ein einzelner runder Guttaperchastift appliziert wird, können speziell in Bereichen mit ovalem oder irregulärem Querschnitt die Wurzelkanäle schon aus technischer Sicht nicht komplett mit Guttapercha abgefüllt werden. Dadurch wird zur vollständigen Obturation mehr Sealer benötigt, was die Ursache für den signifikant größeren Sealeranteil der Einstifttechnik in der Studie von Schäfer *et al.* (2012) sein kann. Zum anderen könnte die stärkere Krümmung ihrer ausgewählten Zähne ursächlich für den signifikant höheren Sealeranteil der Zentralstifttechnik sein. Diese betrug durchschnittlich 30,87° - 31,03° im Vergleich zur geringeren Krümmung von durchschnittlich 20° der hier verwendeten Kunststoffmodelle. Auch Gani *et al.* (2000) stellen die Hypothese auf, dass stärkere Wurzelkrümmungen größere Sealeranteile zur Folge haben.

Diskussion

Darüber hinaus kamen in der vorliegenden Studie zusätzlich die stärker konischen Fingerspreader und Hilfsspitzen nach ABCD-Norm zur Anwendung. Möglicherweise klemmen diese konischeren Hilfsspitzen beim Einbringen bereits koronal, obwohl apikal noch mehr Platz wäre. Ähnliche Erklärungen ziehen auch Gani *et al.* (2000) in Betracht.

Veranschaulicht man den Defektanteil (vgl. Abb. 21), werden signifikant größere Defekte im koronalen Kanaldrittel (14 - 9mm vor AL) mit der lateralen Verdichtungsmethode (Gruppe 1 nach ISO-Norm) im Vergleich zur trägerbasierten Technik produziert.

Schäfer *et al.* (2012) konnten bezüglich der Defektanteile in ihren Untersuchungen auf allen Schnitthöhen (2 - 8mm) keine signifikanten Unterschiede zwischen der lateralen Verdichtung, der Zentralstifttechnik sowie der warmen vertikalen Verdichtung feststellen. Auch in der vorliegenden Studie wurden keine signifikant unterschiedlichen Defektanteile bei den Gruppen mit lateraler Verdichtung und der Zentralstifttechnik beobachtet. Allerdings zeigte sich eine generelle Tendenz für geringere Defektanteile bei der trägerbasierten Technik (mit Ausnahme der Schnitthöhe 1mm vor AL), die in 10 von 18 untersuchten Schnitthöhen (1,5mm, 5-7mm und 9-14mm vor AL) das Niveau statistischer Signifikanz erreichen. Die trägerbasierte Technik in der vorliegenden Studie erzielt somit geringere Defektanteile als die klassische warm-vertikale Verdichtung in der angeführten Studie. Bei Zentralstifttechnik und lateraler Verdichtung liegen die Defektanteile in beiden Studien in ähnlichen Größenordnungen. Für die Entstehung der Defekte können, wie bereits genannt, verschiedene Faktoren eine Rolle spielen. Da in allen vier Gruppen der gleiche Sealer verwendet wurde, gewinnt der Einfluss der Wurzelfülltechnik eine größere Bedeutung. Die Problematik der kalten lateralen Verdichtung wird in mehreren Publikationen relativ deutlich beschrieben. Der Studie von Wu *et al.* (2000) ist zu entnehmen, dass der Sealer durch Verdichtungsprozesse von der Kanalwand teilweise wieder entfernt wird und dadurch Hohlräume verbleiben können. Die Abbildung 8, auf der Hohlräume zwischen Guttapercha und Kanalwand zu sehen sind, verdeutlicht dieses Phänomen. Des

Diskussion

Weiteren geben Wu & Wesselink (2001) an, dass die Gefahr besteht, lange und enge Nischen insbesondere bei unregelmäßig geformten Wurzelkanälen mit der kalten lateralen Verdichtung gar nicht oder nur unvollständig abzufüllen. Ferner ist das Risiko für Wurzelfrakturen durch das Spreaden erhöht, da der Spreader mit einem gewissen Kraftaufwand in apikaler und lateraler Richtung bewegt wird, um für nachfolgende Guttaperchastifte Platz zu schaffen (Meister *et al.* 1980; Shemesh *et al.* 2009; Wilcox *et al.* 1997). Wird dieser durch das Spreaden geschaffene Platz nicht gänzlich mit den nachfolgenden akzessorischen Guttaperchastiften ausgefüllt, bleiben häufig Hohlräume zurück, die als Ausgangspunkt für Reinfektionen eine Rolle spielen können. Gani *et al.* (2000) führen die Hohlräume in Wurzelfüllungen auf solche Spreaderartefakte zurück. In der vorliegenden Studie konnte jedoch nur bei 2 von 20 Probezähnen ein Defekt in der Wurzelfüllung als Spreaderartefakt klassifiziert werden.

Mit der trägerbasierten Obturationstechnik (GuttaMaster®) können die flächenmäßig geringsten Defektanteile verwirklicht werden. Paradoxerweise verteilt sich der Defektanteil auf Höhe von einem Millimeter vor Arbeitslänge über einen unverhältnismäßig großen Bereich. Ursächlich dafür kann eine Luftkompression beim Abfüllen der Kanäle sein, da die gestaute Luft aufgrund der Morphologie des Kunststoffblocks nicht in der Lage ist, nach apikal zu entweichen und sich deshalb in diesem Bereich staut. Dieses Phänomen ist anhand der Abbildung 15 sehr gut zu erkennen. Ein solcher Effekt wäre in der klinischen Situation allerdings nicht zu erwarten. Überpressungen von Sealer und / oder Guttapercha werden bei Anwendung trägerbasierter Fülltechniken allerdings häufiger beschrieben als bei der lateralen Verdichtung (Da Silva *et al.* 2002; Gulabivala *et al.* 1998; Kumar *et al.* 2011; Schäfer & Olthoff 2002). Im vorliegenden Versuchsaufbau konnten prinzipbedingt Überpressungen nicht auftreten, da bei den verwendeten Kunststoffblöcken die Kanäle nach apikal abgeschlossen waren.

Zukünftige Studien könnten daher trägerbasierte Fülltechniken auf das Überpressen von Wurzelfüllungsmaterial an apikal offenen Kunststoffblöcken oder an extrahierten menschlichen Zähnen untersuchen. Interessant wäre besonders, wieviel Material

Diskussion

überpresst wird und wie sich die Extrusion effektiv verhindern lässt, da dies zu unerwünschten Reaktionen in Kontakt mit dem periapikalen Gewebe führen kann. Speziell in Bereichen mit unmittelbarem Kontakt zu gefährdeten Strukturen wie dem Nervus alveolaris inferior können als Folge von Extrusionen Komplikationen wie temporäre oder persistierende Sensibilitätsstörungen auftreten (Gonzalez-Martin *et al.* 2010). In einer Studie konnte bereits gezeigt werden, dass die Applikation eines apikalen Verschlusses aus MTA-Zement die Überpressung von Sealer und Guttapercha bei Anwendung eines trägerbasierten Systems (Therma-Fil, Maillefer) verhindern kann (Kumar *et al.* 2011).

5 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung der technischen Qualität von Wurzelkanalfüllungen an simulierten gekrümmten Kanälen in Abhängigkeit von der Wurzelfülltechnik. Im Zentrum stand die Frage, ob die laterale Verdichtung besser mit ISO-genormten Spreadern / Hilfsspitzen oder Spreadern / Hilfsspitzen größerer Konizität (ABCD-Kodierung) erfolgen soll.

Es wurden 40 Kunststoffblöcke (Endotrainer A-ETE-20, frasaco GmbH) mittels Mtwo® NiTi standardisiert maschinell aufbereitet und zu je 10 Proben auf 4 Gruppen verteilt.

Die Aufteilung der Wurzelkanalfülltechnik war folgende:

- Gruppe 1: Kalt-laterale Verdichtung unter Verwendung ISO-genormter NiTi-Spreader sowie Hilfsspitzen mit 2% Konizität
- Gruppe 2: Kalt-laterale Verdichtung unter Verwendung stärker konischer, hersteller-genormter NiTi-Spreader sowie Hilfsspitzen (ABCD-Kodierung)
- Gruppe 3: Zentralstifttechnik
- Gruppe 4: Warm-vertikale Verdichtung unter Verwendung eines träger-basierten Systems (Guttamaster® Obturationssystem, VDW)

In allen vier Untersuchungsgruppen fand der Sealer AH Plus (Dentsply DeTrey) Verwendung. Während der Durchführung der unterschiedlichen Wurzelfülltechniken wurde die aufgewendete Kraft mittels eines Biegebalkensensors (Burster Präzisionsmesstechnik) überwacht und eine Maximalkraft von 10N eingehalten. Zur Beurteilung der technischen Qualität der Wurzelkanalfüllungen wurden Schliffbilder angefertigt. Die Proben wurden gruppenweise auf Objektträgern fixiert und mithilfe eines Mikroschleifsystems von koronal nach apikal reduziert. Im koronalen Bereich (15mm bis 6mm vor Apex) erfolgten die Schriffe in Millimeterschritten und im apikalen Drittel in halben Millimeterschritten. Nach jedem Schleifvorgang wurden die Querschnitte unter Verwendung eines Auflichtmikroskops fotografiert. Mit einem digitalen Bildanalyseprogramm wurde der Kanalquerschnitt einschließlich der

Zusammenfassung

Flächenanteile von Guttapercha, Sealer sowie Defekten vermessen und in Microsoft Excel® erfasst. Die statistische Analyse erfolgte mit dem Programm SPSS 18 (SPSS Inc.). Die erhobenen Daten wurden mittels Rangvarianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test) auf statistische Signifikanz überprüft. Als Post-hoc-Test für den Einzelgruppenvergleich wurden paarweise U-Tests nach Mann-Whitney mit Bonferroni-Holm-Korrektur durchgeführt. Dabei zeigten sich für den Guttapercha- und Sealeranteil statistisch signifikante Unterschiede über den gesamten Kanalverlauf.

In Bezug auf das Kernmaterial (Guttapercha respektive Guttapercha inkl. Kunststoffträger) erweist sich die trägerbasierte thermoplastische Technik im Bereich von 14mm bis 3,5mm mit einem mittleren Flächenanteil von 95% - 98% den anderen Techniken überlegen. Der Guttaperchaanteil der Zentralstifttechnik verteilt sich hier über einen Bereich von 78% bis 87%. Bei den beiden lateralen Verdichtungstechniken konnten nur geringere Guttaperchaanteile über den gesamten Kanalverlauf realisiert werden. Hier verteilt sich der Flächenanteil für Guttapercha auf 63% - 77% in Gruppe 1 (KLV-ISO) und 61% - 77% in Gruppe 2 (KLV-ABCD). Bis auf wenige Ausnahmen (13mm, 12mm, 7mm, 6mm vor AL) bestehen zwischen den beiden lateralen Verdichtungstechniken keine signifikanten Unterschiede.

Zur Überprüfung der Defekthäufigkeit und deren Verteilung kam der Chi-Quadrat-Test zur Anwendung ($p < 0.001$). Quantitativ wurden die häufigsten Defekte in der Gruppe 1 (KLV-ISO) und in Gruppe 3 (Zentralstifttechnik) beobachtet. Die Gruppe 2 (KLV-ABCD) zeigte weniger Defekte. Die geringste Defektanzahl wurde in Gruppe 4 (trägerbasierte Technik) gefunden.

Die maximale Eindringtiefe der Hilfsspitzen bei den lateralen Verdichtungstechniken wurde mithilfe des U-Tests (Mann-Whitney) auf signifikante Unterschiede getestet. Die ersten beiden Hilfsspitzen der Gruppe 1 (KLV-ISO) penetrieren signifikant tiefer (1.HS $p < 0.01$; 2.HS $p < 0.001$) als die der Gruppe 2 (KLV-ABCD).

Im Endeffekt hat die tiefere Penetration der ersten beiden Hilfsspitzen in Gruppe 1 (KLV-ISO) gegenüber der Gruppe 2 (KLV-ABCD) nur im Bereich von 6mm, 7mm, 12mm

Zusammenfassung

und 13mm vor AL statistisch signifikante Auswirkungen auf den Guttaperchaanteil. Das apikale Drittel bleibt davon unberührt.

Als Konsequenz der hier gewonnenen Ergebnisse scheint im Hinblick auf die Defektanzahl die laterale Verdichtung mit Spreadern und Hilfsspitzen größerer Konizität nach ABCD-Norm effektiver zu sein als die laterale Verdichtung mit Spreadern und Hilfsspitzen nach ISO-Norm.

Unter den Voraussetzungen dieser Arbeit liefern die Zentralstifttechnik und die trägerbasierte Technik, als Kontrollgruppen gegenüber der kalten lateralen Verdichtung, sehr gute Ergebnisse bezüglich des Guttapercha- sowie Sealeranteils. Unter Erwartung eines nach abschließender Präparation nahezu runden Kanalquerschnitts kann die Zentralstifttechnik mit Mtwo® Guttapercha (VDW) sowie das trägerbasierte Obturationsystem (VDW) eine sehr gute Alternative darstellen.

Mit GuttaMaster® lässt sich sogar das signifikant größte Guttapercha- Sealerverhältnis erreichen. Denn nur wenn das aufbereitete Kanalsystem vollständig mit einem möglichst großen Anteil an stabilen Kernmaterial, minimalen Sealeranteil und so wenig wie möglich Defekten abgefüllt wird, ist eine langzeitstabile Wurzelfüllung gewährleistet, wodurch das Risiko einer bakteriellen Infektion oder Reinfektion reduziert werden kann.

Abschließend sei noch einmal zu betonen, dass die hier gewonnenen Erkenntnisse sich nur eingeschränkt auf die klinische Behandlungssituation übertragen lassen, da die durchgeführten Versuche unter optimalen Laborbedingungen stattfanden.

Literaturverzeichnis

Abarca, A. M. , Bustos, A. , Navia, M. (2001). "A comparison of apical sealing and extrusion between Thermafil and lateral condensation techniques." *Journal of endodontics* **27**(11): 670-672.

Allison, D. A. , Michelich, R. J. , Walton, R. E. (1981). "The influence of master cone adaptation on the quality of the apical seal." *Journal of endodontics* **7**(2): 61-65.

Allison, D. A. , Weber, C. R. , Walton, R. E. (1979). "The influence of the method of canal preparation on the quality of apical and coronal obturation." *Journal of endodontics* **5**(10): 298-304.

Aminsobhani, M. , Ghorbanzadeh, A. , Sharifian, M. R. , Namjou, S. , Kharazifard, M. J. (2015). "Comparison of Obturation Quality in Modified Continuous Wave Compaction, Continuous Wave Compaction, Lateral Compaction and Warm Vertical Compaction Techniques." *Journal of dentistry (Tehran)* **12**(2): 99-108.

Barthel, C. R. , Kaschke, I. , Jahn, K. R. (2004). "Wurzelkanalfülltechniken - Eine Übersicht." *Endodontie* **13**(4): 307-320.

Baumann, M. A. , Beer, R. (2008). *Endodontologie*. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.

Brayton, S. M. , Davis, S. R. , Goldman, M. (1973). "Gutta-percha root canal fillings. An in vitro analysis. I." *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* **35**(2): 226-231.

Brkanic, T. , Ivana, S. , Vukoje, K. , Zivkovic, S. (2010). "[Scanning electron microscopy investigation of canal cleaning after canal preparation with nickel titanium files]." *Srpski arhiv za celokupno lekarstvo* **138**(9-10): 551-556.

Budd, C. S. , Weller, R. N. , Kulild, J. C. (1991). "A comparison of thermoplasticized injectable gutta-percha obturation techniques." *Journal of endodontics* **17**(6): 260-264.

Campos, J. M. , del Rio, C. (1990). "Comparison of mechanical and standard hand instrumentation techniques in curved root canals." *Journal of endodontics* **16**(5): 230-234.

Literaturverzeichnis

Celikten, B. , C, F. U. , A, I. O. , Tufenkci, P. , Misirli, M. , K, O. D. , Orhan, K. (2015). "Micro-CT assessment of the sealing ability of three root canal filling techniques." *Journal of oral science* **57**(4): 361-366.

Cruse, W. P. , Bellizzi, R. (1980). "A historic review of endodontics, 1689-1963, part 1." *Journal of endodontics* **6**(3): 495-499.

Da Silva, D. , Endal, U. , Reynaud, A. , Portenier, I. , Orstavik, D. , Haapasalo, M. (2002). "A comparative study of lateral condensation, heat-softened gutta-percha, and a modified master cone heat-softened backfilling technique." *International endodontic journal* **35**(12): 1005-1011.

Dadresanfar, B. , Khalilak, Z. , Shiekholeslami, M. , Afshar, S. (2010). "Comparative study of the sealing ability of the lateral condensation technique and the BeeFill system after canal preparation by the Mtwo NiTi rotary system." *Journal of oral science* **52**(2): 281-285.

Dang, D. A. , Walton, R. E. (1989). "Vertical root fracture and root distortion: effect of spreader design." *Journal of endodontics* **15**(7): 294-301.

Davis, S. R. , Brayton, S. M. , Goldman, M. (1972). "The morphology of the prepared root canal: A study utilizing injectable silicone." *Oral surgery, oral medicine, & oral pathology* **34**(4): 642-648.

De-Deus, G. , Maniglia-Ferreira, C. M. , Gurgel-Filho, E. D. , Paciornik, S. , Machado, A. C. , Coutinho-Filho, T. (2007). "Comparison of the percentage of gutta-percha-filled area obtained by Thermafil and System B." *Australian endodontic journal* **33**(2): 55-61.

De-Deus, G. , Reis, C. , Beznos, D. , de Abranches, A. M. , Coutinho-Filho, T. , Paciornik, S. (2008). "Limited ability of three commonly used thermoplasticized gutta-percha techniques in filling oval-shaped canals." *Journal of endodontics* **34**(11): 1401-1405.

DGZMK (2000). "Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und DGZ - "Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte"." *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 2000 **55**(1): 9-11.

DGZMK (2005). "Gemeinsame Stellungnahme der DGZ und DGZMK - "Good clinical practice": Die Wurzelkanalbehandlung." Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift 2005 **60**(8): 418-420.

Europäische Gesellschaft für Endodontologie (2006). "Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung. Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie (European Society of Endodontology)." Endodontie 15:387-401

Fabra-Campos, H. (1993). "Experimental apical sealing with a new canal obturation system." Journal of endodontics **19**(2): 71-75.

Farzaneh, M. , Abitbol, S. , Lawrence, H. P. , Friedman, S. (2004). "Treatment outcome in endodontics-the Toronto Study. Phase II: initial treatment." Journal of endodontics **30**(5): 302-309.

Flores, D. S. , Rached, F. J., Jr. , Versiani, M. A. , Guedes, D. F. , Sousa-Neto, M. D. , Pecora, J. D. (2011). "Evaluation of physicochemical properties of four root canal sealers." International endodontic journal **44**(2): 126-135.

Friedman, C. M. , Sandrik, J. L. , Heuer, M. A. , Rapp, G. W. (1975). "Composition and mechanical properties of gutta-percha endodontic points." Journal of dental research **54**(5): 921-925.

Friedman, S. , Abitbol, S. , Lawrence, H. P. (2003). "Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment." Journal of endodontics **29**(12): 787-793.

Gani, O. , Visvisian, C. , de Caso, C. (2000). "Quality of apical seal in curved canals using three types of spreaders." Journal of endodontics **26**(10): 581-585.

Gençoglu, N. (2003). "Comparison of 6 different gutta-percha techniques (part II): Thermafil, JS Quick-Fill, Soft Core, Microseal, System B, and lateral condensation." Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology & endodontics **96**(1): 91-95.

Gençoglu, N. , Garip, Y. , Ba, M. , Samani, S. (2002). "Comparison of different gutta-percha root filling techniques: Thermafil, Quick-fill, System B, and lateral condensation." Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology & endodontics **93**(3): 333-336.

Gonzalez-Martin, M. , Torres-Lagares, D. , Gutierrez-Perez, J. L. , Segura-Egea, J. J. (2010). "Inferior alveolar nerve paresthesia after overfilling of endodontic sealer into the mandibular canal." *Journal of endodontics* **36**(8): 1419-1421.

Gordon, M. P. , Love, R. M. , Chandler, N. P. (2005). "An evaluation of .06 tapered gutta-percha cones for filling of .06 taper prepared curved root canals." *International endodontic journal* **38**(2): 87-96.

Gulabivala, K. , Holt, R. , Long, B. (1998). "An in vitro comparison of thermoplasticised gutta-percha obturation techniques with cold lateral condensation." *Endodontics & dental traumatology* **14**(6): 262-269.

Guldener, P. H. A. , Langeland, K. (1993). *Endodontologie - Diagnostik und Therapie*. New York, Georg Thieme Verlag Stuttgart.

Gulsahi, K. , Cehreli, Z. C. , Kuraner, T. , Dagli, F. T. (2007). "Sealer area associated with cold lateral condensation of gutta-percha and warm coated carrier filling systems in canals prepared with various rotary NiTi systems." *International endodontic journal* **40**(4): 275-281.

Gupta, R. , Dhingra, A. , Panwar, N. R. (2015). "Comparative Evaluation of Three Different Obturating Techniques Lateral Compaction, Thermafil and Calamus for Filling Area and Voids Using Cone Beam Computed Tomography: An Invitro study." *Journal of clinical & diagnostic research* **9**(8): ZC15-17.

Gutierrez, J. H. , Garcia, J. (1968). "Microscopic and macroscopic investigation on results of mechanical preparation of root canals." *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* **25**(1): 108-116.

Hammad, M. , Qualtrough, A. , Silikas, N. (2008). "Extended setting shrinkage behavior of endodontic sealers." *Journal of endodontics* **34**(1): 90-93.

Hartmann, M. S. , Barletta, F. B. , Camargo Fontanella, V. R. , Vanni, J. R. (2007). "Canal transportation after root canal instrumentation: a comparative study with computed tomography." *Journal of endodontics* **33**(8): 962-965.

Hofmann, N. (2013). "Aktueller Stand der Wurzelkanalfüllung." *wissen kompakt* **2**(7): 41-56.

Literaturverzeichnis

Holcomb, J. Q. , Pitts, D. L. , Nicholls, J. I. (1987). "Further investigation of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation." *Journal of endodontics* **13**(6): 277-284.

Hülsmann, M. (1993). *Endodontie*. Stuttgart; New York : Georg Thieme Verlag.

Hülsmann, M. (2008). *Checklisten der Zahnmedizin - Endodontie*. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.

Hülsmann, M. , Lorch, V. , Franz, B. (1991). "Studies on the incidence and quality of root fillings. Evaluation by orthopantomograms." *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* **46**(4): 296-299.

Hülsmann, M. , Rummelin, C. , Schäfers, F. (1997). "Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation." *Journal of endodontics* **23**(5): 301-306.

Hülsmann, M. , Schäfer, E. (2007). *Probleme in der Endodontie – Prävention, Identifikation und Management*. Berlin, Quintessenz Verlags-GmbH.

Hülsmann, M. , Snezna, S. (1998). "Veränderungen in Bezug auf Häufigkeit und Qualität der endodontischen Versorgung 1976-1993." *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* **53**(6): 392-397.

Ingle, J. I. , Bakland, L. K. (1994). *Endodontics*. Baltimore, München (u.a.), Williams & Wilkins.

Jarrett, I. S. , Marx, D. , Covey, D. , Karmazin, M. , Lavin, M. , Gound, T. (2004). "Percentage of canals filled in apical cross sections - an in vitro study of seven obturation techniques." *International endodontic journal* **37**(6): 392-398.

Johnson, W. B. (1978). "A new gutta-percha technique." *Journal of endodontics* **4**(6): 184-188.

Johnson, W. T. , Kulid, J. C. (2011). *Cohen's Pathways of the PULP*, Mosby Elsevier.

Literaturverzeichnis

Kazemi, R. B. , Safavi, K. E. , Spangberg, L. S. (1993). "Dimensional changes of endodontic sealers." *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology* **76**(6): 766-771.

Kazemi, R. B. , Spangberg, L. S. (1995). "Effect of reduced air pressure on dye penetration in standardized voids." *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology & endodontics* **80**(6): 720-725.

Klimm, W. , Arnold, M. , Viergutz, G. (2011). *Endodontologie*. Deutscher Zahnärzte Verlag Köln.

Kontakiotis, E. G. , Tzanetakis, G. N. , Loizides, A. L. (2007). "A comparative study of contact angles of four different root canal sealers." *Journal of endodontics* **33**(3): 299-302.

Kontakiotis, E. G. , Wu, M. K. , Wesselink, P. R. (1997). "Effect of sealer thickness on long-term sealing ability: a 2-year follow-up study." *International endodontic journal* **30**(5): 307-312.

Kumar, S. , Deshpande, S. J. , Rao, A. S. (2011). "Comparison of apical sealing and periapical extrusion of the ThermaFil obturation technique with and without MTA as an apical barrier: An in vitro study." *Indian journal of dental research : official publication of indian society for dental research* **22**(5): 622-626.

Lee, K. W. , Williams, M. C. , Camps, J. J. , Pashley, D. H. (2002). "Adhesion of endodontic sealers to dentin and gutta-percha." *Journal of endodontics* **28**(10): 684-688.

Lee, M. H. , Versluis, A. , Kim, B. M. , Lee, C. J. , Hur, B. , Kim, H. C. (2011). "Correlation between experimental cyclic fatigue resistance and numerical stress analysis for nickel-titanium rotary files." *Journal of endodontics* **37**(8): 1152-1157.

Leonardo, M. R. , da Silva, L. A. , Almeida, W. A. , Utrilla, L. S. (1999). "Tissue response to an epoxy resin-based root canal sealer." *Endodontics & dental traumatology* **15**(1): 28-32.

Lertchirakarn (1999). "Load and Strain during Lateral Condensation and Vertical Root Fracture.pdf." *Journal of endodontics* **25**(2): 99-104.

Lindauer, P. A. , Campbell, A. D. , Hicks, M. L. , Pelleu, G. B. (1989). "Vertical root fractures in curved roots under simulated clinical conditions." *Journal of endodontics* **15**(8): 345-349.

Marciano, M. A. , Ordinola-Zapata, R. , Cunha, T. V. , Duarte, M. A. , Cavenago, B. C. , Garcia, R. B. , Bramante, C. M. , Bernardineli, N. , Moraes, I. G. (2011). "Analysis of four gutta-percha techniques used to fill mesial root canals of mandibular molars." *International endodontic journal* **44**(4): 321-329.

Marin-Bauza, G. A. , Rached-Junior, F. J. , Souza-Gabriel, A. E. , Sousa-Neto, M. D. , Miranda, C. E. , Silva-Sousa, Y. T. (2010). "Physicochemical properties of methacrylate resin-based root canal sealers." *Journal of endodontics* **36**(9): 1531-1536.

Marin-Bauza, G. A. , Silva-Sousa, Y. T. , da Cunha, S. A. , Rached-Junior, F. J. , Bonetti-Filho, I. , Sousa-Neto, M. D. , Miranda, C. E. (2012). "Physicochemical properties of endodontic sealers of different bases." *Journal of applied oral science : revista FOB* **20**(4): 455-461.

McMichen, F. R. , Pearson, G. , Rahbaran, S. , Gulabivala, K. (2003). "A comparative study of selected physical properties of five root-canal sealers." *International endodontic journal* **36**(9): 629-635.

Meister, F., Jr. , Lommel, T. J. , Gerstein, H. (1980). "Diagnosis and possible causes of vertical root fractures." *Oral surgery, oral medicine, & oral pathology* **49**(3): 243-253.

Michel, K. , Kockapan, C. , Hülsmann, M. (1997). "Zur Geschichte der Wurzelkanalfüllung." *Endodontie* **6**(1): 11-26.

Nielsen, B. A. , Baumgartner, J. C. (2006). "Spreader penetration during lateral compaction of resilon and gutta-percha." *Journal of endodontics* **32**(1): 52-54.

Ørstavik, D. (1983). "Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water." *Scandinavian journal of dental research* **91**(4): 316-319.

Ørstavik, D. , Nordahl, I. , Tibballs, J. E. (2001). "Dimensional change following setting of root canal sealer materials." *Dental materials* **17**(6): 512-519.

Ozawa, T. , Taha, N. , Messer, H. H. (2009). "A comparison of techniques for obturating oval-shaped root canals." *Dental materials journal* **28**(3): 290-294.

Özbaş, H. , Asci, S. , Aydin, Y. (2011). "Examination of the prevalence of periapical lesions and technical quality of endodontic treatment in a turkish subpopulation." *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, & endodontics* **112**(1): 136-142.

Özer, S. Y. (2011). "Comparison of root canal transportation induced by three rotary systems with noncutting tips using computed tomography." *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, & endodontics* **111**(2): 244-250.

Özer, S. Y. , Aktener, B. O. (2009). "Outcome of root canal treatment using Soft-Core and cold lateral compaction filling techniques: a randomized clinical trial." *Journal of contemporary dental practice* **10**(1): 74-81.

Paqué, F. , Balmer, M. , Attin, T. , Peters, O. A. (2010). "Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study." *Journal of endodontics* **36**(4): 703-707.

Pascon, E. A. , Spångberg, L. S. (1990). "In vitro cytotoxicity of root canal filling materials: 1. Gutta-percha." *Journal of endodontics* **16**(9): 429-433.

Peters, D. D. (1986). "Two-year in vitro solubility evaluation of four Gutta-percha sealer obturation techniques." *Journal of endodontics* **12**(4): 139-145.

Rangel, S. , Cremonese, R. , Bryant, S. , Dummer, P. (2005). "Shaping ability of RaCe rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals." *Journal of endodontics* **31**(6): 460-463.

Ricucci, D. , Siqueira, J. F., Jr. (2010). "Fate of the tissue in lateral canals and apical ramifications in response to pathologic conditions and treatment procedures." *Journal of endodontics* **36**(1): 1-15.

Roane, J. B. , Sabala, C. L. , Duncanson, M. G., Jr. (1985). "The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals." *Journal of endodontics* **11**(5): 203-211.

Robberecht, L. , Colard, T. , Claisse-Crinquette, A. (2012). "Qualitative evaluation of two endodontic obturation techniques: tapered single-cone method versus warm vertical condensation and injection system An in vitro study." *Journal of oral science* **54**(1): 99-104.

Schäfer, E. (2001). "Wurzelkanalfüllmaterialien - Ein Überblick. Teil 1: Wurzelkanalfüllpasten." *Endodontie* **10**: 337-348.

Schäfer, E. , Erler, M. , Dammaschke, T. (2006b). "Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth." *International endodontic journal* **39**(3): 203-212.

Schäfer, E., Köster, M., Bürklein, S. (2013). "Percentage of gutta-percha-filled areas in canals instrumented with nickel-titanium systems and obturated with matching single cones." *Journal of endodontics* **39**(7): 924-928.

Schäfer, E. , Lohmann, D. (2002a). "Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile--Part 1. Shaping ability in simulated curved canals." *International endodontic journal* **35**(6): 505-513.

Schäfer, E. , Lohmann, D. (2002b). "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." *International endodontic journal* **35**(6): 514-521.

Schäfer, E. , Nelius, B. , Bürklein, S. (2012). "A comparative evaluation of gutta-percha filled areas in curved root canals obturated with different techniques." *Clinical oral investigations* **16**(1): 225-230.

Schäfer, E. , Oitzinger, M. (2008). "Cutting efficiency of five different types of rotary nickel-titanium instruments." *Journal of endodontics* **34**(2): 198-200.

Schäfer, E. , Olthoff, G. (2002). "Effect of three different sealers on the sealing ability of both thermafil obturators and cold laterally compacted Gutta-Percha." *Journal of endodontics* **28**(9): 638-642.

Schäfer, E. , Schrenker, C. , Zupanc, J. , Bürklein, S. (2015). "Percentage of Gutta-percha Filled Areas in Canals Obturated with Cross-linked Gutta-percha Core-carrier Systems, Single-Cone and Lateral Compaction Technique." *Journal of endodontics*. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26679718> (Online Abruf am 09.01.2016).

Schäfer, E. , Zandbiglari, T. (2003). "Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva." *International endodontic journal* **36**(10): 660-669.

Schilder, H. (1967). "Filling root canals in three dimensions." *Dental clinics of North America*: 723-744.

Schmidt, K. J. , Walker, T. L. , Johnson, J. D. , Nicoll, B. K. (2000). "Comparison of Nickel-Titanium and Stainless-Steel Spreader Penetration and Accessory Cone Fit in Curved Canals." *Journal of endodontics* **26**(1): 42-44.

Shahi, S. (2007). "An in vitro study of the effect of spreader penetration depth on apical microleakage.pdf." *Journal of oral science* **49**(4): 283-286.

Shemesh, H. , Bier, C. A. , Wu, M. K. , Tanomaru-Filho, M. , Wesselink, P. R. (2009). "The effects of canal preparation and filling on the incidence of dentinal defects." *International endodontic journal* **42**(3): 208-213.

Shemesh, H. , Wesselink, P. R. , Wu, M. K. (2010). "Incidence of dentinal defects after root canal filling procedures." *International endodontic journal* **43**(11): 995-1000.

Sobhi, M. B. , Khan, I. (2003). "Penetration depth of nickel titanium and stainless steel finger spreaders in curved root canals." *Journal of the college of physicians and surgeons--Pakistan : JCPSP* **13**(2): 70-72.

Sonntag, D. , Ott, M. , Kook, K. , Stachniss, V. (2007). "Root canal preparation with the NiTi systems K3, Mtwo and ProTaper." *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* **33**(2): 73-81.

Souza, E. M. , Wu, M-K. , van der Sluis, L. W. , Leonardo, R.T. , Bonetti-Filho, I. & Wesselink, P. R. (2009). „Effect of filling technique and root canal area on the percentage of gutta-percha in laterally compacted root fillings“. *International endodontic journal* **42**, 719-726.

Literaturverzeichnis

Spangberg, L. S. , Barbosa, S. V. , Lavigne, G. D. (1993). "AH 26 releases formaldehyde." *Journal of endodontics* **19**(12): 596-598.

Stewart, G. G. (1958). "A comparative study of three root canal sealing agents." *Oral surgery, oral medicine, & oral pathology* **11**(10): 1174-1178 concl.

Stock, C. , Walker, R. , Gulabivala, K. (2005). *Endodontie*. München, Elsevier GmbH/Urban & Fischer.

Sulz, P. D. (2013). „Technische Qualität von Wurzelkanalfüllungen an geraden simulierten Wurzelkanälen in Abhängigkeit von der Wurzelfülltechnik“. Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Universität Würzburg

Tagger, M. , Katz, A. , Tamse, A. (1994). "Apical seal using the GPII method in straight canals compared with lateral condensation, with or without sealer." *Oral surgery, oral medicine, & oral pathology* **78**(2): 225-231.

Taha, N. A. , Ozawa, T. , Messer, H. H. (2010). "Comparison of three techniques for preparing oval-shaped root canals." *Journal of endodontics* **36**(3): 532-535.

Tasdemir, T. , Yesilyurt, C. , Ceyhanli, K. T. , Celik, D. , Er, K. (2009). "Evaluation of apical filling after root canal filling by 2 different techniques." *Journal (Canadian Dental Association)* **75**(3): 201-201d.

Toure, B. , Boucher, Y. (2013). "Acute apical periodontitis and vertical root fracture of the same tooth: a case report." *Journal of oral science* **55**(2): 187-190.

Tronstad, L. , Barnett, F. , Flax, M. (1988). "Solubility and biocompatibility of calcium hydroxide-containing root canal sealers." *Endodontics and dental traumatology* **4**(4): 152-159.

VDW GmbH München. GuttaMaster® Anwenderkarte, unter: <http://www.vdw-dental.com/fileadmin/redaktion/downloads/dfu/hb-GuttaMaster-Anwenderkarte.pdf>

(abgerufen am 28.04.2015)

Literaturverzeichnis

Vera, J. , Siqueira, J. F., Jr. , Ricucci, D. , Loghin, S. , Fernandez, N. , Flores, B. , Cruz, A. G. (2012). "One- versus two-visit endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: a histobacteriologic study." *Journal of endodontics* **38**(8): 1040-1052.

Vertucci, F. J. , Haddix, J. E. , Britto, L. R. (2006). *Tooth Morphology and Access Cavity Preparation. Pathways of the Pulp*. 9. Cohen, S. , Hargreaves, K.M. St. Louis, Missouri, Mosby Elsevier: 149.

Walia, H. M. , Brantley, W. A. , Gerstein, H. (1988). "An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files." *Journal of endodontics* **14**(7): 346-351.

Wennberg, A. , Ørstavik, D. (1990). "Adhesion of root canal sealers to bovine dentine and gutta-percha." *International endodontic journal* **23**(1): 13-19.

Wiener, B. H. , Schilder, H. (1971). "A comparative study of important physical properties of various root canal sealers. II. Evaluation of dimensional changes." *Oral surgery, oral medicine, & oral pathology* **32**(6): 928-937.

Wilcox, L. R. , Roskelley, C. , Sutton, T. (1997). "The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture." *Journal of endodontics* **23**(8): 533-534.

Wilson, B. L. , Baumgartner, J. C. (2003). "Comparison of spreader penetration during lateral compaction of .04 and .02 tapered Gutta-percha." *Journal of endodontics* **29**(12): 828-831.

Wu, M.-K. , Bud, M. G. , Wesselink, P. R. (2009). "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 surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontology* **108**(6): 946-951.

Wu, M. K. , De Gee, A. J. , Wesselink, P. R. (1994). "Leakage of four root canal sealers at different thickness." *International endodontic journal* **27**(6): 304-308.

Wu, M. K. , Kast'akova, A. , Wesselink, P. R. (2001). "Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars." *International endodontic journal* **34**(6): 485-491.

Literaturverzeichnis

Wu, M. K. , Kontakiotis, E. G. , Wesselink, P. R. (1998). "Decoloration of 1% methylene blue solution in contact with dental filling materials." *Journal of dentistry* **26**(7): 585-589.

Wu, M. K. , Özok, A. R. , Wesselink, P. R. (2000). "Sealer distribution in root canals obturated by three techniques." *International endodontic journal* **33**(4): 340-345.

Wu, M. K. , Wesselink, P. R. (1993). "Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance." *International endodontic journal* **26**(1): 37-43.

Wu, M. K. , Wesselink, P. R. (2001). "A primary observation on the preparation and obturation of oval canals." *International endodontic journal* **34**(2): 137-141.

Younis, O. , Hembree, J. H. (1976). "Leakage of different root canal sealants." *Oral surgery, oral medicine, & oral pathology* **41**(6): 777-784.

Zaslansky, P. , Fratzl, P. , Rack, A. , Wu, M. K. , Wesselink, P. R. , Shemesh, H. (2011). "Identification of root filling interfaces by microscopy and tomography methods." *International endodontic journal* **44**(5): 395-401.

Anhang

Urheberrechtshinweis

Alle Abbildungen und Grafiken in der vorliegenden Arbeit sind eigene Abbildungen und Grafiken.

Verzeichnis der verwendeten Materialien und Geräte

Apparate / Geräte / Maschinen

Auflichtmikroskop: LEICA EZ 4D	(Leica Microsystems GmbH - D-35578 Wetzlar)
Biegebalkensensor 0180	(Burster Präzisionsmechanik GmbH & Co. KG - D-76593 Gernsbach)
Endomotor: VDW.Silver® REF V04 1163 000 000	(VDW GmbH - D-81709 München)
Kunststoffblöcke: Endotrainer A-ETE-20	(Frasaco GmbH - D-88069 Tettnang)
Nass-Schleifmaschine	(EXAKT Apparatebau GmbH & Co. KG - D-22851 Norderstedt)
Röntgensensor: CCX digital	(Trex-Trophy Radiology Inc. - F-77437 Marne-la-Vallée)
Trennbandsäge	(EXAKT Apparatebau GmbH & Co. KG - D-22851 Norderstedt)
Ultraschallgerät	(Satelec-Pierre Rolland GmbH - D-40822 Mettmann)
Universalfräsmaschine Hermle UWF 902 H	(Hermle AG – D - 78559 Gosheim)

EDV (Software)

Digivision 2008 Version 1.0.0	(Burster Präzisionsmechanik GmbH & Co. KG - D-76593 Gernsbach)
-------------------------------	--

Anhang

Microsoft Excel®	(Microsoft Deutschland GmbH - D-85716 Unterschleißheim)
Sigma Scan Pro 5	(Systat Software Inc. - USA- 60606 Chicago, IL)
SPSS 18.0	(SPSS Inc. -USA- 60606 Chicago, IL)

Wurzelkanalinstrumente

Fingerspreader ABCD REF 22548	(Dentsply Maillefer - CH-1338 Ballaigues)
IRR-Feile 20-21 F 43 807	Acteon GmbH - D-40822 Mettmann)
K-Flexofiles REF A012C 025 900 00	(Dentsply Maillefer - CH-1338 Ballaigues)
Mtwo® NiTi REF 239 000 000	(VDW GmbH - D-81709 München)
NiTi Fingerspreader REF V04 0392 025 015	(VDW GmbH - D-81709 München)
NiTi Fingerspreader REF V04 0392 025 020	(VDW GmbH - D-81709 München)
NiTi Fingerspreader REF V04 0392 025 025	(VDW GmbH - D-81709 München)
NiTi Fingerspreader REF V04 0392 025 030	(VDW GmbH - D-81709 München)
Planstopfer RCP 12	(Hu-Friedy - D-78532 Tuttlingen)
Spülkanüle Endo 30G 6031	(Transcodent GmbH & Co. KG - D-24149 Kiel)

Wurzelkanalfüllmaterial

Guttapercha Accessorypoints REF 3003637055	(Dentsply Maillefer - CH-1338 Ballaigues)
Guttaperchaspitzen pink REF 360 154	(Roeko GmbH & Co. KG - D-89129 Langenau)
Guttapercha „Top Color“ REF 365 196	(Roeko GmbH & Co. KG - D-89129 Langenau)

Anhang

Guttamaster® Kit REF 501 000 000	(VDW GmbH - D-81709 München)
Mtwo® Guttapercha REF 220	(VDW GmbH - D-81709 München)
Papierspitzen REF 344 896	(Roeko GmbH & Co. KG - D-89129 Langenau)
Sealer AH Plus	(Dentsply De-Trey GmbH - D-78467 Konstanz)

Sonstige Materialien

Endo-Gleitgel: Filecare	(VDW GmbH - D-81709 München)
Epoxid-Einbettkunststoff: ARALDITE CW 2215	(Ciba SC GmbH - D-79664 Wehr)
Objektträgerplatte 50x100x2 mm	(EXAKT Apparatebau GmbH & Co. KG - D-22851 Norderstedt)
SiC-Nassschleifpapier	(Struers Inc. - USA - Westlake, Cleveland, OH)
Silikon Abformmasse: Silaplast Futur	(Detax - D-76256 Ettlingen)

Anhang

Danksagung

Für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie die hervorragende fachliche Betreuung gilt ein ganz besonderer Dank Priv.-Doz. Dr. Norbert Hofmann.

Abschließend möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Anhang

Curriculum vitae

Matthias Stanislawiak

geboren	30.12.1984 in Köthen (Anhalt)
1995 – 2004	Ludwigsgymnasium in Köthen (Anhalt)
06/2004	Allgemeine Hochschulreife
07/2004 – 03/2005	Grundwehrdienst im Sanitätsregiment der Bundeswehr in Weißenfels
04/2005 – 06/2010	Studium der Zahnmedizin an der Julius-Maximilians- Universität Würzburg
06/2010	Staatsexamen und zahnärztliche Approbation