

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

Direktor: Professor Dr. med. dent. B. Klaiber

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

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von
Patrick Denis Sulz
aus Albstadt

Würzburg, Oktober 2013

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

Korreferent: Prof. Dr. rer. nat. Kathleen Wermke

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 20.03.2014

Der Promovend ist Zahnarzt

In Dankbarkeit meinen Eltern gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Historische Entwicklung der Endodontie	1
1.2 Die Wurzelkanalfüllung.....	5
1.2.1 Wurzelkanalfüllung mit lateraler Verdichtung.....	7
1.2.2 Wurzelkanalfüllung mit Einstifttechnik	9
1.2.3 Vertikale Verdichtung	10
1.2.4 Thermomechanische Verdichtung.....	11
1.2.5. Thermoplastische Techniken mit Trägersystem.....	11
1.3. Problemstellung	12
2. Material und Methode	14
2.1 Wurzelkanalmodelle	14
2.2 Wurzelkanalaufbereitung.....	14
2.3 Einteilung der Versuchsgruppen.....	15
2.4 Wurzelkanalfüllung	16
2.4.1 Sealer	16
2.4.2 Vorgehen bei der Wurzelkanalfüllung	16
2.5 Verfahren zur Standardisierung	18
2.5.1 Ende des Wurzelkanals.....	18
2.5.2 Normierung der vertikalen Kräfte	18
2.6 Untersuchungen	19
2.6.1 Vorbereitende Maßnahmen	19
2.6.2 Schleifen der Proben.....	19
2.6.3 Mikroskopische Aufnahmen.....	20
2.6.4 Digitale Vermessung der Schliffbilder	20
2.7 Statistische Auswertungsmethoden	21
3. Ergebnisse	22
3.1 Kraftmessung	22
3.2 Auswertung	24
3.2.1 Schliffbilder	24
3.2.1.1 Kalt-laterale Verdichtung (ISO-Normierung).....	24

3.2.1.2	Kalt-laterale Verdichtung (herstellereigene Kodierung).....	26
3.2.1.3	Warm-vertikale Verdichtung (trägerbasiertes System).....	28
3.2.1.4	Zentralstifttechnik	30
3.2.2	Anzahl Hilfsspitzen	32
3.2.3	Flächenanteil Guttapercha und Obturator.....	33
3.2.4	Flächenanteil Sealer.....	36
3.2.5	Anteil Defekte.....	38
3.2.6	Einteilung der Defekte.....	40
4.	Diskussion.....	43
4.1	Methodenkritik.....	45
4.2	Ergebniskritik.....	46
4.3	Schlussfolgerung.....	50
5.	Zusammenfassung	52
6.	Literaturverzeichnis	55
7.	Anhang.....	60
7.1	Herstellerverzeichnis	60
	Danksagung.....	61
	Lebenslauf	63

1. Einleitung

1.1 Historische Entwicklung der Endodontie

Zahnerhaltende und endodontische Maßnahmen haben in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Verantwortlich dafür ist neben technischen Neuerungen in diesem Fachgebiet auch der zunehmende Wunsch des Patienten, eigene Zähne aus ästhetischer, funktioneller und ökonomischer Sicht immer länger zu erhalten. Durch das Bestreben der modernen Zahnmedizin, diesen Forderungen gerecht zu werden, bekommt vor allem die Endodontologie eine immer wichtigere Rolle und die Anzahl der in Deutschland durchgeführte endodontischen Behandlungen nimmt beständig zu (KZVB 2007).

Die Endodontologie hat sich heutzutage als eigenständiger wissenschaftlicher Bereich in der Zahnheilkunde etabliert, der seinen Aufgabenbereich folgendermaßen definiert:

„Die Endodontologie kann als derjenige Zweig der zahnärztlichen Wissenschaft und Praxis definiert werden, der sich mit Form, Funktion und Gesundheit der Pulpa und der periradikulären Gewebe befasst. Sie widmet sich ferner der Verletzung und Erkrankung beider Gewebe, deren Prävention und Behandlung. Ätiologie und Diagnose des Zahnschmerzes und dentaler Erkrankungen sind integraler Bestandteil der endodontischen Behandlung (Europäischen Gesellschaft für Endodontologie (ESE) 1994).

Eine dermaßen prägnante Zielsetzung ist das Ergebnis eines langen und des Öfteren auch von Irrtümern geleiteten Prozesses, der seine Anfänge bereits in der Zeit um 460 v.Chr. hat. Zu dieser Zeit ist in Hippokrates Werk „De affectionibus“ ein erster Anhaltspunkt zu finden, in dem als Alternative zur Extraktion ein Ausbrennen der Pulpa empfohlen wird (Lässig 1983, Hülsmann 2008, Hoffmann-Axthelm 1985).

Auch andere Größen der frühen Medizin wie Archigenes von Syrien (98-117 n.Chr.) oder Galen (131-201 n.Chr.), sehen bezüglich der Therapie des Zahnschmerzes die Notwendigkeit eines Zugangs zum Pulpacavum mittels kleinem Bohrer und anschließender Schmerzbehandlung, was damals hieß: Ausbrennen des Gewebes mit

trocken erhitzten oder in heißes Öl getauchten Sonden (Hoffmann-Axthelm 1985, Hülsmann 2008).

Kurioses wurde im Paris des 17. Jahrhunderts praktiziert: Dort empfiehlt Dupont in einer 1647 erschienenen, gleichnamigen Schrift: „Die Extraktion und anschließende Reimplantation schmerzender Zähne“. Durch das Abreißen des Gefäß-Nerven-Stranges komme es zur Schmerzbefreiung mit anschließender Wiederbefestigung der Zähne. Gegen diese Methoden machte jedoch bereits 1802 Laforgue berechnete Bedenken geltend, und 1843 sprach sich Désirabode entschieden gegen ein solches Vorgehen aus. Er bestand weiterhin auf den Gebrauch des „cauterium actuale“, dem Ausbrennen der Pulpa (Hoffmann-Axthelm 1985, Hülsmann 2008, Strübig 1989).

Diese Technik wich zu Beginn des 19. Jahrhunderts immer mehr dem „cauterium potentiale“, welches ein Abtöten der Pulpa durch chemische Substanzen vorsah. Vorreiter war dabei der Kanadier John Roach Spooner (1794-1838), der 1836 erstmalig arsenige Säure zur Devitalisation der Pulpa einsetzte. Hauptproblem zur damaligen Zeit war neben der Dosierung von Arsenik und Morphin vor allem die Opiat-assoziierten Nebenwirkungen. Erst Anfang des 20. Jahrhunderts bekam man durch die Einführung des Arsenersatzmittels Paraformaldehyd eine Handhabe gegen dieses Problem (Strübig 1989, Hoffmann-Axthelm 1985, Hülsmann 2008, Lässig 1983).

Erste wirklich fundierte wissenschaftliche Ansätze zeigen sich, als Carabelli (1787-1842) in seinem „Systematischen Handbuch der Zahnheilkunde“ eine Abhandlung über die genaue Anatomie der Wurzelkanäle, deren Zahl und Verlauf sowie des Weiteren der Gestalt der Pulpahöhle schrieb (Strübig 1989). Zu selben Zeit berichtet Fauchard in seinem 1756 erschienenen Werk „Le chirurgien dentiste“ über geeignete Werkzeuge zur instrumentellen Entfernung des im Zahn befindlichen Gewebes. Die Entwicklung des ersten brauchbaren Wurzelkanalinstruments wird jedoch Edwin Maynard (1813-1891) zugeschrieben, der 1838 aus einer Uhrfeder, welche er seitlich mit Einkerbungen versah, eine Exstirpationsnadel zur Entfernung der Pulpa konstruierte.

Die ersten Wurzelfüllungen sollen bereits 1809 von Edward Hudson (1772-1833) gelegt worden sein. Er verwendete wie später Jonathan Taft (1820-1903) und Edwin Maynard gerollte Goldfolie zur Wurzelfüllung, ein Verfahren, das der lateralen Verdichtungstechnik schon sehr nahe kommt. Im Jahre 1867 wurde von Bowman zum

1 Einleitung

ersten Mal Guttapercha zur Wurzelkanalfüllung verwendet (Hülsmann 2008, Strübig 1989, Hoffmann-Axthelm 1985).

Bedingt durch die Erkenntnisse auf dem Gebiet der Bakteriologie in den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts und damit der Erkenntnis, dass Bakterien für die Infektion des Wurzelkanalsystems verantwortlich sind, begann eine neue Ära in der endodontischen Therapie. Das Hauptaugenmerk wurde auf antiseptisches Arbeiten und die Desinfektion des Wurzelkanals gelegt.

Einer der Grundsteine, die Antiseptik überhaupt erst ermöglichten, war unter anderem der bereits 1864 von S. C. Barnum eingeführte Kofferdam zur Isolierung einzelner Zähne gegenüber der Mundhöhle (Hülsmann 2008, Heidemann 2001).

In Deutschland trat Adolf Witzel (1847-1906) im Jahre 1874 für ein grundlegendes System der Pulpabehandlung ein, welches ein Abtöten der Kronenpulpa mittels Arsen, ihre Entfernung und ihren Ersatz durch eine 20%ige Sublimat- oder Iodoform-Zementpaste vorsah. Die nun antiseptischen Wurzelpulpen seien eine weit bessere Wurzelfüllung als die mangelhaft eingebrachten Gold- oder Zinnfüllungen. Andernorts entwickelten sich teilweise äußerst rigide Desinfektionsmethoden, wie z.B. von Emil Schreier 1892 in Wien. Dieser brachte metallisches Natrium und Kalium in den Kanal ein, welches daraufhin beides unter Sauerstoff heftigst oxidierte (Hoffmann-Axthelm 1985, Hülsmann 2008).

Anfang des 20. Jahrhunderts kamen nach und nach die uns heute bekannten Stoffe zur Wurzelkanalreinigung bzw. Desinfektion auf. Alfred Gysi (1865-1957) verwendete zur Desinfektion Wasserstoffperoxid und brachte 1905 seine „Triopaste“ aus Paraformaldehyd, Trikresol und Kreolin zur Pulpamumifikation auf den Markt (Hoffmann-Axthelm 1985, Strübig 1989, Baumann 2002). Natriumhypochlorit, vermarktet unter dem Namen „Dakin'sche Lösung“, wurde von Henry Dakin zur Wurzelkanalspülung verwendet, nachdem er während des ersten Weltkrieges gute Erfahrungen bei der Wunddesinfektion mit Natriumhypochlorit gemacht hatte. Die Kombination von NaOCl und H₂O₂ als sog. Wechselspülung wurde 1943 von Grossman unter dem Aspekt gelobt, dass die sprudelnde Wirkung des frei werdenden Sauerstoffes Debris noch besser aus dem Kanal entfernen soll.

Wesentlich effektiver gelang dies jedoch mit dem im Jahre 1957 von Per Nygaard-Ostby vorgestellten Chelator EDTA. Dieser ermöglicht durch seine Eigenschaft als Komplexbildner ein sehr gutes Entfernen des „Smear layers“ im Kanal und in Kombination mit NaOCl dessen Reinigung und Desinfektion (Baumann 2002, Grossman 1974).

Bezüglich der verwendeten Wurzelkanalinstrumente fanden in den letzten 100 Jahren elementare Veränderungen statt. Nachdem Matthew M. Kerr im Jahre 1915 seine „K-Feile“ aus Carbon-Stahl fertigte, führte Binder 1958 Instrumente aus rostfreiem Edelstahl ein. Im Jahre 1974 erfolgte die generelle ISO Normierung der Aufbereitungsinstrumente und ab 1988 verwendete Saloni Walia Instrumente aus Nickel-Titan-Legierungen. In Kombination mit der mittlerweile sehr zuverlässigen elektronischen Längenbestimmung und der Detailtreue moderner, strahlungsarmer Röntgengeräte ist sogar die Aufbereitung stark gekrümmter Kanäle ein Behandlungsschritt mit kalkulierbarem und effektivem Ergebnis (Hülsmann 2008, Baumann 2002).

Für den Einsatz von Laser, Schall bzw. Ultraschall zur Wurzelkanalaufbereitung gibt es trotz großen Interesses und rasender Entwicklung auf diesen Gebieten noch keine wirklich praxistauglichen Konzepte (Baumann 2002).

Hinsichtlich des Verfahrens zur Wurzelfüllung stehen sich seit Ende des 19. Jahrhunderts zwei Lehrmeinungen gegenüber: die „aseptische“ Methode, bei der nur Guttaperchastifte ins Kanallumen eingebracht werden und das „antiseptische“ Verfahren, bei dem mit Desinfizienzen versehene Pasten den Wurzelkanal ausfüllen. Heutzutage stehen zusätzlich mit Antibiotika versetzte Präparate sowie neben Guttapercha und Zinkoxid noch die Kunststoffe zur Verfügung (Hoffmann-Axthelm 1985).

Im Bereich der Wurzelfülltechniken gilt nach wie vor die Technik der kalt lateralen Verdichtung als Goldstandard, obwohl die Industrie auch auf diesem Gebiet ständig Neuentwicklungen vermarktet. Diese neuen Techniken verwenden entweder analog zu obig genanntem Verfahren kalte Guttapercha, oder machen oder sich aber das plastische Verhalten der Guttapercha bei Erwärmung zu Nutzen.

Ebenso werden nach wie vor ergänzend Wurzelfüllpasten als zusätzliches Material bei der Wurzelkanalfüllung verwendet. Ihr ursprünglicher Zweck war es, Inhomogenitäten zwischen der festen Guttapercha und der Kanalwand auszugleichen, was aber angesichts der neueren, thermoplastischen Verfahren immer mehr in Frage gestellt wird. Neben den Klassikern auf Eugenol- oder Kalziumhydroxidbasis treten immer mehr Sealer auf Basis von Epoxiden, Methacrylaten oder Silikonen in den Vordergrund (Baumann 2002, Hülsmann 2008).

Da die Qualität der Wurzelfüllung für die Langzeitstabilität einen ebenso hohen Stellenwert besitzt wie die gesamten, im Behandlungsprotokoll vorab geleisteten Schritte und die Grundlage der vorliegenden Arbeit darstellt, ist eine differenziertere Betrachtung notwendig.

1.2 Die Wurzelkanalfüllung

„Ziel einer jeden Fülltechnik sollte eine biokompatible, hermetisch dichte Wurzelkanalfüllung sein, die das aufbereitete Kanallumen von der Pulpakammer bis zum apikalen Endpunkt verschließt“ (Europäischen Gesellschaft für Endodontologie (ESE) 1994). Dies soll laut ESE die Passage von Mikroorganismen und Flüssigkeiten entlang des Wurzelkanals ausschließen und das gesamte Kanalsystem inklusive akzessorischer Nebenkanäle suffizient verschließen.

Zum Verschluss des Kanalsystems hat sich die im Jahr 1867 von G. A. Bowman eingeführte Guttapercha als weit verbreiteter Standard etabliert und wurde auch noch durch kein besseres Material abgelöst (Rudolf Beer *et al.* 2004).

Guttapercha wird aus dem Milchsaft des Guttaperchabaumes (*Palaquium gutta*) hergestellt. Auf molekularer Ebene besteht Guttapercha aus langkettigen Molekülen, dem Trans-Isomer des Polyisoprens. Die α -Form ist hauptsächlich im reinen Saft enthalten und gibt diesem die fließfähigen Eigenschaften, während die β -Form die Grundlage für die zahnärztlichen Guttapercha-Stifte darstellt.

Zahnärztliche Guttapercha enthält zur Modulation ihrer Eigenschaften diverse Zusätze wie etwa Metalle zur Röntgenopazität, Harze und Wachse als Weichmacher sowie Farbpigmente und einen großen Anteil Zinkoxid als Füllstoff. Die Menge und

Mischung der Materialien und damit auch die endgültigen spezifischen Eigenschaften sind dabei von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich (Heidemann 2001).

Trotz der heute weit fortgeschrittenen Entwicklungen auf dem Gebiet der Guttapercha kann bei der Wurzelkanalfüllung nicht auf die ergänzende Verwendung von Wurzelfüllpasten verzichtet werden (Limkangwalmongkol *et al.* 1991). Diese so genannten „Sealer“ haben die Aufgabe, Hohlräume zwischen Füllungsstiften und der Kanalwand oder Seitenkanäle auszufüllen und somit die Bildung von Lufteinschlüssen und Inhomogenitäten zu vermeiden (Guldener & Langeland 1982, Tronstad 1991, Schäfer 2003).

Grundlegende Anforderung an all diese Wurzelfüllpasten ist zunächst ihre Biokompatibilität, weshalb paraformaldehyd- und/oder kortikosteroidhaltige Pasten aufgrund ihrer lokalen und systemischen Nebenwirkungen mittlerweile als obsolet gelten (DGZ/DGZMK 2000, Europäischen Gesellschaft für Endodontologie (ESE) 1994, DGZMK und DGZ 1998, DGZ/DGZMK 1998, 1997).

Weitere wünschenswerte Eigenschaften sind die Unlöslichkeit im Flüssigkeitsmilieu des Körpers und vor allem die Haftung am Dentin, was für die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung von besonderer Bedeutung ist. Hinsichtlich dieser Kriterien zeigt sich eine deutliche Überlegenheit der Materialien auf Epoxidharzbasis, welche eine nur geringe Löslichkeit, aber eine hohe Haftung am Dentin aufweisen. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass unerwünschte lokale oder systemische Nebenwirkungen vernachlässigbar sind (Schäfer 2000).

Dieser Gruppe gehört auch der AH-Plus® Sealer (DeTrey Dentsply) an.

Weiteres großes Problem bei der ergänzenden Verwendung von Wurzelkanalfüllpasten ist deren Abbindekontraktion und die damit verbundene Entstehung von Defekten. Materialien auf Zinkoxid-Eugenol-Basis weisen beispielsweise eine relativ hohe Volumenkontraktion im Bereich von 0,3% bis 1% auf, was zwangsläufig Undichtigkeiten zur Folge hat. Sealer auf Epoxidharzbasis, wie AH-Plus® (DeTrey Dentsply), liefern durch geringere Volumenschrumpfung durchweg bessere Ergebnisse (Wu *et al.* 1995, Wu *et al.* 1994, De Deus *et al.* 2006a).

1.2.1 Wurzelkanalfüllung mit lateraler Verdichtung

Die Technik der lateralen Verdichtung gilt heutzutage bei konisch, nach der Step-back-Technik oder vergleichbar aufbereiteten Wurzelkanälen als Methode der Wahl.

Auf diese Weise soll eine Wurzelfüllung geschaffen werden, die aus möglichst viel Guttapercha und möglichst wenig Sealer besteht (Kontakiotis *et al.* 1997, Wu *et al.* 1994), was in den oben genannten Nachteilen bei der Verwendung von Wurzelkanalfüllpasten begründet ist.

Die klinische Vorgehensweise erfordert zuerst die Anpassung eines an der apikalen Aufbereitung bemessenen Guttaperchastiftes, des so genannten Mastercones. Dieser sollte 0,5 Millimeter über der apikalen Konstriktion enden und „tug-back“, d.h. Klemmpassung aufweisen. Nächster Schritt ist die Applikation von Sealer in den Wurzelkanal. Dies erfolgt mithilfe einer Papierspitze oder einem Aufbereitungsinstrument, welches sparsam mit Sealer beschickt, frei im Kanal rotiert wird. Applikationssysteme wie etwa Lentulo oder Spritzensysteme erscheinen im Angesicht der Forderung nach einem möglichst geringen Sealeranteil an der Wurzelfüllung und der Gefahr des Überpressens von Sealer nach periapikal ungeeignet (Hülsmann 2008, Jeffrey *et al.* 1986, Hön *et al.* 1988).

Der vorab angepasste Mastercone wird nun lediglich an der Spitze mit Sealer bestrichen und in den mit Sealer benetzten Wurzelkanal bis auf Arbeitslänge eingeführt. Anschließend erfolgt die Verdichtung des Materials durch sog. „Spreader“ oder „Plugger“. Dabei werden von unterschiedlichen Herstellern Variationen hinsichtlich Form und Material angeboten, was sich nachweislich auf die Qualität der Füllung auswirkt. So ist mittlerweile unumstritten, dass Fingerspreader sowohl was die Qualität der Füllungen (Simons *et al.* 1991, Jerome *et al.* 1988), als auch die Gefahr, Wurzelfrakturen zu verursachen (Lertchirakarn *et al.* 1999), bessere Ergebnisse als Handspreader liefern. Hinsichtlich der Materialauswahl sehen diverse Autoren mittlerweile einen Vorteil von Nickel-Titan-Legierungen gegenüber Stahl-Instrumenten. Nickel-Titan-Instrumente folgen vor allem in gekrümmten Kanälen besser der Wurzelkanalkrümmung (Sobhi & Khan 2003, Schmidt *et al.* 2000, Wilson & Baumgartner 2003, Berry *et al.* 1998) und erzeugen dabei insgesamt geringere, schädigende Kräfte (Gharai *et al.* 2005), welche sich zudem besser auf die Kanalwand verteilen (Joyce *et al.* 1998).

Bezüglich der Spreader- und Hilfsspitzenform stehen dem Anwender zum einen Spreader und Hilfsspitzen, welche in Konizität und Durchmesser des Arbeitsteilendes der ISO-Normierung für Wurzelkanalinstrumente entsprechen, sowie herstellernormte Spreader und Hilfsspitzen (A,B,C,D: Maillefer; xx-fine, x-fine, fine, medium, large: DeTrey), die eher konisch gestaltet sind, zur Verfügung. Hinsichtlich der Frage, welche Kombination aus Fingerspreadern und Hilfsspitzen zum besten Füllungsergebnis führt, ergibt sich bisher aus der Literatur keine klare Tendenz.

Gani stellt für die Verwendung von ISO-codierten Spreadern und Hilfsspitzen einen höheren Anteil an Guttapercha fest als für die Kombination aus konischen, herstellernormten Fingerspreadern und Hilfsspitzen (A, B, C, D: Maillefer) (Gani *et al.* 2000). Jerome erkennt in seinen Versuchen ein besseres Füllungsergebnis für die Verwendung von ISO-30-codierten Fingerspreadern und ISO-25-codierten Hilfsspitzen, als für die Kombination aus ISO-codierten Spreadern und herstellernormten Hilfsspitzen (fine, medium) (Jerome *et al.* 1988). Die Kombination von herstellernormten „fine“- bzw. „fine-medium“ Spreadern und Hilfsspitzen der Größe ISO-25 liefert ein schlechteres Füllungsergebnis als die Kombination der obigen genannten Spreader mit Hilfsspitzen der Normierung „fine“ und „fine-medium“ (Gound *et al.* 2001). Insgesamt legen die Ergebnisse jedoch die Vermutung nahe, dass die Kombination aus konischem Spreader und schmaler Hilfsspitze bessere Resultate liefern als umgekehrt. Dies deckt sich mit den Erfahrungen von Heidemann, der das Problem bei konischen, nicht-ISO-genormten Hilfsspitzen vor allem in der Tatsache sieht, dass durch die konische Form der Kanaleingang schnell verschlossen würde, auch wenn der Wurzelkanal selbst noch nicht zur Genüge mit Guttapercha gefüllt sei (Heidemann 2001), bzw. dass in einem durch einen schmalen Spreader erweiterten Hohlraum eine konische Spitze nur insuffizient nachgeführt werden kann.

Über die Frage wie tief der Fingerspreader während des ersten Verdichtungsvorgangs in den Kanal eingeführt werden soll, bestehen unterschiedliche Ansichten: Tronstad fordert, den Spreader optimalerweise bis ans apikale Ende des Mastercones vorzuschieben (Tronstad 1991); andere Autoren gehen von einer Penetrationstiefe von 1mm bis 2mm vor Aufbereitungsende aus (Baumann & Beer 2007). Diese Vorgaben einzuhalten, gestaltet sich erfahrungsgemäß in der Praxis äußerst schwierig.

Ist die entsprechende Tiefe erreicht, wird die Guttapercha unter dosiertem Druck nach lateral an die Kanalwand gedrückt. Nach kurzem Verweilen wird der Spreader aus dem Kanal entfernt und ein mit Sealer beschickter Guttaperchastift, die so genannte Hilfsspitze, entsprechend der Größe des Spreaders in den Kanal eingeführt (Wu *et al.* 1995). Der Verdichtungs- und Füllungsvorgang wird sooft wiederholt, bis sich ein kleiner Spreader nur noch etwa 3mm bis 4mm in den Kanal einführen lässt (Baumann & Beer 2007). Es ist dabei strikt darauf zu achten, die vertikal gerichtete Kraft bei der Verdichtung auf Werte zwischen 8N und 10N zu begrenzen (Holcomb *et al.* 1987, Blum *et al.* 1997), da bereits Kräfte ab 15N ausreichen, um Wurzelfrakturen zu verursachen (Pitts *et al.* 1983). Ist der Füllungsvorgang beendet, werden die Guttaperchastifte abschließend mit einem heißen Instrument abgeschmolzen (Hellwig *et al.* 2003).

1.2.2 Wurzelkanalfüllung mit Einstifttechnik

Bei dieser Spielart der Wurzelkanalfüllung kommt nur ein einzelner Guttaperchastift, der zuvor mit Sealer benetzt wurde, zum Einsatz. Dieser wird in den Kanal eingeführt, welcher wie bereits bei der lateralen Verdichtung beschrieben, zur Aufnahme des Guttaperchastiftes vorbereitet wurde. Der Sealer dient wie obig beschrieben dem „Auffüllen“ der Inhomogenitäten zwischen Kanalwand und des Guttaperchastiftes, was bei dem sog. „single-cone“ von besonderer Wichtigkeit ist, da dieser den alleinigen Guttaperchaanteil im Kanal darstellt.

Für dieses Verfahren ganz besonders wichtig ist dabei, auf eine möglichst standardisierte Aufbereitungsmethode zu achten, sodass die Formgebung – zumindest in den apikalen Millimetern – möglichst identisch dem gewählten Guttaperchastift entspricht. Ziel dieser Technik ist neben einem vergleichbar guten Füllungsergebnis wie bei den obig genannten Füllungstechniken vor allem die Zeitersparnis und eine Reduktion des Arbeitsaufwandes (R. Beer & Steier 2006).

Diverse Hersteller bieten analog zu ihren Aufbereitungsinstrumenten speziell auf deren Konizität und Durchmesser abgestimmte Guttaperchastifte, was der Füllungsqualität zuträglich sein soll. Beispiele hierfür sind das Protaper® Universal System (Dentsply Maillefer) oder das Mtwo® Niti-System und die dazu passende Mtwo® alpha® Guttaperchspitzen (VDW GmbH)

Nach der Aufbereitung des Wurzelkanals und der Anpassung der nach ihrem apikalen Durchmesser ISO genormten Guttapercha wird der Guttaperchastift von allen Seiten mit Sealer beschickt und in den nach obiger Beschreibung vorbereiteten Wurzelkanal eingebracht. Anschließendes Abschmelzen der Überschüsse und moderates Verdichten von koronal beenden den Füllungsvorgang. (Heidemann 2001, Hülsmann 2008, VDW 2009)

1.2.3 Vertikale Verdichtung

Das Hauptproblem der bereits beschriebenen Füllungstechniken liegt darin, dass nur der „Hauptkanal“ einer Zahnwurzel mit Guttapercha gefüllt wird. Demgegenüber werden Nebenkanäle und akzessorische Seitenkanäle entweder überhaupt nicht oder allenfalls durch den Sealer gefüllt. Diese Nebenräume können, bedingt durch ihre schlechte Zugänglichkeit für Spüllösungen, Verweilort für Bakterien sein und damit möglicherweise eine Quelle für Reinfektionen. Diese Problematik wurde schon 1967 durch Herbert Schilder in seiner Publikation „Filling Root Canals in Three Dimensions“ (Schilder 1967) thematisiert. Damit verbunden stellte er als erster die Technik der vertikalen Verdichtung vor, wo versucht wird, durch Erwärmen und Verdichten der plastisch werdenden Guttapercha dem allumfassenden Abfüllen des Wurzelkanalsystems gerecht zu werden.

Nach Schilder wird zunächst ein bis zum Kanaleingang gekürzter Mastercone in den mit Sealer beschickten Wurzelkanal eingeführt. Dann folgt das sog. „down packing“, die durch Hitzeträger erwärmte Guttapercha wird mit kalten Pluggern nach apikal verdichtet und so das apikale Wurzelkanaldrittel gefüllt. Daraufhin beginnt die Phase des „back packing“, in der sukzessive das mittlere und koronale Wurzel Drittel gefüllt werden. Entscheidend bei der „Schilder-Technik“ ist das Verdichten warmer Guttapercha, welche durch den ausgeübten Druck auch in laterale Seitenkanäle gedrückt wird. (Hellwig *et al.* 2003).

Eine spätere Modifikation der vertikalen Verdichtungstechnik ist die sog. „continuous wave of obturation“ Technik, welche 1987 durch Buchanan vorgestellt wurde (Buchanan 1994, 1996). Dabei wird ein sorgfältig angepasster Guttaperchastift durch elektrisch „heizbare“ Plugger in einem Schritt bei ca. 200°C erwärmt und nach apikal verdichtet. Der „Heatplugger“ soll nach der Originalbeschreibung bis auf 5mm vor

Arbeitslänge, nach anderen Beschreibungen auf drei bis vier Millimeter vor den Apex vorgeschoben werden. Die Erwärmung und Verdichtung soll dabei trotzdem bis zum Apex reichen.

Hauptproblem all dieser Techniken ist die große Gefahr der Überpressung von Sealer oder Guttapercha über den Apex hinaus, die Erzeugung sog. „Puffs“. Lange Zeit galten diese Techniken, unter dem Aspekt des hohen Aufwandes und der erreichten Ergebnisse, als eher fragwürdig anzusehen (Hellwig *et al.* 2003). Neuere Langzeitstudien, wie etwa die „Toronto Studie“, liefern jedoch zunehmend Ergebnisse die diesen älteren Thesen widersprechen und ein wesentlich besseres Bild über die Langzeitstabilität, der nach Schilder- oder Buchanan-Technik warm-vertikal verdichteten Füllungen, zeichnen. (Barone *et al.* 2010, Friedman *et al.* 2003, Farzaneh *et al.* 2004, de Chevigny *et al.* 2008).

1.2.4 Thermomechanische Verdichtung

Diese Variante der Wurzelkanalfüllung wurde das erste Mal durch McSpadden beschrieben (McSpadden 1980) und baut auf dem Prinzip der Plastifizierung von Guttapercha durch Reibungswärme. So wird ein spezieller Guttaperchastift in den Wurzelkanal eingebracht und mittels eines Kompaktors bei ca. 10.000 U/min unter leichtem Druck erhitzt. Dadurch gelangt die Guttapercha in ihre plastische Phase und kann über den Kompaktor, der sich wie eine linksdrehende Schraube verhält, nach apikal geschoben bzw. in Seitenkanäle gepresst werden, was gewissermaßen zugleich die Schwachstelle des Systems darstellt: die Tendenz zur Überpressung von Guttapercha über das Foramen apicale hinaus in die periapikale Region.

Die Methode unterlag über die Jahre diverser Modifikationen und Veränderungen, folgt aber nach wie vor dem gleichen Grundprinzip (R. Beer & Steier 2006, Hellwig *et al.* 2003).

1.2.5 Thermoplastische Techniken mit Trägersystem

1978 wurde erstmals eine thermoplastische Technik beschrieben, bei der ein mit Guttapercha beschickter Träger zum Einsatz kam (Johnson 1978).

Grundlegende Idee dieser Systeme ist zum einen die gute manuelle Kontrollierbarkeit, wie sie durch einen Primärstift gewährleistet wird, ergänzt durch die Homogenität thermoplastischer Verfahren.

Ein mit α -Phase Guttapercha ummantelter Träger wird erhitzt und unter gleichmäßigem Druck in den mit Sealer benetzten Wurzelkanal eingeführt. Heutzutage haben Kunststoffträger die ursprünglich verwendeten Metalle wie Edelstahl und Titan abgelöst (R. Beer & Steier 2006).

Zu dieser Kategorie gehören u.a. das Thermafil® System (Dentsply Maillefer) oder das VDW GuttaMaster® System, welche jeweils eine speziell an die Aufbereitung mit Instrumenten der jeweiligen Firmen abgestimmte warm-vertikale Füllmethode für alle Arten von Wurzelkanälen darstellen. Die Grundlage stellt ein konventionell mit Guttapercha ummantelter Kunststoffträger dar, der in einem Spezialofen erwärmt und dann in den dünn mit Sealer ausgestrichenen Wurzelkanal eingebracht wird. Die Obturatorspitzen liegen in den sämtlichen Größen vor, zusätzlich beinhaltet das VDW System sogenannte „Verifier“, die es ermöglichen, vor dem Füllungsvorgang die Aufbereitung hinsichtlich Dimension und Form zu kontrollieren.

1.3. Problemstellung

Die vorliegende Arbeit vergleicht die technische Qualität von Wurzelkanalfüllungen, die unter Verwendung von vier unterschiedlichen Fülltechniken angefertigt wurden, nämlich:

- 1) Laterale Verdichtung unter Verwendung ISO-normierter Fingerspreader und Hilfsspitzen
- 2) Laterale Verdichtung unter Verwendung von Fingerspreadern und Hilfsspitzen stärkerer Konizität (ABCD-Normierung)
- 3) Warm-vertikale Verdichtung unter Verwendung eines trägerbasierten Systems (GuttaMaster®, VDW)
- 4) Zentralstifttechnik

Zur Beurteilung der Wurzelfüllungen wurden Serienschliffe senkrecht zur Wurzellängsachse angefertigt. Als Untersuchungsparameter wurden der prozentuale Anteil von Guttapercha (beim GuttaMaster® System der Anteil von Guttapercha und

1 Einleitung

Obturator), sowie die prozentualen Anteile von Sealer bzw. von Defekten an der Querschnittsfläche des Wurzelkanals bestimmt.

2. Material und Methode

2.1 Wurzelkanalmodelle

Für die Untersuchungen wurden 40 Wurzelkanalmodelle Endo-Trainer A-ETE-0 (Frasaco GmbH) mit geradem Wurzelkanal verwendet. Alle Kanäle waren im Anfangszustand für ein Wurzelkanalinstrument der Größe ISO 15 durchgängig. Die Arbeitslänge definierte sich über den Abstand vom apikalsten Kanalpunkt bis zum Oberrand des Probenblöckchens und betrug im Durchschnitt 18,5mm mit einer Toleranz von $\pm 0,5$ mm.

2.2 Wurzelkanalaufbereitung

Die Aufbereitung der Endo-Trainer Blöckchen erfolgte maschinell mit dem Mtwo® Nickel-Titan Feilensystem (VDW GmbH) sowie dem drehzahl- und drehmomentkontrollierten VDW Silver® Endodontiemotor.

Das VDW Mtwo® Feilensystem wird im Gegensatz zu anderen Nickel-Titan Systemen nicht in crown-down Technik, sondern von der ersten Feile an bis auf Arbeitslänge eingesetzt, der sog. „single-length“ Technik. Der Mtwo Basissatz setzt sich aus insgesamt sieben Feilen mit unterschiedlichem Durchmesser und Konizität zusammen: mit 4% Konizität die ISO Größen 10, 35 und 40, 5% bei ISO-Größe 15 und 30 sowie mit einer Konizität von 6% bei den ISO-Größen 20 und 25. Ist eine besonders konische Aufbereitung erforderlich so steht eine zusätzliche ISO 25 mit 7% Konizität zur Verfügung. Die Instrumente weisen einen s-förmigen Querschnitt mit zwei langen Schneidekanten auf, was einen effektiven Dentinabtrag gewährleistet. Zusätzlich weisen die Feilen einen progressiven Schneidenabstand von der Spitze zum Schaft hin auf, wodurch zum einen der sog. „Einschraubeffekt“ und die Gefahr der Verblockung durch nach apikal transportierten Debris verringert werden soll.

Um Fehlpräparationen oder gar Perforationen des Wurzelkanals zu vermeiden, sind die Arbeitsteile mit einer nicht schneidenden „Batt-Spitze“ versehen.

Nach Abschluss der Aufbereitung wiesen die Wurzelkanäle, entsprechend zur Systematik des Mtwo®-Feilensatzes folgende Werte auf:

- apikaler Durchmesser gemäß MAF 40/4 entsprach ISO 40

- Konizität der Präparation 4% analog zur Feile ISO 40/4

Um Verblockungen durch Kunststoffspäne bei der Aufbereitung zu vermeiden wurden die Kanäle kontinuierlich mit H₂O gespült.

Unterstützend dazu erfolgte die physikalische Aktivierung der Spülflüssigkeit mittels Ultraschall unter Verwendung eines separaten Ultraschallgerätes (Satelec-Pierre Rolland GmbH) mit entsprechenden „Irrisafe“ Arbeitsspitzen der Größe 20/21 (Aceton GmbH)

2.3 Einteilung der Versuchsgruppen

Die Einteilung in Versuchsgruppen erfolgte entsprechend der Verwendung von vier verschiedenen Wurzelkanalfülltechniken. Dabei wurden jeweils 10 der vorab aufbereiteten Wurzelkanalmodelle zufällig in vier Gruppen eingeteilt und von 1 bis 10 durchnummeriert.

Daraus ergab sich:

Versuchsgruppe 1: Kalt-laterale Verdichtung unter Verwendung von ISO-genormter NiTi-Spreadern und Hilfsspitzen [LV-ISO]

Versuchsgruppe 2: Kalt-laterale Verdichtung unter Verwendung von NiTi-Spreadern und Hilfsspitzen größerer Konizität und herstellereigener Kodierung (ABCD) [LV-ABCD]

Versuchsgruppe 3: Warm-vertikale Verdichtung unter Verwendung eines trägerbasierten Systems (GuttaMaster® Obturatorsystem, VDW) [GM]

Versuchsgruppe 4: Zentralstifttechnik [ZS]

2.4 Wurzelkanalfüllung

2.4.1 Sealer

Bei allen Proben wurde der Sealer AH-Plus® (Dentsply DeTrey GmbH) verwendet. Zur Anwendung liegt das Sealermaterial als Zweikomponenten-System auf Epoxid-Amin-Polymer-Basis vor.

Tab. 1. Zusammensetzung AH-Plus® Wurzelkanal-Versiegelungs-Material

AH-Plus Paste A	AH-Plus Paste B
- Bisphenol-A Epoxidharz	- Dibenzyl-Diamin
- Bisphenol-F Epoxidharz	- Aminodiamin
- Calciumwolframat	- Tricyclodecan-Diamin
- Zirkoniumoxid	- Calciumwolframat
- Hochdisperses Siliziumdioxid	- Zirkoniumoxid
- Eisenoxid	- Hochdisperses Siliziumdioxid
- Silikonöl	

2.4.2 Vorgehen bei der Wurzelkanalfüllung

In Gruppe 1 erfolgte die Wurzelkanalfüllung unter Verwendung der lateralen Verdichtungstechnik. Mittels einer Papierspitze wurde Sealer sparsam auf die Wände der aufbereiteten Wurzelkanäle aufgetragen und der angepasste Mastercone wurde, ebenfalls an der Spitze mit Sealer benetzt, auf Arbeitslänge in den Kanal eingeführt. Als Mastercone wurde gemäß der Aufbereitung ein ISO 40 Guttaperchastift („Top Color“ Guttaperchaspitzen, Roeko GmbH & Co. KG) verwendet. Das Spreaden erfolgte mithilfe von ISO-genormten Fingerspreadern (Dentsply Maillefer). Dabei wurde mit dem ISO 15 Spreader begonnen und in aufsteigender Reihenfolge bis zum ISO 30 Fingerspreader verdichtet, bis der Spreader nicht mehr als 3mm in den Wurzelkanal eingeführt werden konnte. Zur Verwendung kamen Dentsply Maillefer Fingerspreader der ISO Größen 15, 20, 25 und 30 mit einer Arbeitslänge von 25mm. Der jeweils entstehende Hohlraum wurde mit einer ebenfalls ISO-genormten Guttaperchaspitze gleicher Größe und Konizität (Roeko) verschlossen.

In Gruppe 2 erfolgte die Wurzelkanalfüllung ebenfalls Mittels der lateralen Verdichtungstechnik, im Gegensatz zu Gruppe 1 wurden jedoch Fingerspreader mit größerer Konizität und herstellereigener Kodierung (A,B,C,D) verwendet. Die

Arbeitslänge der Fingerspreader betrug 25mm. Der Füllvorgang wurde mit dem sparsamen Beschicken des Wurzelkanals mit Sealer, unter Zuhilfenahme von Papierspitzen begonnen. Als Mastercone kam eine ISO 40 Guttaperchaspitze (Roeko GmbH & Co. KG) zum Einsatz. Das anschließende Verdichten erfolgte durch obig genannte Fingerspreader (Dentply Maillefer) beginnend mit Größe A, danach in aufsteigender Reihenfolge die Größen B, C und D. Das sukzessive Nachführen von Hilfsspitzen und Verdichten Mittels Fingerspreadern erfolgte so lange, bis der Spreader unter Einhaltung der Kräfte maxima nicht mehr als 3mm in den Wurzelkanal eingeführt werden konnte. Überschüssige Guttapercha am koronalen Kanalende wurden mit einem heißen Planstopfer (Henry Schein Nr. 9002038) abgetrennt.

Die warm-vertikale Verdichtung wurde mit Hilfe des träger-basiertem Füllungssystems „GuttaMaster® Obturatorsystem“ (VDW GmbH) durchgeführt. Mit Hilfe von Kunststoff-Messlehren unterschiedlicher Größe (Plastic Verifier®, VDW) wurde überprüft, bei welcher Größe der Verifier einen Millimeter vor Apex Klemmpassung aufweist. Ein Obturator der entsprechenden Größe wurde ausgewählt und in dem systemzugehörigen Vorwärmofen (GuttaMaster® Ofen) erwärmt. Das erwärmte, plastische Material wurde dann im zweiten Schritt in den sparsam mit Sealer benetzten Wurzelkanal eingebracht. Nach Erkalten der Guttapercha wurden der Träger und die Guttapercha-Überschüsse mit einem rotierenden Instrument (PREPI Bur®) entfernt.

Bei der Zentralstifttechnik in Versuchsgruppe 4 fanden Mtwo- α ® Guttaperchastifte (Fa. VDW, München, Deutschland) mit einer Konizität von 4% und apikalem Durchmesser von ISO 40 Verwendung. Diese wurden ebenfalls in den, wie obig bereits geschildert, vorbereiteten Wurzelkanal eingebracht und Überschüsse mit einem heißen Planstopfer (Henry Schein Nr. 9002038) entfernt.

Neben der Säuberung von Guttapercharesten fand bei allen Proben eine moderate vertikal gerichtete Verdichtung der Füllung statt. Eine abschließende Qualitätskontrolle der angefertigten Füllung erfolgte radiologisch durch ein digitales Röntgensystem (Kodak GmbH).

2.5 Verfahren zur Standardisierung

2.5.1 Ende des Wurzelkanals

Da bei der späteren Schliffanfertigung das Ende des Wurzelkanals als Referenzpunkt dienen sollte, war es notwendig, die Probenblöckchen auf eine Lagevarianz dieses Punktes hin zu vermessen. Dies geschah mittels Auflichtmikroskops mit eingebauter Digitalkamera (Leica EZ4D, Leica Microsystems GmbH) und der Software FixFoto® (Joachim Koopmann Software). Das Ergebnis zeigte, dass das Ende des Wurzelkanals nicht bei allen Blöckchen den gleichen Abstand von der Unterseite des Blöckchens aufwies. Deshalb wurde die Unterseite der Proben auf einer Drehbank bis auf exakt einen Millimeter unterhalb des Endes des Wurzelkanals abgedreht, sodass die Unterseite der Probe nun als Referenzpunkt für den späteren Schliff dienen konnte.

2.5.2 Normierung der vertikalen Kräfte

Die Normierung der durch den Behandler ausgeübten vertikal gerichtete Kräfte bei der Wurzelkanalfüllung, insbesondere beim Verdichten unter Verwendung der Fingerspreader, aber auch beim Einführen der Hilfsspitzen wurden durch eine spezielle Messapparatur (Burster Präzisionsmechanik) gewährleistet.

Dabei wurden die Proben während der Wurzelkanalfüllung in eine speziell angefertigte Halterung der Messapparatur eingesetzt. Die eigentliche Kraftmessung erfolgt durch einen Biegebalkensensor (Nr. 0180, Burster Präzisionsmesstechnik) mit spezieller Aufnahme für die Proben, welcher über ein Messmodul mit Display sowie einer Schnittstelle für den PC verfügt. Dies ermöglichte zum einen, durch direktes Ablesen während des Füllvorganges, die durch die Literatur geforderten 8-10N einzuhalten, und zum anderen das Aufzeichnen eines Messprotokolls zur späteren Kontrolle und Auswertung der Belastungsmuster.

Das Aufzeichnen der Messwerte und die Ausgabe der Messdaten wurde mithilfe der Software Digivision 2008 1.0.0 (Burster Präzisionsmesstechnik) bewerkstelligt. Die Darstellung als Diagramm erfolgte mittels MS Excel®.

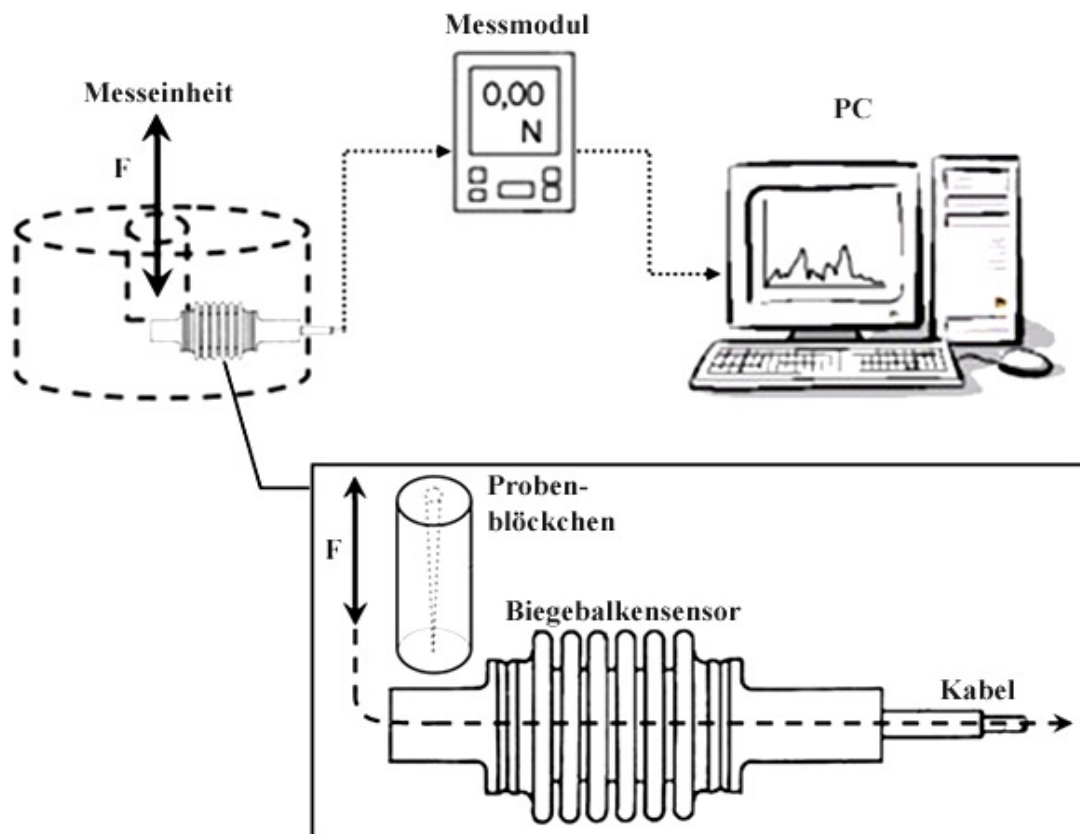


Abb. 1. Messaufbau zur Ermittlung der vertikal wirkenden Kräfte bei der Wurzelkanalfüllung sowie Detailansicht des Biegebalkensensors.

2.6 Untersuchungen

2.6.1 Vorbereitende Maßnahmen

Um eine spätere Verarbeitung der Proben im Trenn-Dünnschliff-Verfahren zu ermöglichen, wurden die Blöckchen auf Plexiglasträgern befestigt. Dies erfolgte in Gruppen à 20 Proben mittels Sekundenkleber (UHU GmbH & Co. KG). Die zwischen den runden Blöckchen verbliebenen Hohlräume wurden mit gießfähigem Epoxidharz (Araldite, Ciba SC GmbH) ausgefüllt.

2.6.2 Schleifen der Proben

Das Schleifen der Proben wurde mit einem EXAKT-Mikroschleifsystem (EXAKT Apparatebau GmbH & Co. KG) vorgenommen.

Die Dimensionierung der Schlichschritte erfolgte, wie in Abb. 2. dargestellt, in zwei Abschnitten. So wurden in koronal-apikaler Richtung, im Bereich von 15mm bis 5mm vor Arbeitslänge pro Schlichschritt ein Millimeter Schichtdicke abgetragen. Dies wurde in Abschnitt 2, im Bereich zwischen 4,5mm und 0,5mm, auf einen halben Millimeter reduziert.

Um glatte Oberflächen zur Auswertung zu erhalten, wurde anfänglich Schleifpapier mit 320er Körnung verwendet, welches dann von 500er und 800er abgelöst wurde. Ein abschließendes Finieren der Proben erfolgte mit Schleifpapier der Körnung 1000.

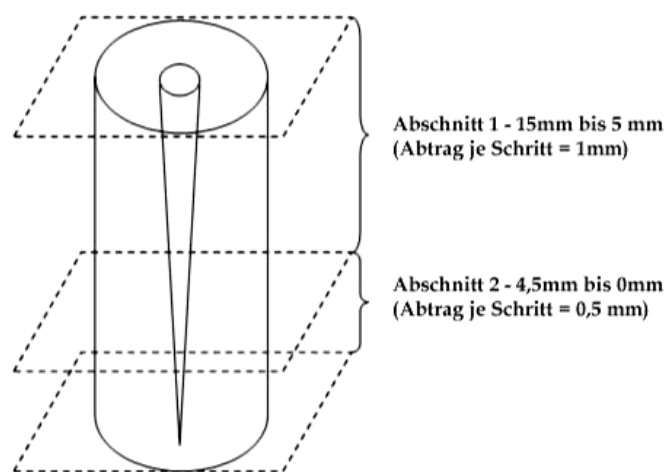


Abb. 2. Abtragshöhe pro Arbeitsschritt auf den verschiedenen Abschnitten des Wurzelkanalmodells.

2.6.3 Mikroskopische Aufnahmen

Die Anfertigung der Schlicfbilder erfolgte zwischen den einzelnen Schleifprozessen mit einem Auflichtmikroskop (Leica EZ4D, Leica Microsystems GmbH) in 35facher Vergrößerung über die integrierte Kamera. Die Speicherung der Aufnahmen wurde im TIFF-Datenformat vorgenommen.

2.6.4 Digitale Vermessung der Schlicfbilder

Die Vermessung der Bilder erfolgte mithilfe der Software Sigma Scan Pro 5® (Systat Software Inc.).

Dabei wurden die Gesamtfläche des Wurzelkanalquerschnitts, Flächenanteil der Guttapercha bzw. Guttapercha und Obturator bei GuttaMaster® und sofern vorhanden, der Anteil an Luftblasen oder Defekten in Pixeln ermittelt. Der Sealeranteil errechnete sich aus der Differenz zwischen Gesamtfläche und allen anderen Flächenanteilen im

Kanal. Die erhaltenen Werte wurden tabellarisch im Programm Excel® (Microsoft Deutschland GmbH) abgespeichert.

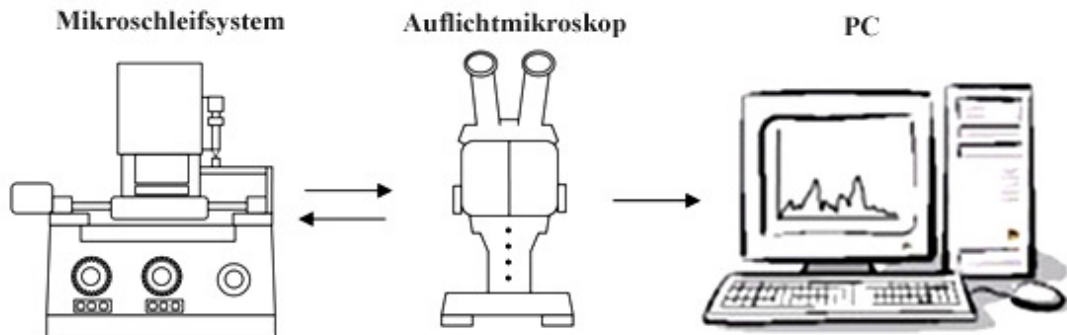


Abb. 3. Anordnung der Arbeitsschritte während des Probenschliffes

2.7 Statistische Auswertungsmethoden

Aus den so gemessenen Flächen (in der Maßeinheit Pixel) wurden die prozentualen Flächenanteile der Guttapercha, ggf. des Trägers, des Sealers und der Defekte an der Gesamtfläche errechnet.

Zusätzlich fand mittels der Vermessung einer Strichplatte (Leica GmbH) bei gleicher Vergrößerung die Umrechnung der Werte von Pixeln in mm^2 statt. Dabei entsprach die Referenzstrecke von 2mm genau 1301 Pixeln.

Für jede Kombination von Versuchsgruppe, Flächentyp und Abstand von der Arbeitslänge wurde der Median der 10 Einzelproben jeder Gruppe, als Streuungsmaße das 25%- und 75%-Perzentil, sowie das 10%- und 90%-Perzentil berechnet. Die Durchführung der statistischen Berechnungen wurde mit Hilfe des Computerprogramms SPSS Version 16 (SPSS/IBM Company) vorgenommen.

Unterschiede zwischen den vier Versuchsgruppen wurden mit Hilfe der Rangvarianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test) auf statistische Signifikanz überprüft. Bei Vorliegen eines signifikanten globalen Unterschieds zwischen den Versuchsgruppen wurde als Post-Hoc-Test zum wechselseitigen Vergleich der Einzelgruppen der Nemenyi-Test auf einem Signifikanzniveau von $P < 0.05$ durchgeführt.

3. Ergebnisse

3.1 Kraftmessung

Abb. 4 bis 7 zeigen exemplarisch während des Füllvorgangs aufgezeichnete Messprotokolle der vertikalen Kräfte. Dabei ergaben sich für die einzelnen Fülltechniken charakteristische Kurven.

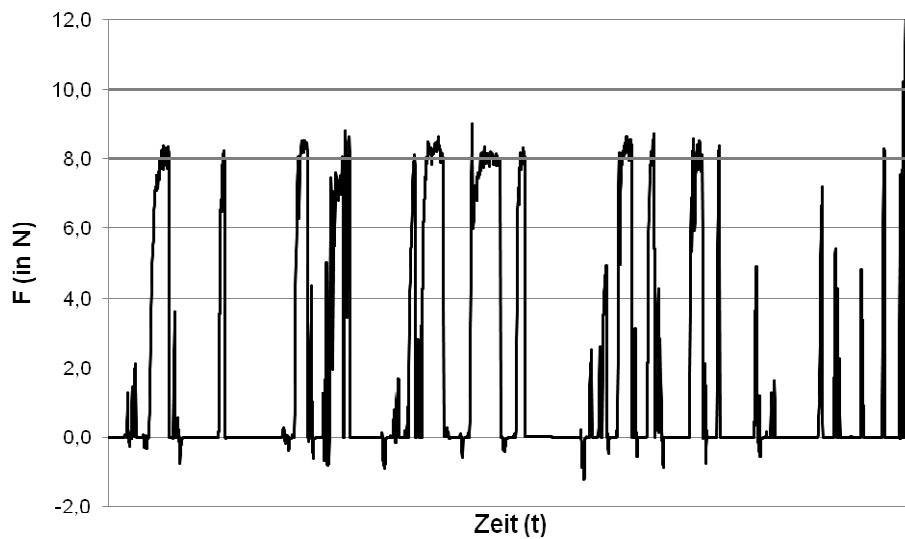


Abb. 4. Messprotokoll vertikaler Kräfte bei der Wurzelkanalfüllung mit kalt-lateraler Verdichtung unter Verwendung von ISO-genormten Spreadern/Hilfsspitzen.

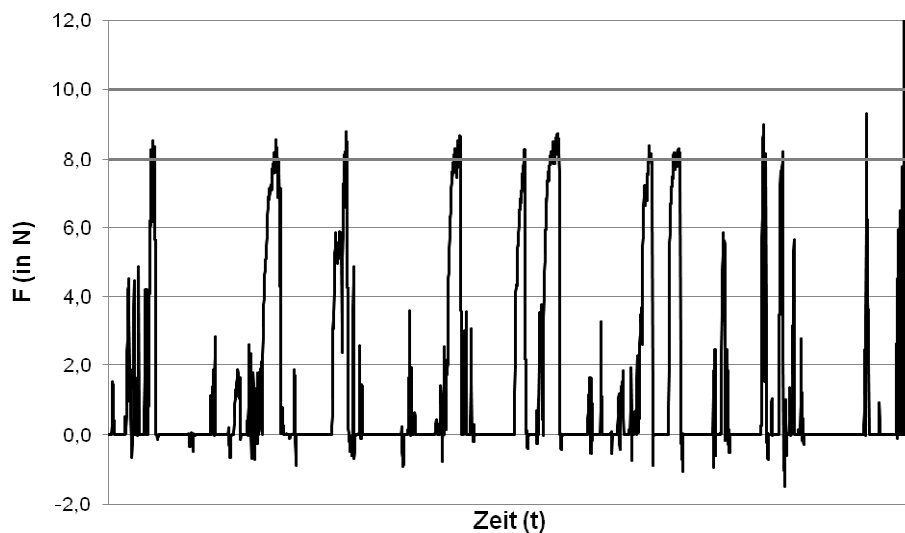


Abb. 5. Messprotokoll vertikaler Kräfte bei der Wurzelkanalfüllung mit lateraler Verdichtung unter Verwendung von Spreadern/Hilfsspitzen mit größerer Konizität und herstellereigener Kodierung (ABCD).

3 Ergebnisse

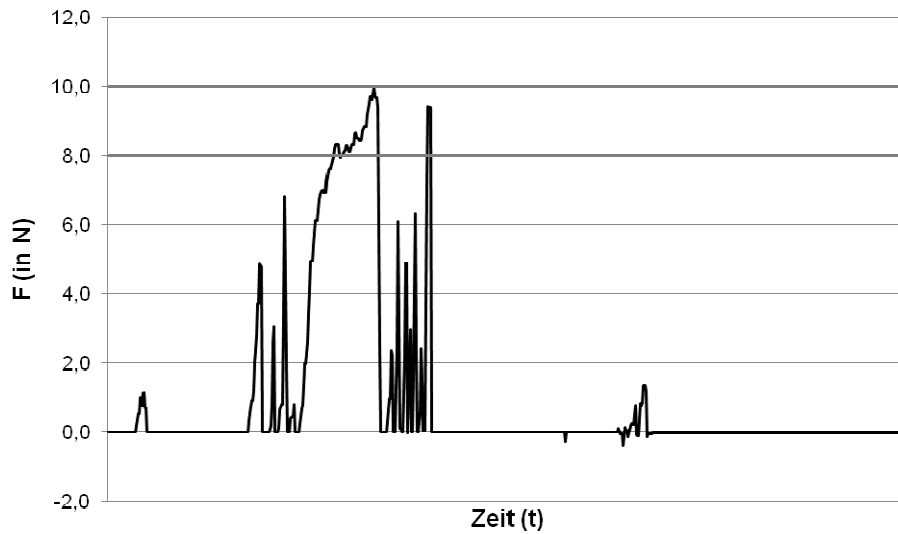


Abb. 6. Messprotokoll vertikaler Kräfte bei der Wurzelkanalfüllung mit trägerbasiertem System (GuttaMaster®).

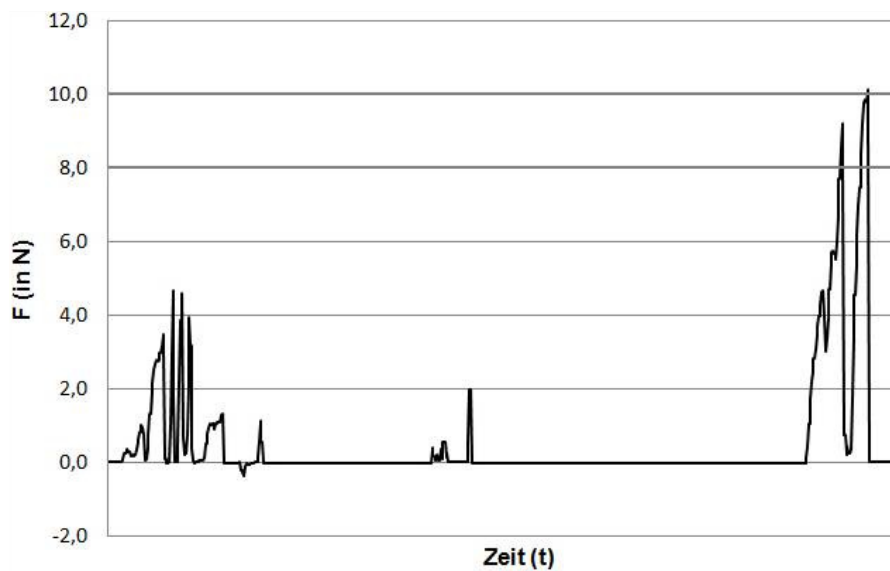


Abb. 7. Messprotokoll vertikaler Kräfte bei der Wurzelkanalfüllung mit Zentralstifttechnik.

Es ist festzuhalten, dass durch die ständige Kontrolle der vertikalen Kräfte, der vorab als optimal definierte Bereich zwischen 8N und 10N bei keiner Füllungstechnik überschritten wurde. Lediglich beim Abtrennen der Guttaperchäüberschüsse und leichtem Nachverdichten mit einem heißen Instrument kam es bei allen Techniken zu Werten über 10 N.

3.2 Auswertung

3.2.1 Schliffbilder

3.2.1.1 Kalt-laterale Verdichtung mit Spreadern und Hilfsspitzen mit 2% Konizität (ISO-normiert)

Abb. 8 zeigt Schliffbilder aus Versuchsgruppe 1 LV-ISO verteilt über dem gesamten Wurzelkanal auf unterschiedlichen Arbeitslängen. Dabei erkennt man 3mm vor Arbeitslänge eine durch fehlerhafte Sealerapplikation verursachte Luftblase, was durch fehlende Deformationen des Mastercones oder etwa vorhandene Hilfsspitzen koronal des Bereichs belegt wird. Im Bereich von AL - 6mm sind am Mastercone Deformationen zu sehen, welche durch das Spreaden während des Füllvorganges entstanden sind.

Auf 9mm vor Arbeitslänge ist im Schliffbild neben dem Mastercone die am weitesten nach apikal eingebrachte Hilfsspitze sichtbar. Im weiter koronal angeordneten Teil auf 12mm bzw. 13mm vor AL erkennt man deutlich mehr Hilfsspitzen, welche durch das Spreaden und abschließende Verdichten deutlich deformiert sind.

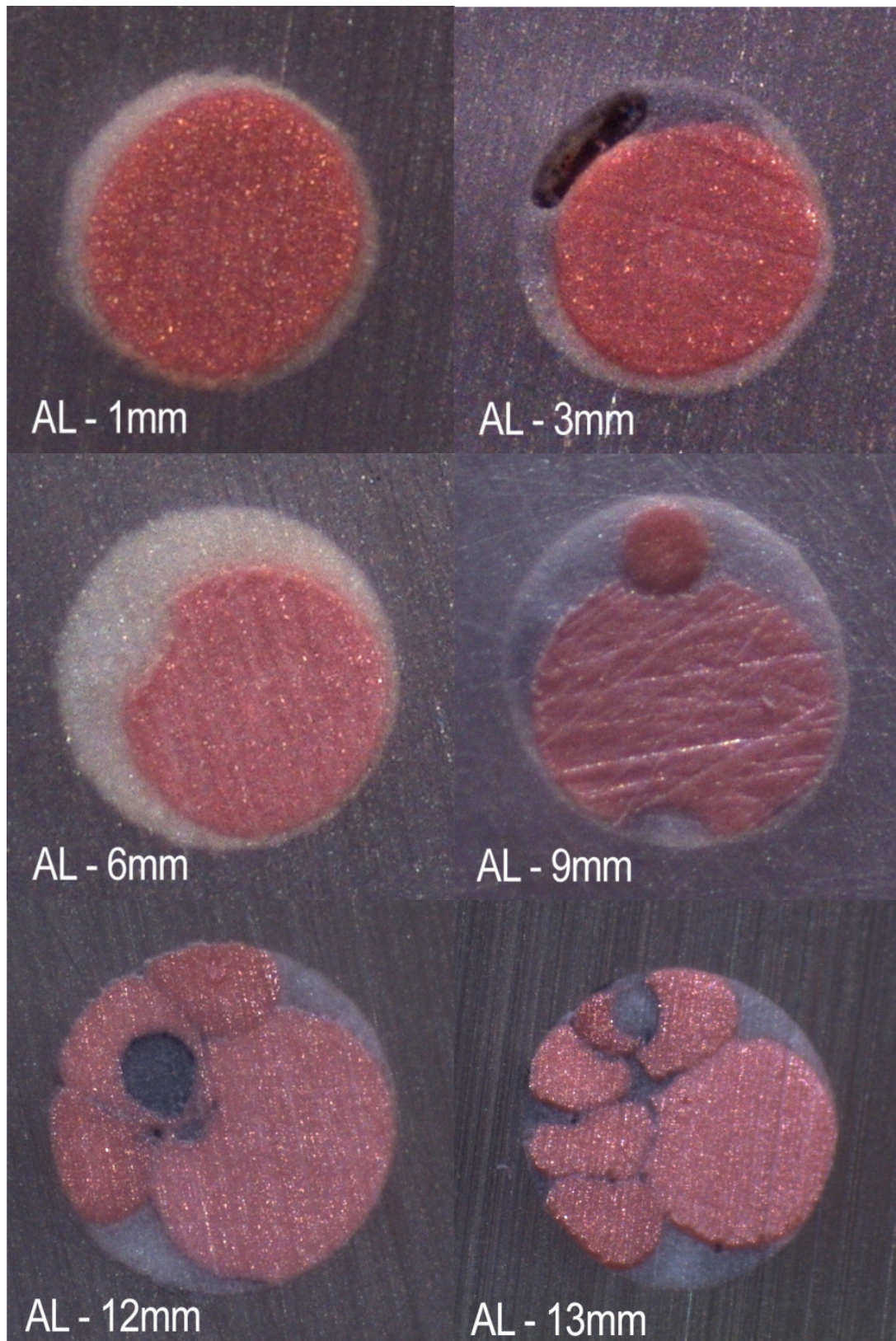


Abb. 8. Schliffbilder eines Probenblöckchens der Gruppe 1 mit kalt- lateraler Verdichtung und ISO genormten Spreadern 1mm, 3mm, 6mm, 9mm, 12mm und 13mm vor Arbeitslänge.

3.2.1.2 Kalt-laterale Verdichtung mit stärker konischen Spreadern und Hilfsspitzen (herstellereigene Kodierung)

Abb. 9 zeigt Schliffbilder der Versuchsgruppe 2 mit kalt-lateraler Verdichtung, unter der Verwendung von herstellernormten Fingerspreadern (ABCD). Dabei ist 1mm, 3mm und 6mm vor Arbeitslänge der nicht deformierte Mastercone zu erkennen. 9mm vor Arbeitslänge sieht man zwei, 12mm vor Arbeitslänge drei Hilfsspitzen. Erst im Schnittbild 15mm vor Arbeitslänge sind neben den vier Hilfsspitzen leichte Deformationen an der Guttapercha, verursacht durch das Spreading beim Abfüllen zu bemerken.

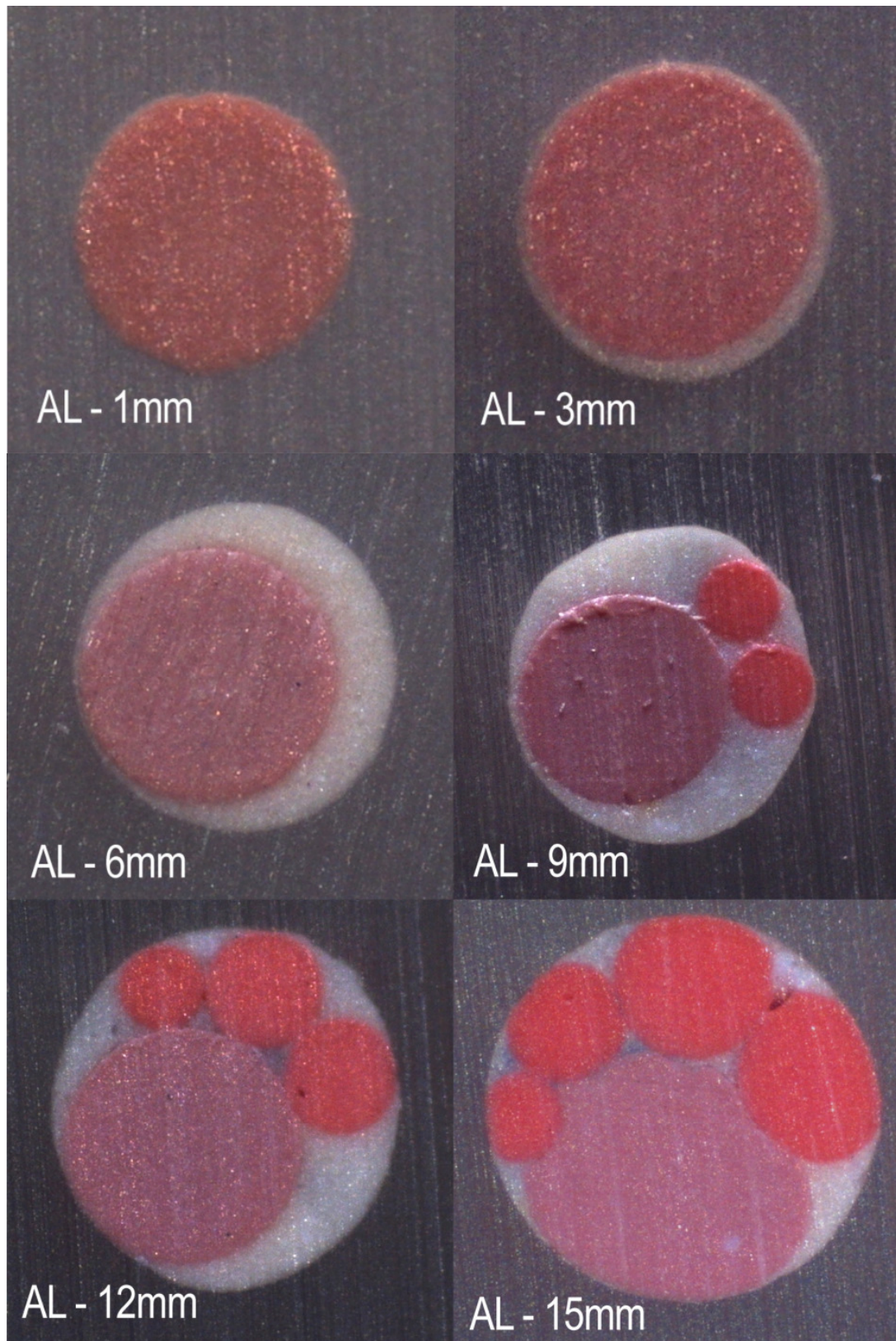


Abb. 9. Schliffbilder eines Probenblöckchens der Gruppe 2 mit kalt- lateraler Verdichtung und ABCD genormten Spreadern 1mm, 3mm, 6mm, 9mm, 12mm und 15mm vor Arbeitslänge.

3.2.1.3 Warm-vertikale Verdichtung (trägerbasiertes System)

Die Schliffbilder in Abb. 10 zeigen exemplarisch ein Blöckchen aus der dritten Versuchsgruppe unter Verwendung des GuttaMaster® Obturatorssystems. 1mm vor Arbeitslänge ist der Wurzelkanal ausschließlich von Sealer ausgefüllt. Im Bereich von 3mm vor Arbeitslänge wird das Kanallumen fast vollständig durch das Guttaperchaendstück des Obturormastercones ausgefüllt, wohingegen erst 6mm vor Arbeitslänge der zentral gelegene Kunststoffobturator zu sehen ist.

In den apikal gelegenen Schnittbildern zeigt sich eine absolut randständige Wurzelkanalfüllung ohne Defekte. Erst im Bereich von 12mm Arbeitslänge und 15mm Arbeitslänge sind am Rand im Bereich des Sealers geringe Lufteinschlüsse zu erkennen.

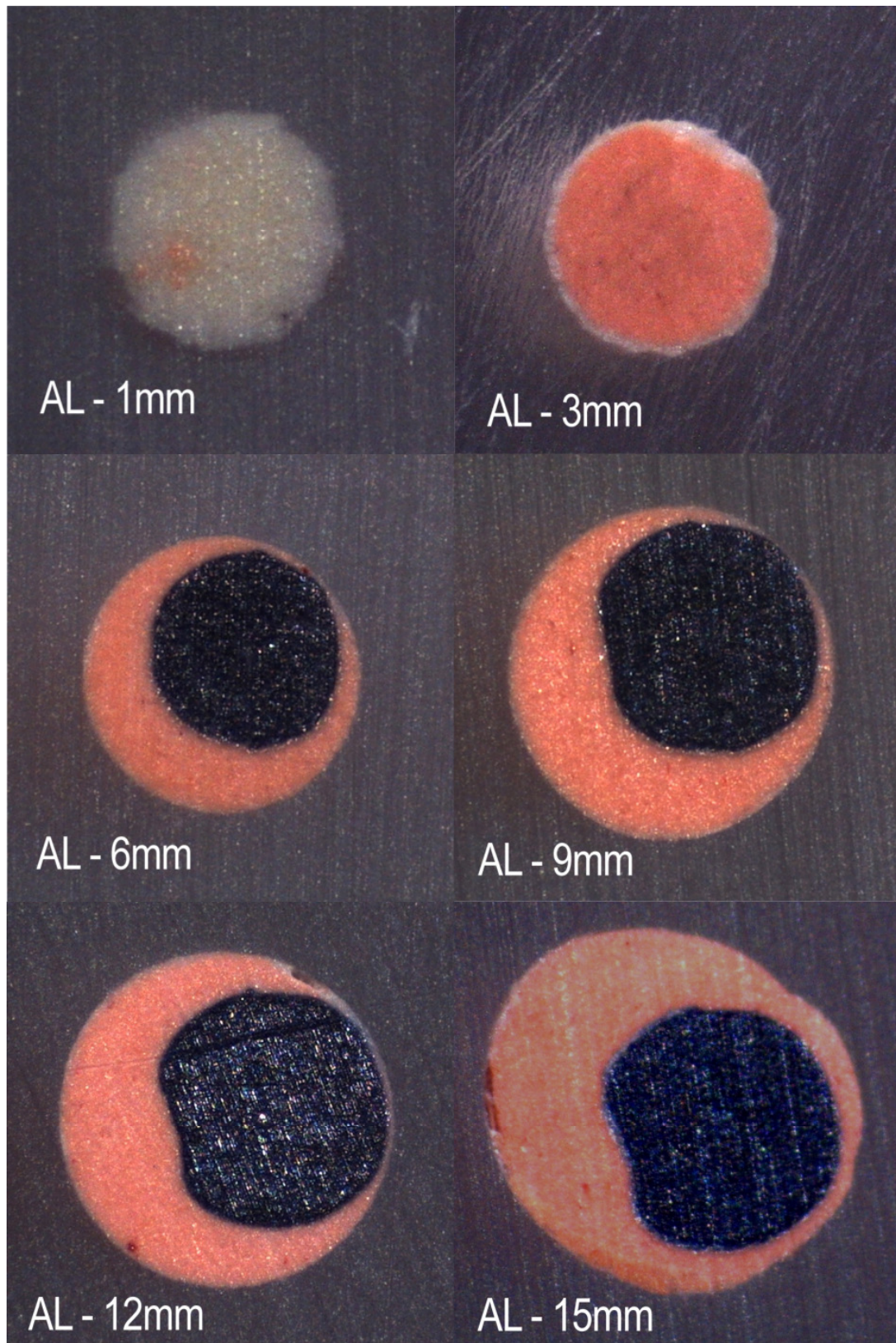


Abb. 10. Schliffbilder eines Probenblöckchens der Gruppe 3 mit warm vertikaler Verdichtung 1mm, 3mm, 6mm, 9mm, 12mm und 15mm vor Arbeitslänge.

3.2.1.4 Zentralstifttechnik

Abb. 11 zeigt Schnittbilder der Versuchsgruppe 4, d.h. die Wurzelfüllung erfolgte per Zentralstifttechnik. Insgesamt ist über alle Schnittbilder hinweg eine relativ homogene, wandständige Wurzelfüllung zu sehen. Lediglich 15mm vor Arbeitslänge befindet sich ein Lufteinschluss im Bereich des Wurzelkanalsealers. Die Schichtstärke des Sealers ist allerdings größer als bei der Versuchsgruppe mit warm-vertikaler Verdichtung.

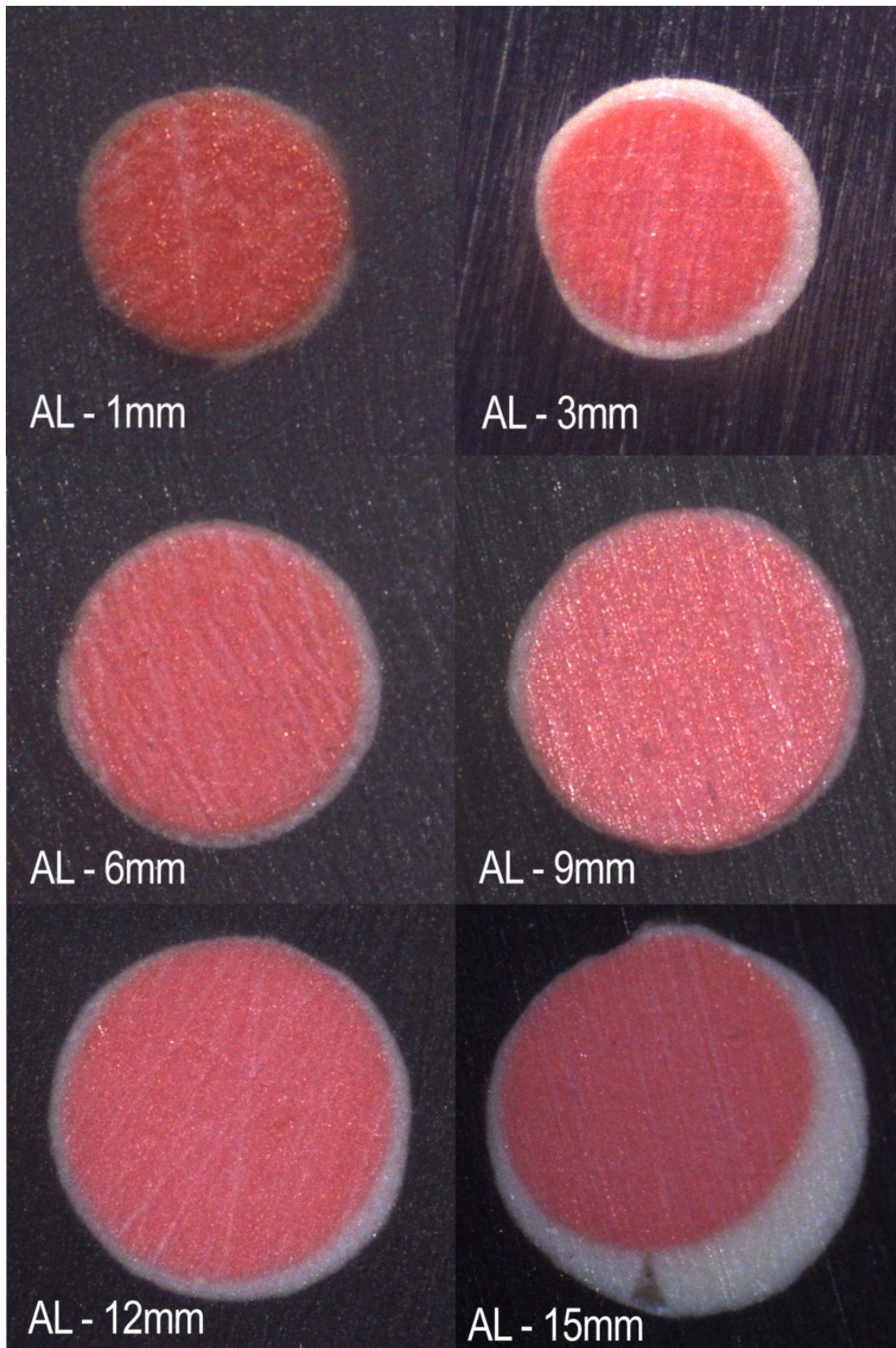


Abb. 11. Schliffbilder eines Probenblöckchens der Gruppe 4 mit Zentralstifttechnik 1mm, 3mm, 6mm, 9mm, 12mm und 15mm vor Arbeitslänge.

3.2.2 Anzahl Hilfsspitzen

Abb. 12 zeigt die Anzahl der Hilfsspitzen in den Versuchsgruppen 1 (ISO-Spreader) und 2 (ABCD-Spreader) auf den unterschiedlichen Schliffhöhen. Dabei fällt auf, dass in beiden Versuchsgruppen die maximale Penetrationstiefe der Hilfsspitzen auf Höhe 4,5 Millimeter vor Arbeitslänge liegt. Verglichen mit dem thermoplastischen, trägerbasierten System entspricht dies in etwa der Penetrationstiefe des Obturators. Dieser erreicht bei 50% der Proben die Tiefe von 4,5mm vor Apex, bei den restlichen 50% 4mm vor Apex.

Hinsichtlich der Anzahl von Hilfsspitzen auf den unterschiedlichen Schnitthöhen zeigt sich im Bereich zwischen 14mm und 8mm eine größere Anzahl an Hilfsspitzen in Probengruppe 1 (LV-ISO). Demgegenüber wurden in den tieferen Abschnitten des Wurzelkanals, nämlich zwischen 4,5 und 7mm vor Arbeitslänge, mehr Hilfsspitzen in der Versuchsgruppe 2 (ABCD-Spreader/Hilfsspitzen) beobachtet. Dieser Unterschied wurde allerdings nicht auf statistische Signifikanz überprüft.

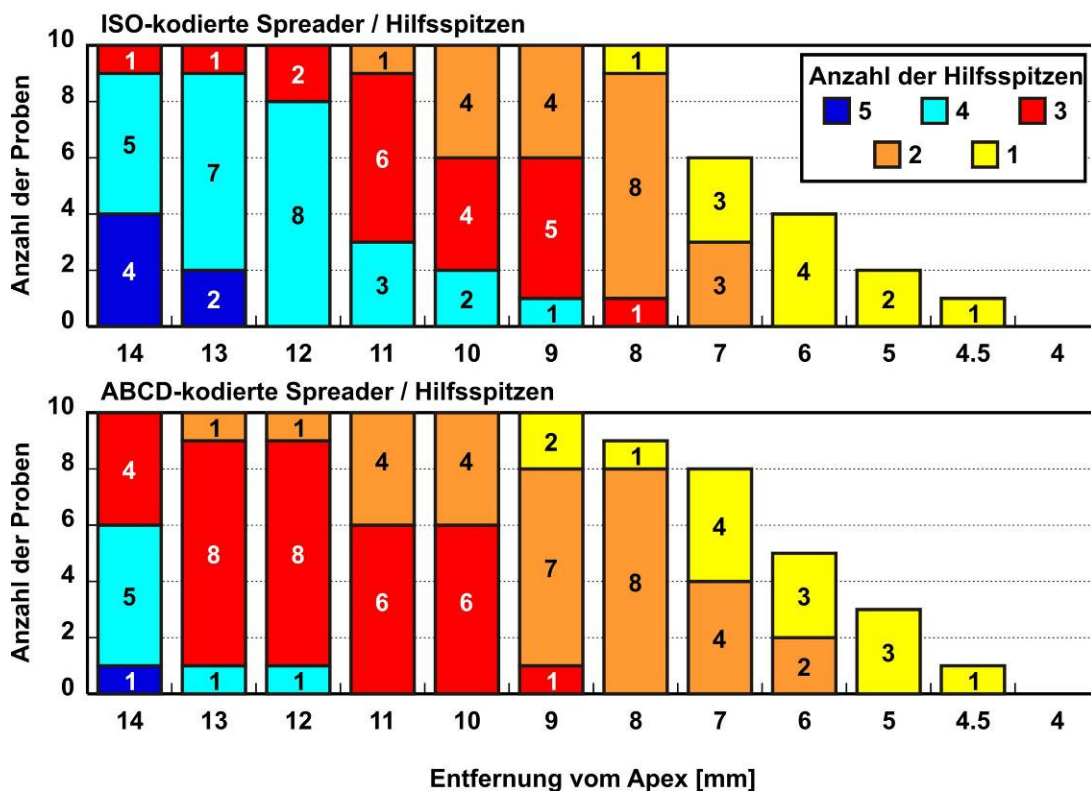


Abb. 12. Anzahl der Hilfsspitzen auf den verschiedenen Schnitthöhen in den Probengruppen 1 (LV-ISO) und 2 (LV-ABCD)

3.2.3 Flächenanteil Guttapercha und Obturator

Abb. 11 zeigt den prozentualen Flächenanteil an Guttapercha bzw. im Falle des trägerbasierten Systems den Flächenanteil an Guttapercha und Träger. Zusätzlich wurde der Flächenanteil des Trägers alleine dargestellt.

Die Versuchsgruppen sind statistisch signifikant verschieden (Kruskal-Wallis-Test) auf allen Schnitthöhen mit Ausnahme des Bereichs zwischen 1,5mm und 2,5mm. Der Einzelgruppenvergleich nach Nemenyi ergibt dabei für die vier Probengruppen im Einzelnen folgende Ergebnisse:

Im Bereich zwischen 14mm und 3,5mm vor Apex liefert die trägerbasierte Fülltechnik ein signifikant besseres Ergebnis als die kalt-laterale Verdichtung. Dabei liegt der prozentuale Anteil an Guttapercha bzw. Guttapercha und Obturator bis 4mm vor Apex kontinuierlich über 95%.

Auf Höhe des Schnittes 4mm vor der Arbeitslänge endet bei allen Proben das Trägermaterial, sodass im Bereich unterhalb nur noch Guttapercha als Füllstoff vorhanden ist.

Im unteren Kanaldrittel, d.h. absteigend von 4mm Höhe gleicht sich der Anteil an Guttapercha den Werten der anderen vier Techniken an, sodass sich wie obig bereits angeführt zwischen 2,5mm und 1,5mm keine signifikanten Unterschiede ergeben. Der prozentuale Anteil an Guttapercha bewegt sich im Bereich von 80% der Gesamtfläche. Auffallend ist der vergleichbar geringe Anteil Guttapercha auf Höhe des letzten Schliffbildes, also 1mm vor dem Ende der Arbeitslänge. Der Median aller Werte liegt bei lediglich 20%, verbunden mit einer enormen Streuung der Messwerte.

Für die Probengruppe der Zentralstifttechnik ergibt sich folgendes Bild: während im koronalen Kanaldrittel kein signifikanter Unterschied zu der Technik der lateralen Verdichtung zu finden ist, ergibt sich im mittleren Bereich zwischen 11mm und 4,5mm ein signifikant höherer Anteil an Guttapercha. Dabei liegt der maximale Anteil an Guttapercha auf Höhe 9mm bei etwa 93% der Gesamtfläche.

Im unteren Kanaldrittel findet analog zur thermoplastischen Technik eine Annäherung der Werte auf nicht signifikante Differenzen statt, 1mm vor Apex liegt der Median der Werte bei ca. 88% Guttaperchaanteil.

Die beiden Proben­gruppen der lateralen Verdichtung unterscheiden sich auf keiner Schnitt­höhe signifikant voneinander. Im koronalen und mittleren Kanaldrittel ist der Guttaperchaanteil signifikant geringer verglichen mit der thermoplastischen Füll­technik. Hinsichtlich des Zentralstift­verfahrens ist lediglich im mittleren Kanaldrittel ein signifikant geringerer Anteil an Guttapercha für die Verfahren der kalt-lateralen Verdichtung zu verzeichnen. Im apikalen Kanaldrittel unterhalb von 3mm Schnitt­höhe finden sich keine signifikanten Unterschiede mehr zu den zwei anderen Füll­ungstechniken. Die Anteile an Guttapercha nehmen jedoch zwischen 3mm und 1mm vor Arbeits­länge kontinuierlich zu und erreichen dort Werte von 94% (laterale Verdichtung mit ISO-genormten Spreadern und Hilfsspitzen) bzw. 88% (laterale Verdichtung mit nicht-ISO-genormten Spreadern und Hilfsspitzen).

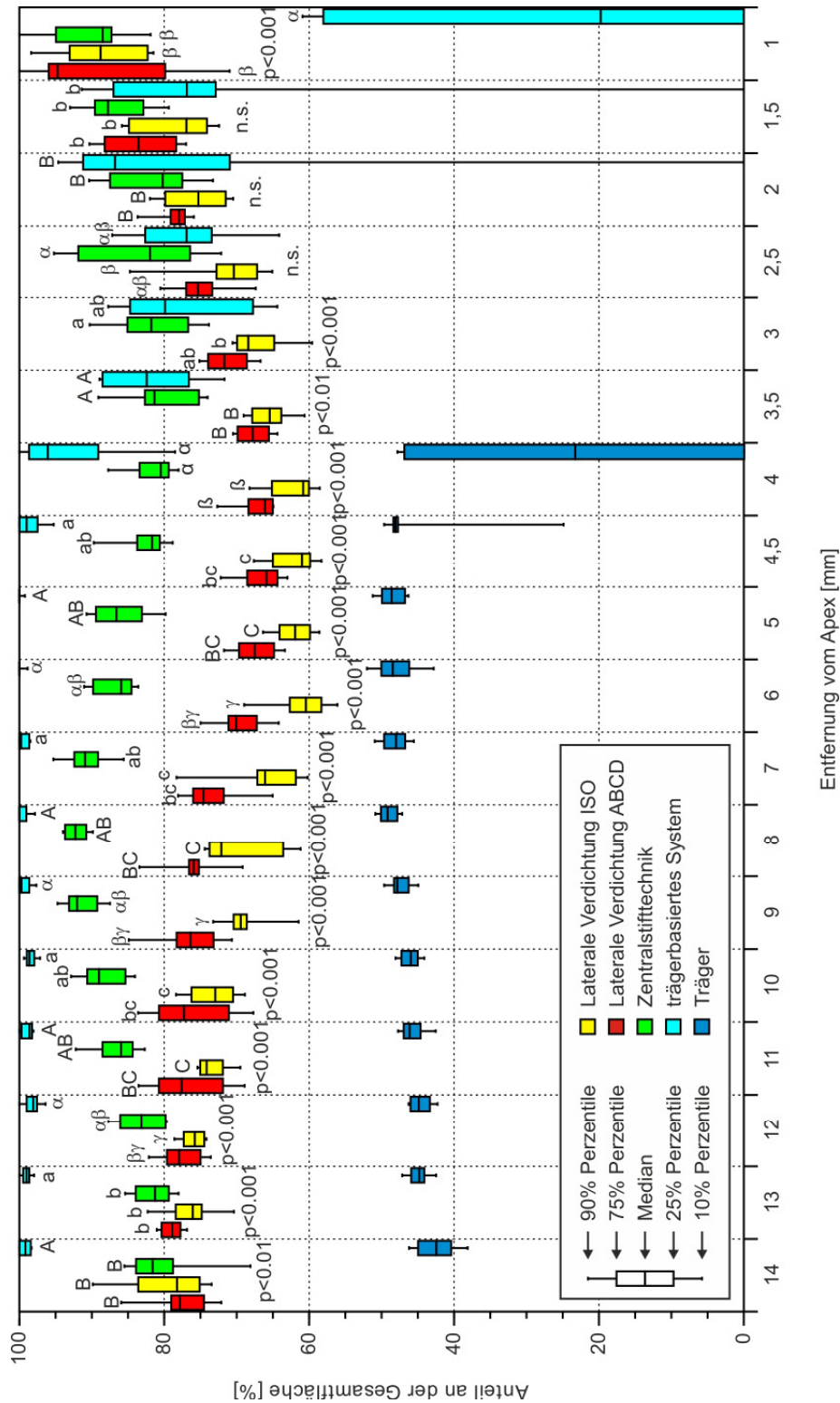


Abb. 13. Prozentualer Anteil des festen Füllmaterials an der Gesamtfläche. Signifikanzangaben: Ergebnis der Rangvarianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test); gleiche Buchstaben bezeichnen Gruppen, die nicht signifikant verschieden sind (Ergebnis des Einzelgruppenvergleichs nach Nemenyi).

3.2.4 Flächenanteil Sealer

Abb. 9 zeigt den prozentualen Anteil des Sealers an der Gesamtfläche.

Die Versuchsgruppen sind statistisch signifikant verschieden (Kruskal-Wallis-Test) auf fast allen Schliffhöhen mit Ausnahme von 2,5mm, 2mm und 1,5mm vor Arbeitslänge.

Die Werte ergeben dabei ein nahezu komplementäres Bild zum obig beschriebenen Anteil an Guttapercha bzw. Guttapercha und Obturator.

Bemerkenswert ist der äußerst geringe Sealeranteil bei der trägerbasierten, thermoplastischen Fülltechnik im Bereich von 14mm bis 4,5mm vor Arbeitslänge. In diesem Abschnitt liegt der Anteil des Sealers stets unter 10% an der Gesamtfläche.

Das starke Abweichen auf Höhe 1mm vor Apex in dieser Probengruppe schlägt sich analog zum Guttaperchaanteil auch auf den Sealeranteil nieder: So liegt der Median für den Sealeranteil an der Gesamtfläche 1mm vor Arbeitslänge bei ca. 47%, wiederum verbunden mit einer großen Streuung der Werte.

Im unteren Kanaldrittel, konkret zwischen 2,5mm und 1 mm vor Arbeitslänge zeigen wieder alle Versuchsgruppen vergleichbar große Sealeranteile (Rangvarianzanalyse: n.s.).

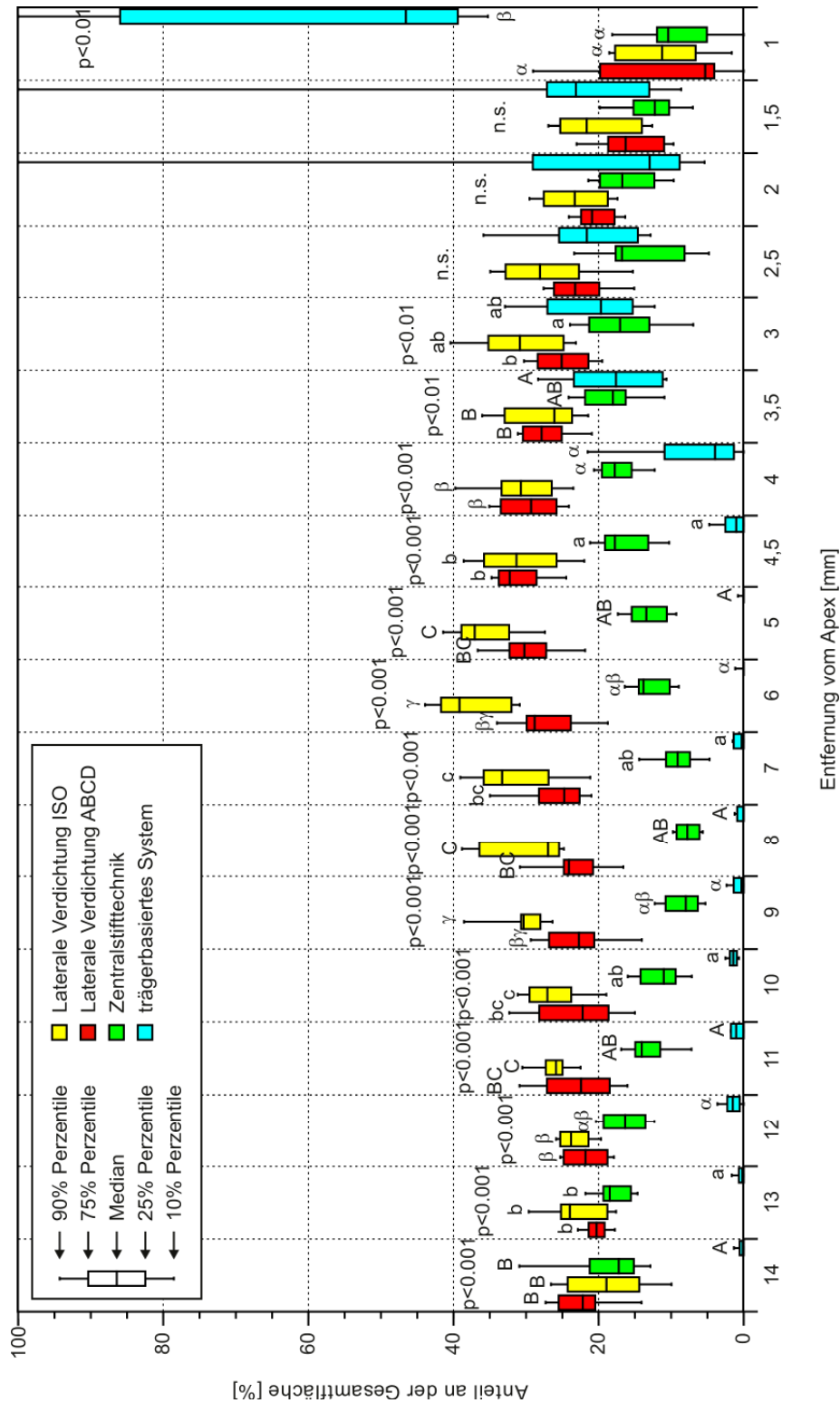


Abb. 14. Prozentualer Anteil des Sealers an der Gesamtfläche. Signifikanzangaben: Ergebnis der Rangvarianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test); gleiche Buchstaben bezeichnen Gruppen, die nicht signifikant verschieden sind (Ergebnis des Einzelgruppenvergleichs nach Nemenyi).

3.2.5 Anteil Defekte

Abb. 10 zeigt, dass lediglich auf Schnitthöhe 4,5mm vor Arbeitslänge ein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Flächenanteils zwischen den Versuchsgruppen an Defekten zu beobachten war.

Dabei zeigte die kalt-laterale Verdichtung mit nicht-ISO-genormten Spreadern und Hilfsspitzen einen signifikant höheren Flächenanteil an Defekten (Median: 6,5%) als die Zentralstifttechnik (Median: 0%; Nemenyi-Test: $P < 0,05$). Die beiden übrigen Versuchsgruppen waren von der vorerwähnten nicht signifikant verschieden (Median: jeweils 0%).

Insgesamt fällt auf, dass beide kalt-lateralen Verdichtungstechniken im Bereich zwischen 3mm und 5mm vor Arbeitslänge eine große Streuung der Werte aufweisen.

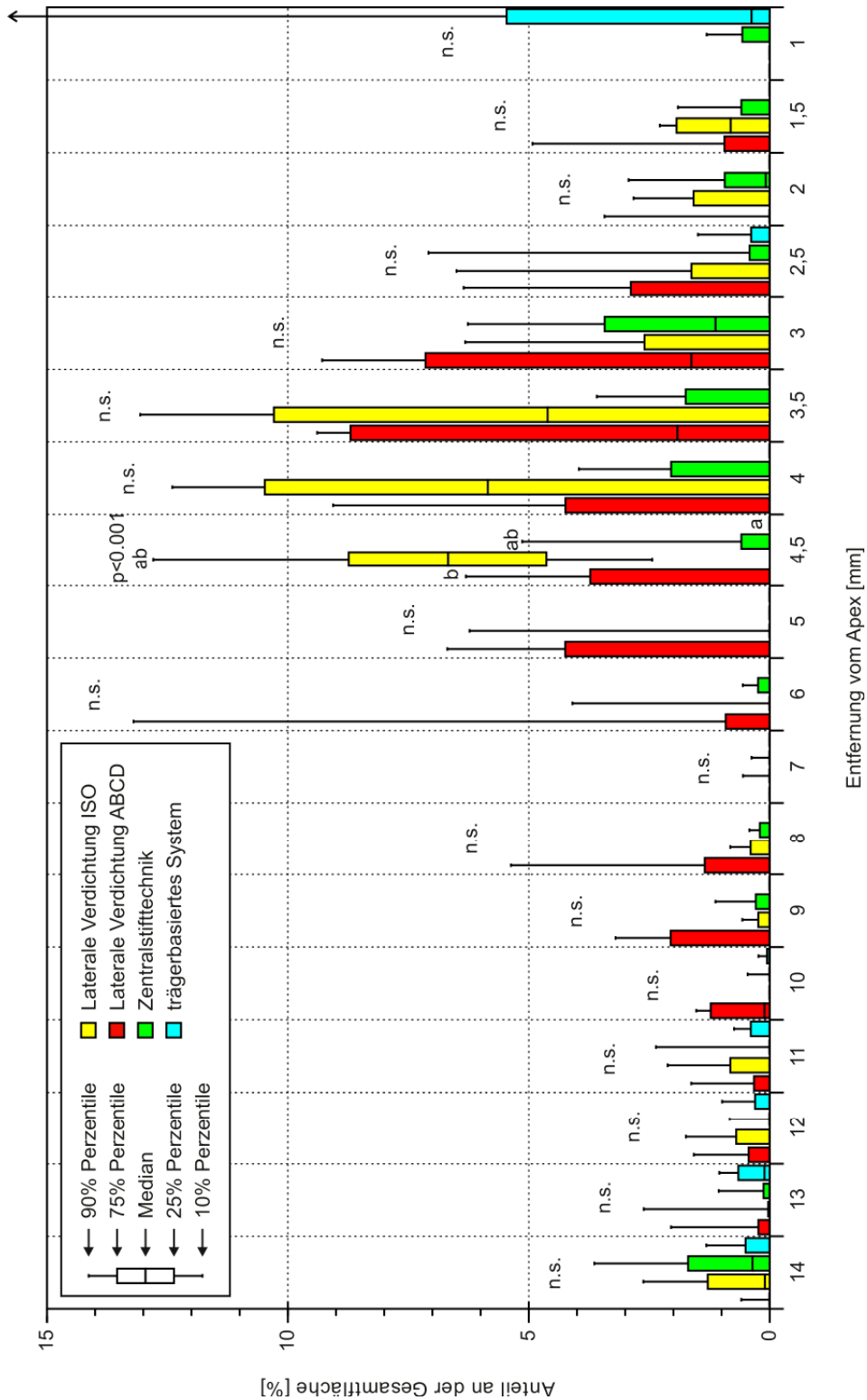


Abb. 15. Prozentualer Anteil von Defekten an der Gesamtfläche. Signifikanzangaben: Ergebnis der Rangvarianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test); gleiche Buchstaben bezeichnen Gruppen, die nicht signifikant verschieden sind (Ergebnis des Einzelgruppenvergleichs nach Nemenyi).

3.2.6 Einteilung der Defekte

Bei Betrachtung der Defekte in den angefertigten Wurzelkanalfüllungen ist nicht nur deren Quantität, sondern auch ihre Ursache von Interesse. Mögliche Ursachen für Defekte im Guttapercha-Sealer Gefüge können zum einen Luftblasen sein, welche bei der Sealerapplikation entstehen. Diese sind i.d.R. randständig lokalisiert im Bereich des Sealers zu finden. Abb. 16 zeigt eine solche randständige Luftblase, der Mastercone weist auf Arbeitslänge 4,5mm keine Deformation durch Spreading auf.

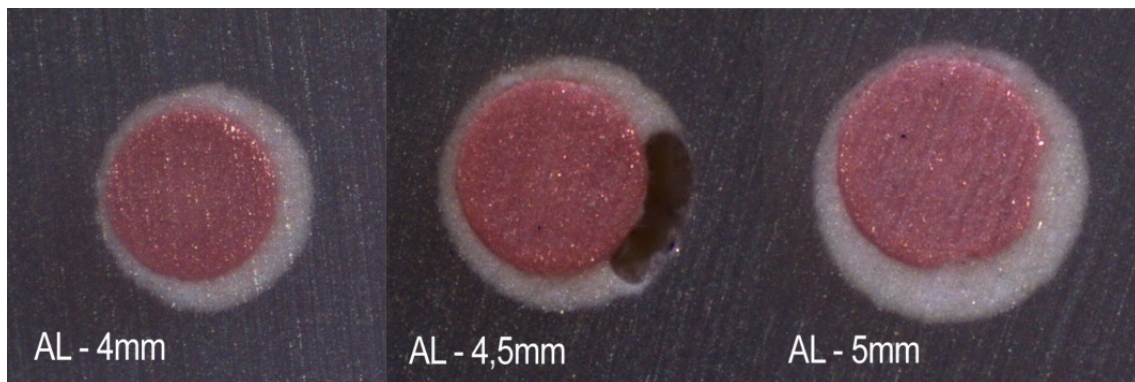


Abb. 16. Schnittbild eines durch fehlerhafte Sealerapplikation verursachten Defekts.

Durch fehlerhafte Sealerapplikation verursachte Defekte, welche sich über mehrere Schnittebenen erstrecken, waren lediglich in zwei Probenblöckchen der Versuchsgruppe 2, kalt laterale Verdichtung und herstellernormte Fingerspreader, zu finden. Dies ist in Abb. 17 dargestellt. In keiner der anderen drei Versuchsgruppen ließen sich Defekte dieser Art feststellen.

3 Ergebnisse

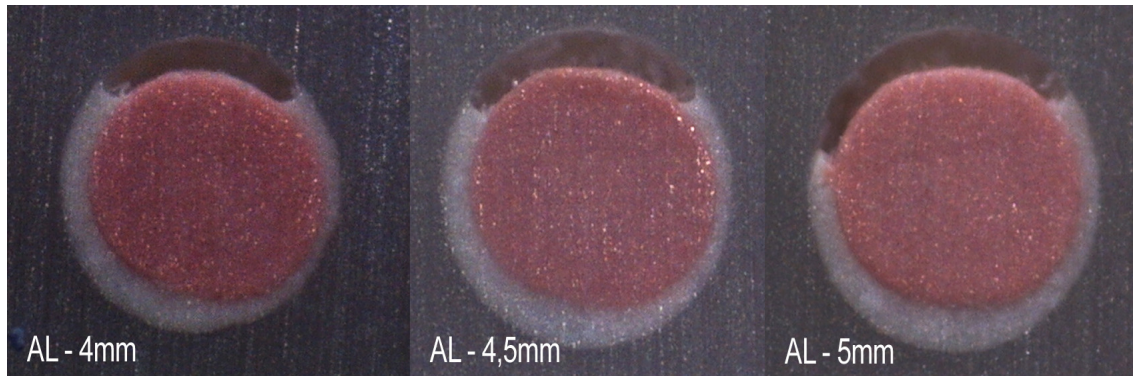


Abb. 17. Schnittbild eines durch fehlerhafte Sealerapplikation verursachten Defekts über mehrere Schnittebenen.

In Abb. 18 ist exemplarisch der gegenteilige Fall zu sehen, ein Defekt welcher durch unzureichendes Nachführen einer Hilfsspitze nach dem Spreaden entstanden ist. Der Unterschied zu den randständigen Luftblasen besteht zum einen in der Lage des Defektes zwischen den deformierten Hilfsspitzen, welche sichtbar durch die angewendeten Fingerspreader deformiert wurden. Zum anderen befindet sich im darauffolgenden, weiter koronal gelegenen Schliffbild der Querschnitt der nicht ausreichend tief eingeführte Hilfsspitze, was letztendlich ursächlich für den Defekt ist.

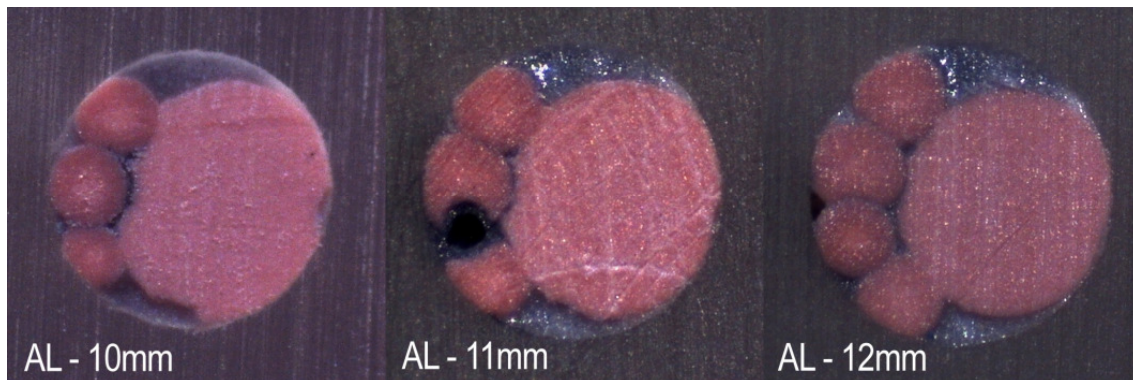


Abb. 18. Schnittbild eines durch Spreading und unzureichendes Nachführen einer Hilfsspitze verursachten Defekts.

Die Erfassung der unterschiedlichen Defekte, aufgeschlüsselt nach Versuchsgruppen und ihrer Entstehungsart sind in Tab. 2 dargestellt. Dabei spiegelt die Gesamtzahl der Defekte die obig angeführten Flächenanteilmessungen wieder. Die Anzahl der durch

das Spreaden verursachten Defekte ist für die Gruppe LV-ISO mit 1,04% und für die Gruppe LV-ABCD mit 0,61% gemessen an der Gesamtzahl der Defekte je Versuchsgruppe jedoch verhältnismäßig gering. Für die Versuchsgruppe der warm-vertikalen Verdichtung und der Zentralstifttechnik entfällt diese Auswertung, da kein Spreaden erforderlich ist.

Tab. 2. Gesamtzahl der Defekte und durch Spreaden verursachte Defekte

Füllungstechnik	Gesamtanzahl Defekte	davon durch Spreader
LV-ISO	52	2
LV-ABCD	61	1
GM	33	entfällt
ZS	41	entfällt

4. Diskussion

Wird heutzutage eine Wurzelkanalbehandlung erforderlich, bietet sich dem Behandler eine fast unüberschaubare Vielfalt sowohl an Materialien, als auch an Methoden zur Durchführung. Sie alle versprechen der hohen Anforderung, d.h. dem „dauerhaften flüssigkeits- und bakteriendichten Verschluss des gesamten Wurzelkanalsystems mit biokompatiblen, unlöslichen Materialien (DGZ/DGZMK *et al.* 2005) gerecht zu werden. Dabei unterscheiden sich die einzelnen Techniken gravierend hinsichtlich der benötigten Zeit und des Aufwandes, sowie der Verarbeitung der dazu benötigten Materialien. Anhand dieser grundlegenden Unterschiede stellt sich die Frage, ob die erreichbare Qualität der Wurzelkanalfüllung wirklich immer zu einem vergleichbar guten Ergebnis führt.

Als Parameter für den Vergleich zwischen den vier unterschiedlichen Wurzelfülltechniken wurde der prozentuale Anteil an Defekten und an Wurzelkanalsealer im Vergleich zum Anteil an Guttapercha bzw. an Guttapercha und Träger (im Fall der trägerbasierten thermoplastischen Fülltechnik), herangezogen. Der Nachteil von Defekten liegt auf der Hand: Defekte innerhalb der Wurzelkanalfüllungen stellen einen Lebensraum für Mikroorganismen dar. Wenn Defekte über eine längere Wegstrecke des Wurzelkanals vorhanden sind, ermöglichen sie einen Flüssigkeitstransport in diesem Bereich und beeinträchtigen die Dichtheit der Wurzelfüllung. Allerdings wurden in der vorliegenden Studie keine Defekte beobachtet, die sich über mehrere Schnittflächen erstreckten und somit einen längeren Transportweg zur Verfügung stellen würden. In der klinischen Situation dürften vielmehr nicht erschlossene Teile eines komplexen Wurzelkanalsystems, wie z.B. Querverbindungen zwischen Wurzelkanälen oder zusätzliche Kanäle, für die Undichtheit von Wurzelfüllungen und den daraus resultierenden Misserfolg verantwortlich sein.

In der Literatur wird ein Flächenanteil des Sealers von maximal 10% (Schäfer 2001) oder 5% (Rudolf Beer *et al.* 2004) gefordert, ohne dass dafür wissenschaftliche Beweise vorliegen würden (Hofmann 2013). Sealern wird eine mehr oder weniger große Löslichkeit zugeschrieben. Werden wurzelkanalgefüllte Zahnwurzeln in Scheiben geschnitten und die Präparate in Wasser gelagert, so ist bei Verwendung eines

Materials auf ZnO-Eugenol-Basis die Auflösung des Sealers nach 2 Jahren makroskopisch erkennbar (Peters 1986). Weitere Studien haben die hohe Löslichkeit von ZnO-Eugenol-Sealern bestätigt; demgegenüber ist die Löslichkeit von Sealern der Stoffklassen Epoxid-Kunststoffe (zu der auch der in der vorliegenden Studie verwendete Sealer gehört), Polyketone und Silikone sehr gering (Schäfer & Zandbiglari 2003, Poggio *et al.* 2010).

Als Ursache für Dimensionsveränderungen von Sealern kommt zunächst eine Abbindekontraktion in Frage. Im weiteren Verlauf kann es jedoch durch Wasseraufnahme aus der Umgebung, entweder durch das Foramen apikale oder über die Dentintubuli, zu einer Expansion kommen, die die Abbindekontraktion kompensiert oder sogar übersteigt. Die Norm ISO 6876 (Wurzelkanalfüllmaterialien) sieht deshalb die Wasserlagerung der Proben zwischen den Messungen vor (Orstavik *et al.* 2001). Eine nach diesem Protokoll durchgeführte Studie zeigt für einen Sealer auf Silikon-Basis exemplarisch auf, dass beim gleichen Material Trockenlagerung zur Kontraktion und Wasserlagerung zur Expansion führen kann. Für den in der vorliegenden Studie verwendeten Sealer auf Epoxid-Kunststoffbasis wurde eine sehr gute Dimensionsstabilität mit geringer Expansion beobachtet (Orstavik *et al.* 2001).

Hinsichtlich der eigentlichen Zielgröße, nämlich der Dichtheit von Wurzelfüllungen, liegen innerhalb derselben Arbeitsgruppe jedoch widersprüchliche Ergebnisse vor. Für das Material AH26, den Vorläufer des in der vorliegenden Studie verwendeten Materials AH-Plus, wurde zunächst eine bessere Dichtheit bei Applikation in dünner (0.05mm) als in dicker Schichtstärke (0.3mm) und eine bessere Dichtheit nach 1 Jahr Wasserlagerung als nach 1 Woche beobachtet (Wu *et al.* 1995). Die gleiche Arbeitsgruppe fand jedoch unter Verwendung unabhängiger Proben für das gleiche Material eine vergleichbare Dichtheit bei dünner und dicker Schichtstärke, jedoch eine Verschlechterung der Dichtheit nach Wasserlagerung, in diesem Falle nach 2 Jahren (Kontakiotis *et al.* 1997). In einem Bakterienpenetrationsmodell wurde für den Sealer AH-Plus keine Abhängigkeit der Dichtheit von der Sealerschichtstärke beobachtet; andere Sealer wiesen allerdings sehr wohl in dicker Schichtstärke eine schlechtere Dichtheit auf (De Deus *et al.* 2006a).

Trotz dieser nicht voll befriedigenden Studienlage erscheint es jedoch vernünftig, eine möglichst geringe Schichtstärke des Sealers anzustreben, da diese Schicht anfällig ist

für das Auftreten von Defekten, wie auch für Dimensionsveränderungen in Folge der Abbindevorgänge, der späteren Wasseraufnahme sowie der Löslichkeit.

4.1 Methodenkritik

Als In-vitro Testsystem dienten 40 Wurzelkanalmodelle in Acrylblockchen, welche mit dem Mtwo® Feilensatz auf identische ISO-Werte aufbereitet wurden. Dies ermöglichte bei den Untersuchungen auf standardisierte Proben hinsichtlich der Kanallänge und der Kanalkonfiguration zurückgreifen zu können. Zusätzlich bietet sich dadurch die Möglichkeit, auch den Kanalquerschnitt zu normieren, also vor allem ovale Formen wie sie bei der Verwendung menschlicher Zähne oft vorliegen, zu vermeiden. Dieser Punkt stellte in vorhergegangenen Arbeiten, gerade bei kalten Füllungstechniken, eine nicht beeinflussbare Größe dar (Wu *et al.* 2001, Wu & Wesselink 2001, De Deus *et al.* 2006b).

Darüber hinaus ist bei der Verwendung gerader Wurzelkanäle leichter ein standardisiertes Aufbereiten und Abfüllen erzielbar (Rice 1986).

Die Messapparatur zur Standardisierung der beim Füllen wirkenden Kräfte ermöglichte deren Registrierung, Speicherung und Protokollierung und damit die Normierung dieser Kräfte. In ihrem Aufbau ähnelt die Apparatur dem von Blum 1997 verwendeten Versuchsaufbau. Als Kritik am Messaufbau ist anzuführen, dass nur vertikal wirkende Kräfte direkt gemessen werden, sich aber die Kräfte bei der lateralen Verdichtung in eine vertikale und laterale Komponente unterteilen lassen.

Die enge Wahl der Schnittbereiche in 0,5mm Schritten bis zur Höhe von 5mm und weiter in 1mm-Schritten bis 14mm vor Arbeitslänge weicht von der Vorgehensweise vergleichbarer Arbeiten ab. Beer beschränkt sich auf einen Querschnitt in der Höhe 1,5mm vor Arbeitslänge (S. Beer *et al.* 2009). De Deus und Wu schneiden jeweils auf Höhe 2mm und 4mm (De Deus *et al.* 2006b, Wu *et al.* 2001, Wu & Wesselink 2001). Dem aufwändigeren Vorgehen steht der Vorteil entgegen, dass eine Aussage bezüglich der Füllungsqualität über den gesamten Kanalverlauf hinweg getroffen werden kann.

Zur Erstellung der Querschnitte decken sich die im Rahmen dieser Arbeit geleisteten Voruntersuchungen mit den Erfahrungen anderer Autoren (De Deus *et al.* 2006b). So zeigte sich in Vorversuchen, dass das Schneiden der Proben mit einer Innenlochsäge vermehrt zu Artefakten und Schäden an der thermoplastischen Guttapercha führt und eine mikroskopische Auswertung somit nicht möglich ist. Unter Verwendung eines Mikroschleifsystems (Fa. EXAKT Apparatebau, Nordersted, Deutschland) unter ausreichender Wasserkühlung hingegen ließen sich qualitativ hochwertige Schlibfbilder erstellen, welche dann analog zu vorhergehenden Studien am Auflichtmikroskop (Leica EZ4D, Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Deutschland) digital abfotografiert wurden. (De Deus *et al.* 2006b, S. Beer *et al.* 2009)

Die Vermessung der Bilder erfolgt in allen vergleichbaren Studien mithilfe einer Bildanalysesoftware, wobei sich neuere Studien vor allem der Software Sigma Scan Pro 5 (SPSS/IBM Company, München, Deutschland) bedienen.

4.2 Ergebniskritik

Da sich vorhergehende Studien lediglich auf das apikale Kanaldrittel beschränken, bietet es sich an die Ergebnisse der hier vorliegenden Untersuchung in zwei Teilen zu besprechen: Zum einen den koronalen und mittleren Kanalanteil sowie das apikale Drittel.

Für das apikale Drittel der Wurzelkanäle zeigt sich keine statistisch signifikante Überlegenheit einer der Techniken gegenüber den anderen Proben Gruppen. Der Median an Guttapercha bzw. Guttapercha und Obturator beim GuttaMaster® System beträgt auf 3mm Höhe für alle Proben Gruppen 73,92% an der Gesamtfläche, was 0,254mm² entspricht.

Auf Schnitthöhe 1mm vor Apex liegt der mittlere Guttaperchaanteil bei 70,22% die Streuung der Werte liegt zwischen 85,48% für das 25%-Perzentil 62,36% für das 75%-Perzentil. Der Sealeranteil liegt ergänzend dazu auf 3mm bei einem Median von 24,8%, auf 1mm vor Arbeitslänge 26,8%.

Dies steht im Widerspruch zu vorhergegangenen Untersuchungen, in denen eine klare Überlegenheit der warm thermoplastischen Techniken (Thermafil®, System B, Ultrafil®) in diesem Bereich vorlag. (Gencoglu *et al.* 1993, De Deus *et al.* 2006b)

Die Ursache für das bessere Ergebnis sahen die Autoren in der unterschiedlichen anatomischen Gestaltung des apikalen Bereiches, insbesondere das Vorliegen ovaler Kanalquerschnitte sei für kalt-lateral verdichtende und Einzelstifttechniken ein Problem. (Wu *et al.* 2001, De Deus *et al.* 2006b)

Da in der vorliegenden Untersuchung diese Faktoren durch die Verwendung möglichst standardisierter Proben und Aufbereitung ausgeschaltet wurde, könnte das Fehlen signifikanter Gruppenunterschiede möglicherweise hiermit begründet werden.

Eine separate Betrachtung der Probengruppe des warm-thermoplastischen Verfahrens auf Schnitthöhe 1mm scheint anhand des divergierenden Ergebnisses auf diesem Schnitt angebracht.

Der geringe Anteil an Guttapercha (Median 28,1%), verbunden mit hohem Sealeranteil (Median 60,3%) korreliert mit einer enormen Streuung der Werte. Es fand sich zudem in 6 von 10 Proben eine regelrechte Luftblase am Ende des Wurzelkanals, sodass nur wenig oder gar kein Sealer bzw. Guttapercha vorhanden war.

Die starke Abweichung der Werte resultiert möglicherweise in der Verwendung von Wurzelkanalmodellen ohne Foramen apicale. Beim Einbringen der warmen Guttapercha über den Obturator wird Luft eingeschlossen, die am Modell nicht nach apikal entweichen kann und dann am Ende des Wurzelkanals ein Luftpolster bildet.

Vergleichbare Untersuchungen an extrahierten Zähnen berichteten im Umkehrschluss hinsichtlich solcher Füllungstechniken bereits über das Problem des vermehrten Überpressens von Material über das Foramen apicale hinaus (Kytridou *et al.* 1999) . Diese *in vitro* gewonnenen Erkenntnisse bei vorhandenem, bzw. nicht vorhandenem Foramen sind möglicherweise ein weiterer Beleg dafür, welche große Bedeutung die anatomische Gestaltung des unteren Kanaldrittels für die Qualität des Füllungsergebnisses hat. Aber wie auch von Beer festgestellt, ist die Übertragung dieser *in vitro* gewonnenen Erkenntnisse auf die Klinik aufgrund der völlig anderen physiologischen Begebenheiten nur sehr eingeschränkt möglich. (R. Beer & Steier 2006)

Betrachtet man den koronalen und mittleren Kanalanteil, also von 14mm bis auf 3,5mm, so zeichnen sich im Gegensatz zum apikalen Anteil deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Füllungstechniken ab.

Ein signifikant besseres Ergebnis als alle anderen Probengruppen liefert die trägerbasierte thermoplastische Fülltechnik, was sich mit den Ergebnissen anderer Studien deckt (De Deus *et al.* 2006b, De Deus *et al.* 2003). Diese weist bis auf eine Höhe von 4mm vor Arbeitslänge einen durchschnittlichen Guttapercha-Obturatoranteil von 98,9% auf. Sowohl dieser Wert als auch der Median des Sealeranteiles von 1,5% im obig angegebenen Bereich erfüllen beide die von Beer und Steier geforderten Idealwerte für eine Wurzelkanalfüllung: minimal 95% Guttaperchaanteil und ergänzend maximal 5% Sealer. (R. Beer & Steier 2006)

Für die Probengruppe der Zentralstifttechnik liegt der mittlere Guttaperchaanteil im Bereich von 14mm bis 4mm bei 85,79%, damit liegen die Ergebnisse zwischen den sehr guten Werten des GuttaMaster® Systems und den Werten für die laterale Verdichtung. Diese beiden Probengruppen weisen im oberen und mittleren Kanaldrittel einen Guttaperchaanteil von 73,66% für die ISO-Spreadertechnik und 69,28% für die ABCD genormten Spreader vor.

Diese Werte entsprechen den durch andere Studien geäußerten Vermutungen: In Kanälen mit äußerst gleichmäßiger Aufbereitung und Gestaltung wie in diesen Untersuchungen der Fall, sind warm thermoplastische Techniken den kalten Techniken überlegen. (Wu *et al.* 2001, Wu & Wesselink 2001, De Deus *et al.* 2006b)

Im Falle der Zentralstifttechnik sollte die Form des Guttaperchastiftes möglichst genau der Aufbereitungsform entsprechen, um Inkongruenzen zwischen Guttapercha und Kanalwand auf ein Minimum zu beschränken. (R. Beer & Steier 2006)

All diesen Voraussetzungen – möglichst einheitliche Präparation, genau normierte Formgebung des Kanals – wurde in der vorliegenden Untersuchung durch die Verwendung von Acrylblockchen und der Aufbereitung mit dem Mtwo® Feilensatz die größtmögliche Aufmerksamkeit geschenkt, um möglichst alle in vivo beeinflussenden Faktoren auszuschalten.

Die Probengruppen der lateralen Verdichtung liegen, was die mittleren Werte an Guttapercha angeht, unterhalb der beiden anderen Probengruppen. Auf Schnitthöhe 4,5mm vor Apex findet sich zudem ein signifikant höherer Anteil an Defekten in der Wurzelkanalfüllung. In diesem Bereich findet das erste Spreading statt, welches aus klinischer Erfahrung heraus die Schwierigkeit mit sich bringt, die nachzuführenden Guttaperchaspitzen auf die zuvor mit dem Spreader penetrierte Tiefe nachzuschieben.

Die genauere Betrachtung und Differenzierung der Defekte hinsichtlich ihrer Ursache ergab jedoch, dass nur ein sehr geringer Anteil an Defekten in diesen Gruppen direkt auf die insuffiziente Applikation der Hilfsspitzen zurückzuführen ist.

Die Auswertung der Gruppen für die laterale Verdichtung ergibt des Weiteren, dass die maximale Penetrationstiefe der Hilfsspitzen in beiden Versuchsgruppen 4,5mm vor Apex nicht unterschreitet, was weit oberhalb der in der Literatur geforderten Penetrationstiefen liegt. (Baumann & Beer 2007, Tronstad 1991)

Hinsichtlich der Differenzierung zwischen ISO- und ABCD-genormter lateraler Verdichtung lässt sich feststellen, dass der prozentuale Anteil an Guttapercha für die ISO-normierte Gruppe, über den gesamten Kanalverlauf hinweg, unterhalb den Werten für die ABCD normierte Gruppe. Dies deckt sich mit den Untersuchungen bezüglich der Hilfsspitzenanzahl, die ABCD-normierte Gruppe weist mehr Hilfsspitzen im unteren Kanalbereich zwischen 7mm und 4,5mm auf, es sind also mehr Hilfsspitzen weiter in den Kanal eingedrungen, was in der Summe zu einem höheren Guttaperchaanteil führt.

Dies widerspricht den Ergebnissen anderer Studien, Jerome und Gani stellten in ihren Untersuchungen eine homogenere, dichtere Füllung unter der Verwendung von ISO normierten Systemen fest (Jerome *et al.* 1988, Gani *et al.* 2000). Ebenfalls widerspricht das Ergebnis der Untersuchungen den Annahmen einiger Autoren, dass durch konischere Spitzen der obere Kanalanteil schneller gefüllt wird und im apikaler gelegenen Teil mehr Defekte zurückbleiben würden als bei der Verwendung ISO-genormter Materialien und Instrumente (Heidemann 2001).

Im gesamten betrachtet decken sich diese Ergebnisse jedoch mit den Erkenntnissen früherer Autoren welche, verglichen mit der warm-vertikalen Verdichtung, einen geringeren Anteil an Guttapercha für die laterale Verdichtung feststellten. (De Deus *et al.* 2006b, Eguchi *et al.* 1985)

Hinsichtlich der während des Füllvorgangs wirkenden vertikalen Kräfte korrespondieren die erhaltenen Ergebnisse mit den Erfahrungen anderer Studien, bzw. halten die von diesen Arbeiten geforderten Grenzwerte ein. So ergeben sich in den Kraft-Zeit-Diagrammen für die einzelnen Füllungstechniken ähnliche Belastungsmuster wie in den Studien von Blum zur Krafteinwirkung bei unterschiedlichen Wurzelkanalfülltechniken (Blum *et al.* 1997). Lertchirakarn stellt fest, dass unter

Verwendung von Fingerspreadern maximal Kräfte von 10N-14N erzeugt werden, was jedoch in den Belastungsaufzeichnungen der vorliegenden Arbeit nie erreicht wird. Die Belastungsspitzen liegen zwischen 8N und 9N für die Techniken der kalt-lateralen Verdichtung sowie bei maximal 10N bei der warm-vertikalen Verdichtung. Dieser Wert kommt jedoch durch nachträglichen Druck auf den Obturator zustande und wird nicht beim Einbringen der Guttapercha-Obturator Spitze erreicht. Im Falle der Zentralstifttechnik liegt die Belastungsspitze mit zirka 4N weit unterhalb der erreichbaren Maxima. Generell ist zu sagen, dass trotz der gleichwertigen, bzw. teilweise sogar höheren Belastungsmaxima bei der thermoplastischen-trägerbasierten Füllungsmethode die Ergebnisse von Saw (Saw & Messer 1995), welcher eine insgesamt geringer Belastung bei den trägerbasierten-Obturatorssystemen feststellt, gestützt werden. Denn neben der maximalen Krafteinwirkung spielt auch deren Einwirkdauer und Quantität eine entscheidende Rolle. Bezogen auf die Gesamtbelastung besitzt demnach die Zentralstifttechnik und die trägerbasierte-warm-vertikale Wurzelfülltechnik einen Vorteil gegenüber den kalt-lateralen Techniken.

Die Wurzelfüllungen in dieser Arbeit wurden bewusst unter ständiger Sichtkontrolle der angewendeten Kraft über die Messeinheit angefertigt. Man kann nicht davon ausgehen, dass in der Praxis eine ähnlich genaue Einhaltung der Kraftmaxima stattfindet. Harvey stellt bzgl. der Selbstkontrolle angewendeter Kräfte bei einzelnen Behandlern 1981 fest, dass diese über eine Bandbreite von 10N-30N variieren, was obige Annahme bestätigt (Harvey *et al.* 1981).

4.3 Schlussfolgerung

Letztendlich ist festzustellen, dass unter Versuchsbedingungen wie sie in der vorliegenden Untersuchung herrschten, die trägerbasierte-thermoplastische Technik sowie die Zentralstifttechnik bzgl. des Flächenanteils an Guttapercha im oberen und mittleren Kanaldrittel zwar bessere Ergebnisse liefert als die laterale Verdichtung, im nach Meinung von De Deus entscheidenden, apikalen Kanaldrittel (De Deus *et al.* 2006b) jedoch ein angleichen der Werte aller Techniken auf ein nicht signifikantes Niveau stattfindet.

Auch hinsichtlich der einwirkenden Kräfte kann der trägerbasierten-thermoplastischen Technik, sowie der Zentralstifttechnik ein Vorteil gegenüber der kalt-lateralen Verdichtung attestiert werden, was sich mit den Erfahrungen anderer Autoren deckt (Saw & Messer 1995).

Diese *in vitro* gewonnenen Erkenntnisse besitzen nur zum Teil Aussagekraft für die Klinik und stellen deshalb, wie schon andere Autoren bemerken, die Forderung nach weiterführenden klinischen Studien zur Überprüfung der Ergebnisse. (Gencoglu *et al.* 1993, Jarrett *et al.* 2004)

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurden 4 unterschiedliche Wurzelkanalfülltechniken miteinander verglichen.

Als Versuchssystem dienten 40 Acrylblockchen mit geradem Wurzelkanal, welche mit dem Mtwo® System der Firma VDW / München möglichst standardisiert aufbereitet wurden. Es fand eine Einteilung der Proben in 4 Versuchsgruppen gemäß den verschiedenen Füllungstechniken statt.

- Gruppe 1: Kalt-laterale Verdichtung unter Verwendung ISO-genormter NiTi-Spreader und Hilfsspitzen mit 2% Konizität [LV-ISO]
- Gruppe 2: Kalt-laterale Verdichtung unter Verwendung stärker konischer, hersteller-genormter NiTi-Spreader und Hilfsspitzen [LV-ABCD]
- Gruppe 3: Warm-vertikale Verdichtung unter Verwendung eines träger-basierten Systems (Guttamaster® Obturatorsystem, VDW) [GM]
- Gruppe 4: Zentralstifttechnik [ZS]

Um möglichst alle Einflussfaktoren auszuschalten wurde zur Standardisierung bei allen vier Gruppen der Sealer AH-Plus® (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) verwendet und die vertikal wirkenden Kräfte mithilfe eines Biegebalkensensors (Burster Präzisionsmechanik GmbH & Co. KG, Gernsbach, Deutschland) ermittelt und kontrolliert.

Anschließend wurden die Probenblockchen mithilfe eines Mikroschleifsystems (EXAKT Apparatebau GmbH & Co. KG, Norderstedt, Deutschland) von koronal nach apikal reduziert – in Schritten von einem Millimeter im Bereich von 14mm bis 5mm vor Apex, in halben Millimeter Schritten von 4,5mm bis zum Apex.

Das Erstellen von digitalen Schliffbildern auf den einzelnen Schnitthöhen erfolgte unter 35facher Vergrößerung am Auflichtmikroskop. Die Flächenanteile von Guttapercha, Sealer und Defekten wurde mittels der Imagesoftware Sigma Scan 5.0 Pro (Systat Software Inc., Chicago IL, USA) vermessen.

Die Erfassung der ermittelten Flächenverhältnisse erfolgte in Microsoft Excel®, die statistische Auswertung in SPSS 16 (SPSS/IBM Company, München, Deutschland).

Die Werte aller vier Methoden wurden einer Rangvarianzanalyse (Kruskal-Wallis Test) und einem Post-hoc-Test (Nemenyi Test) unterzogen, dabei ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den vier Füllungsmethoden im koronalen und mittleren Kanaldrittel, apikal konnte kein signifikante Differenz festgestellt werden.

Hinsichtlich des prozentualen Anteiles an festem Füllstoff, also Guttapercha bzw. Guttapercha und Obturator zeigt sich die trägerbasierte-thermoplastische Technik mit einem mittleren Füllstoffanteil von 98,9% im Bereich von 14mm bis 4mm den anderen Techniken überlegen. Die Zentralstifttechnik liegt in diesem Bereich mit 85,8% zwischen der thermoplastischen Technik und den beiden Gruppen der lateralen Verdichtung, welche mit 73,7% (LV-ISO) und 69,3% (LV-ABCD) den geringsten Anteil an Guttapercha für diesen Kanalabschnitt aufweisen.

Im Bezug auf den Guttaperchagehalt einer Wurzelkanalfüllung ist die warm thermoplastische Technik den kalten Füllungstechniken überlegen. Diese Ergebnisse entsprechen den in der aktuellen Literatur gewonnen Erkenntnissen.

Es sollte jedoch betont werden, dass im Bezug auf das entscheidende apikale Kanaldrittel kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden konnte, was möglicherweise durch die standardisierten Versuchsbedingungen zu erklären ist. Andere Autoren haben bereits mehrfach auf die Tatsache hingewiesen, dass diese Bedingungen in vivo nicht vorliegen, weshalb dort warm thermoplastische Verfahren einen Vorteil gegenüber den kalten Techniken besitzen.

Vergleicht man die Ergebnisse der Zentralstifttechnik mit den Probengruppen der lateralen Verdichtung, so stellt sich die Einstiftmethode als probate Alternative zu der wesentlich aufwändigeren lateralen Verdichtung dar. Es muss jedoch betont werden, dass der zu obturierende Wurzelkanal eine möglichst gleichmäßige Präparation und Formgebung wie der zur Füllung benutzte Guttaperchastift erhalten sollte. Ist dies nicht zu gewährleisten, sollte anderen Fülltechniken Vorrang gewährt werden.

Abschließend ist hervorzuheben, dass alle in der vorliegenden Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse in vitro ermittelt wurden und somit nur eine Tendenz für die Klinik bieten können. Zu viele beeinflussende Faktoren wie etwa die anatomischen Besonderheiten der einzelnen Situation, der erschwerte Zugang im Seitenzahnbereich oder die Verfassung und Belastbarkeit des Patienten lassen eine direkte Übertragung eher kritisch erscheinen.

6. Literaturverzeichnis

- Barone C, Dao TT, Basrani BB, Wang N, Friedman S. Treatment outcome in endodontics: the Toronto study--phases 3, 4, and 5: apical surgery. *J Endod* 2010;36:28-35.
- Baumann M. Endodontie: Rückblick und Ausblick. *Endod J* 2002;6-17.
- Baumann M, Beer R. Farbatlant der Zahnmedizin. Endodontologie. Thieme, 2007.
- Beer R, Baumann MA, Kielbassa AM. Taschenatlas der Endodontie. Stuttgart [u.a.]: Thieme, 2004.
- Beer R, Steier L. Wurzelkanalfüllung mit Guttapercha. *Dtsch Zahnärztebl* 2006;6:270-278.
- Beer S, Vespermann L, Beer R. Guttapercha- vs Sealeranteil in Abhängigkeit der Kanalinstrumentationstechnik einfach gekrümmter Wurzelkanäle. *Dtsch Zahnärztebl* 2009;118(5):214-226.
- Berry KA, Loushine RJ, Primack PD, Runyan DA. Nickel-titanium versus stainless-steel finger spreaders in curved canals. *J Endod* 1998;24:752-754.
- Blum JY, Esber S, Micallef JP. Analysis of forces developed during obturations. Comparison of three gutta-percha techniques. *J Endod* 1997;23:340-345.
- Buchanan LS. The continuous wave of condensation technique: a convergence of conceptual and procedural advances in obturation. *Dent Today* 1994;13:80, 82, 84-85.
- Buchanan LS. The continuous wave of obturation technique: 'centered' condensation of warm gutta percha in 12 seconds. *Dent Today* 1996;15:60-62, 64-67.
- de Chevigny C, Dao TT, Basrani BR, Marquis V, Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S. Treatment outcome in endodontics: the Toronto study--phases 3 and 4: orthograde retreatment. *J Endod* 2008;34:131-137.
- De Deus, Coutinho-Filho T, Reis C, Murad C, Paciornik S. Polymicrobial leakage of four root canal sealers at two different thicknesses. *J Endod* 2006a;32:998-1001.
- De Deus, Gurgel-Filho ED, Magalhaes KM, Coutinho-Filho T. A laboratory analysis of gutta-percha-filled area obtained using Thermafil, System B and lateral condensation. *Int Endod J* 2006b;39:378-383.
- De Deus, Martins F, Lima AC, Gurgel-Filho ED, Maniglia CF, Coutinho-Filho T. Analysis of the film thickness of a root canal sealer following three obturation techniques. *Pesqui Odontol Bras* 2003;17:119-125.

- DGZ/DGZMK. Stellungnahme zur Anwendung aldehydfreisetzender zahnärztlicher Materialien. Dtsch Zahnärztl Z 1997;
- DGZ/DGZMK. Stellungnahme der DGZMK/DGZ zu der Anfrage des Bundesinstitutes für Arzneimittel und Medizinprodukte über die Anwendung (para)formaldehydhaltiger Präparate. Dtsch Zahnärztl Z 1998;52:772-773.
- DGZ/DGZMK. Stellungnahme zu Wurzelkanalfüllpasten und -füllstiften. Dtsch Zahnärztl Z 2000;7.
- DGZ/DGZMK, Hülsmann M, Schäfer E. Stellungnahme: Good clinical practice: die Wurzelkanalbehandlung für den Beirat "Endodontologie" der DGZ. Dtsch Zahnärztl Z 2005;60 (2005):
- DGZMK und DGZ. Stellungnahme der DGZMK/DGZ zu der Anfrage des Bundesinstitutes für Arzneimittel und Medizinprodukte über die Anwendung (para)formaldehydhaltiger Präparate. Deutsche zahnärztliche Zeitung 1998;52:772-773.
- Eguchi DS, Peters DD, Hollinger JO, Lorton L. A comparison of the area of the canal space occupied by gutta-percha following four gutta-percha obturation techniques using Procosol sealer. J Endod 1985;11:166-175.
- Europäischen Gesellschaft für Endodontologie (ESE) (1994): Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung. In: Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie.
- Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S. Treatment outcome in endodontics- the Toronto Study. Phase II: initial treatment. J Endod 2004;30:302-309.
- Friedman S, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment. J Endod 2003;29:787-793.
- Gani O, Visvisian C, de Caso C. Quality of apical seal in curved canals using three types of spreaders. J Endod 2000;26:581-585.
- Gencoglu N, Samani S, Gunday M. Dentinal wall adaptation of thermoplasticized gutta-percha in the absence or presence of smear layer: a scanning electron microscopic study. J Endod 1993;19:558-562.
- Gharai SR, Thorpe JR, Strother JM, McClanahan SB. Comparison of generated forces and apical microleakage using nickel-titanium and stainless steel finger spreaders in curved canals. J Endod 2005;31:198-200.
- Gound TG, Riehm RJ, Odgaard EC, Makkawy H. Effect of spreader and accessory cone size on density of obturation using conventional or mechanical lateral condensation. J Endod 2001;27:358-361.
- Grossman LI 1974): Endodontics: A peep into the past and to the future. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology **37**, 599-608.

- Guldener PHA, Langeland K. Endodontologie. Stuttgart [u.a.]: Thieme, 1982.
- Harvey TE, White JT, Leeb II. Lateral condensation stress in root canals. J Endod 1981;7:151-155.
- Heidemann D. Endodontie. München: Elsevier, Urban & Fischer, 2001.
- Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. München, Jena: Elsevier, Urban & Fischer, 2003.
- Hoffmann-Axthelm W. Geschichte der Zahnheilkunde. Berlin [u.a.]: Quintessenz-Verl.-GmbH, 1985.
- Holcomb JQ, Pitts DL, Nicholls JJ. Further investigation of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. J Endod 1987;13:277-284.
- Hön MM, LaBounty GL, Keller DL. Ultrasonic endodontic sealer placement. J Endod 1988;14:169-174.
- Hülsmann M. Endodontie. Stuttgart [u.a.]: Thieme, 2008.
- Jarrett IS, Marx D, Covey D, Karmazin M, Lavin M, Gound T. Percentage of canals filled in apical cross sections - an in vitro study of seven obturation techniques. Int Endod J 2004;37:392-398.
- Jeffrey IW, Saunders WP, Thomas GE. An investigation into the movement of sealer during placement of gutta-percha points. Int Endod J 1986;19:21-28.
- Jerome CE, Hicks ML, Pelleu GB, Jr. Compatibility of accessory gutta-percha cones used with two types of spreaders. J Endod 1988;14:428-434.
- Johnson WB. A new gutta-percha technique. J Endod 1978;4:184-188.
- Joyce AP, Loushine RJ, West LA, Runyan DA, Cameron SM. Photoelastic comparison of stress induced by using stainless-steel versus nickel-titanium spreaders in vitro. J Endod 1998;24:714-715.
- Kontakiotis EG, Wu MK, Wesselink PR. Effect of sealer thickness on long-term sealing ability: a 2-year follow-up study. Int Endod J 1997;30:307-312.
- Kytridou V, Gutmann JL, Nunn MH. Adaptation and sealability of two contemporary obturation techniques in the absence of the dentinal smear layer. Int Endod J 1999;32:464-474.
- KZVB. Statistische Basisdaten zur vertragszahnärztlichen Versorgung. Köln: Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, 2007.
- Lässig HE. Die Zahnheilkunde in Kunst- und Kulturgeschichte. Köln: DuMont, 1983.

- Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH. Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture. *J Endod* 1999;25:99-104.
- Limkangwalmongkol S, Burtscher P, Abbott PV, Sandler AB, Bishop BM. A comparative study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally condensed gutta-percha. *J Endod* 1991;17:495-499.
- McSpadden J. McSpadden JT. Self study course of the thermatic condensation of gutta-percha 1980;
- Orstavik D, Nordahl I, Tibballs JE. Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 2001;17:512-519.
- Peters DD. Two-year in vitro solubility evaluation of four Gutta-percha sealer obturation techniques. *J Endod* 1986;12:139-145.
- Pitts DL, Matheny HE, Nicholls JI. An in vitro study of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. *J Endod* 1983;9:544-550.
- Poggio C, Arciola CR, Dagna A, Colombo M, Bianchi S, Visai L. Solubility of root canal sealers: a comparative study. *Int J Artif Organs* 2010;33:676-681.
- Rice TR, Weine F.S. The position of finger spreaders during lateral condensation. *The Compendium* 1986;7:451-445.
- Saw LH, Messer HH. Root strains associated with different obturation techniques. *J Endod* 1995;21:314-320.
- Schäfer E. Wurzelkanalfüllmaterialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 2000;
- Schäfer E. Wurzelkanalfüllmaterialien - Ein Überblick. Teil1: Wurzelkanalfüllpasten. *Endodontie* 2001;10:337-348.
- Schäfer E. Bewertung aktueller Wurzelkanalfüllmaterialien. *Zahnärztl Mitt* 2003;24.
- Schäfer E, Zandbiglari T. Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *Int Endod J* 2003;36:660-669.
- Schilder H. Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am* 1967;7:723-744.
- Schmidt KJ, Walker TL, Johnson JD, Nicoll BK. Comparison of nickel-titanium and stainless-steel spreader penetration and accessory cone fit in curved canals. *J Endod* 2000;26:42-44.
- Simons J, Ibanez B, Friedman S, Trope M. Leakage after lateral condensation with finger spreaders and D-11-T spreaders. *J Endod* 1991;17:101-104.
- Sobhi MB, Khan I. Penetration depth of nickel titanium and stainless steel finger spreaders in curved root canals. *J Coll Physicians Surg Pak* 2003;13:70-72.

Strübig W. Geschichte der Zahnheilkunde. Köln, D: Dt. Ärzte-Verlag, 1989.

Tronstad L. Clinical endodontics. Stuttgart [u.a.]: Thieme, 1991.

VDW (2009): Informationsmaterial zum Mtwo System. In: Informationen zur Anwendung ed. VDW GmbH M, Deutschland.

Wilson BL, Baumgartner JC. Comparison of spreader penetration during lateral compaction of .04 and .02 tapered gutta-percha. J Endod 2003;29:828-831.

Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR. Leakage of four root canal sealers at different thickness. Int Endod J 1994;27:304-308.

Wu MK, Kast'akova A, Wesselink PR. Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars. Int Endod J 2001;34:485-491.

Wu MK, Wesselink PR. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. Int Endod J 2001;34:137-141.

Wu MK, Wesselink PR, Boersma J. A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. Int Endod J 1995;28:185-189.

7. Anhang

7.1 Herstellerverzeichnis

Aceton GmbH Germany	D-40822	Mettmann
Burster Präzisionsmechanik GmbH & Co. KG	D-76593	Gernsbach
Ciba SC GmbH	D-79664	Wehr
Dentsply De-Trey GmbH	D-78467	Konstanz
Dentsply Maillefer	CH-1338	Ballaigues
EXAKT Apparatebau GmbH & Co. KG	D-22851	Norderstedt
Frasaco GmbH	D-88069	Tettngang
Henry Schein Dental Depot GmbH	D-63225	Langen
Joachim Koopmann Software	D- 29559	Wrestedt/Stederdorf
Kodak GmbH	D-70327	Stuttgart
Leica Microsystems GmbH	D-35578	Wetzlar
Microsoft Deutschland GmbH	D-85716	Unterschleißheim
Roeko GmbH & Co. KG	D-89129	Langenau
Satelec-Pierre Rolland GmbH	D-40822	Mettmann
SPSS/IBM Company	D-81925	München
Systat Software Inc.	USA- 60606	Chicago,IL
UHU GmbH & Co KG	D-77815	Bühl/Baden
VDW GmbH	D-81709	München

Danksagung

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gilt Priv.-Doz. Dr. Norbert Hofmann für die Überlassung des Dissertationsthemas, sowie der fachlichen Betreuung während der Anfertigung der Dissertationsschrift.

Des Weiteren möchte ich mich aus ganzem Herzen bei Christine bedanken, ohne deren Unterstützung während der letzten Jahre diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre.

