

Applikation eines kaltplastischen Wurzelfüllmaterials (GuttaFlow[®])
in ISO-genormte Kanallumina

Eine In-vitro-Studie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Ingo Kessel
aus Bonn-Duisdorf

2015

Angefertigt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. A.Braun
2. Gutachter: Prof. Dr. med. dent. H.Stark

Tag der Mündlichen Prüfung: 09.09.2015

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahn-
heilkunde des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Bonn
Direktor: Professor Dr. Dr. S. Jepsen

Diese Arbeit widme ich meiner Frau Verena,
meiner Tochter Lia Josephina,
meinem Sohn Julius Leander
und meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Inhaltsübersicht | - 5 - |
| 1 Einleitung und Ziel der Arbeit | - 8 - |
| 1.1 Einführung..... | - 8 - |
| 1.2 Wurzelkanalaufbereitung | - 8 - |
| 1.2.1 Allgemeines..... | - 8 - |
| 1.2.2 Manuelle Wurzelkanalaufbereitung | - 10 - |
| 1.2.3 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung | - 11 - |
| 1.3 Wurzelkanalfüllung | - 14 - |
| 1.3.1 Historisches..... | - 14 - |
| 1.3.2 Klassifizierung der Wurzelfüllmaterialien | - 15 - |
| 1.3.3 Klassifizierung der Wurzelfülltechniken | - 28 - |
| 1.3.4 Apikaler Endpunkt | - 33 - |
| 1.3.5 Postendodontische Versorgung..... | - 34 - |
| 1.4 Ziel der Arbeit..... | - 35 - |
| 2 Materialien und Methoden | - 36 - |
| 2.1 Materialbeschreibung Gutttaflow | - 36 - |
| 2.2 Herstellung der ISO-genormten Wurzelkanäle mit apikalem Wachsreservoir | - 37 - |
| 2.2.1 Herstellung des apikalen Wachsreservoirs | - 37 - |
| 2.2.2 Befestigung des Wachsreservoirs an ISO- genormten Fingerspreadern ... | - 39 - |
| 2.2.3 Einbetten der Fingerspreader in Kunststoff..... | - 42 - |
| 2.3 Aufteilung der Versuchsgruppen | - 44 - |
| 2.4 Erläuterung der Fülltechniken | - 45 - |
| 2.5 Röntgendokumentation..... | - 47 - |
| 2.5.1 Röntgenologische Auswertung | - 49 - |

| | | |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 2.6 | Fotodokumentation | - 54 - |
| 2.7 | Zwischenfälle | - 56 - |
| 2.8 | Auswertung | - 57 - |
| 3 | Ergebnisse | - 60 - |
| 3.1 | Ergebnisse bezüglich der Dichtigkeit in Abhängigkeit von der ISO- Größe | - 60 - |
| 3.1.1 | Ergebnisse der Gruppe I | - 60 - |
| 3.1.2 | Ergebnisse der Gruppe II | - 62 - |
| 3.1.3 | Ergebnisse der Gruppe III | - 64 - |
| 3.1.4 | Ergebnisse der Gruppe IV | - 66 - |
| 3.1.5 | Ergebnisse der Gruppe V | - 68 - |
| 3.1.6 | Ergebnisse der Gruppe VI | - 70 - |
| 3.1.7 | Ergebnisse der Gruppe VII | - 72 - |
| 3.2 | Ergebnisse bezüglich der Länge in Abhängigkeit von der ISO- Größe..... | - 74 - |
| 3.2.1 | Ergebnisse der Gruppe I | - 74 - |
| 3.2.2 | Ergebnisse der Gruppe II | - 76 - |
| 3.2.3 | Ergebnisse der Gruppe III | - 78 - |
| 3.2.4 | Ergebnisse der Gruppe IV | - 80 - |
| 3.2.5 | Ergebnisse der Gruppe V | - 82 - |
| 3.2.6 | Ergebnisse der Gruppe VI | - 84 - |
| 3.2.7 | Ergebnisse der Gruppe VII | - 86 - |
| 3.3 | Ergebnisse bezüglich der Dichtigkeit in Abhängigkeit von der gewählten Applikationstechnik..... | - 88 - |
| 3.4 | Ergebnisse bezüglich der Länge in Abhängigkeit von der gewählten Applikationstechnik..... | - 90 - |
| 4 | Diskussion..... | - 92 - |
| 4.1 | Dichtigkeit | - 92 - |
| 4.2 | Länge | - 97 - |

| | | |
|------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
| 5 | Zusammenfassung | - 101 - |
| 6 | Anhang | - 103 - |
| 6.1 | Tabellen zur statistischen Auswertung..... | - 103 - |
| 6.1.1 | Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe I | - 103 - |
| 6.1.2 | Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe II | - 103 - |
| 6.1.3 | Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe III | - 104 - |
| 6.1.4 | Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe IV..... | - 104 - |
| 6.1.5 | Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe V..... | - 105 - |
| 6.1.6 | Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe VI..... | - 105 - |
| 6.1.7 | Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe VII..... | - 106 - |
| 6.1.8 | Homogene Untergruppen für Länge Gruppe I | - 106 - |
| 6.1.9 | Homogene Untergruppen für Länge Gruppe II | - 107 - |
| 6.1.10 | Homogene Untergruppen für Länge Gruppe III | - 107 - |
| 6.1.11 | Homogene Untergruppen für Länge Gruppe IV | - 108 - |
| 6.1.12 | Homogene Untergruppen für Länge Gruppe V | - 108 - |
| 6.1.13 | Homogene Untergruppen für Länge Gruppe VI | - 109 - |
| 6.1.14 | Homogene Untergruppen für Länge Gruppe VII | - 109 - |
| 6.1.15 | Homogene Untergruppen für Dichtigkeit ISO 15 bis 40 | - 110 - |
| 6.1.16 | Homogene Untergruppen für Länge ISO 15 bis 40..... | - 110 - |
| 7 | Literaturverzeichnis..... | - 111 - |
| 8 | Danksagungen | - 136 - |
| 9 | Lebenslauf..... | - 137 - |

1 Einleitung und Ziel der Arbeit

1.1 Einführung

Bis zu den Anfängen der modernen Endodontie war die Zahnextraktion noch lange das Mittel der Wahl zur Schmerzbekämpfung bei Erkrankungen der Pulpa. Durch eine stetige Weiterentwicklung auf den Gebieten der Wurzelkanalaufbereitung und der Obturation des Wurzelkanalsystems gewinnt die endodontische Behandlung bis heute zunehmend an Bedeutung. Dies spiegelt sich in der ständig zunehmenden Anzahl endodontischer Therapien wider. Das Ziel einer endodontischen Behandlung ist die Erlangung von Schmerzfreiheit bei akuten Pulpitiden sowie bei apikaler Parodontitis und der langfristige Erhalt des betroffenen Zahnes als funktionstüchtige Kaueinheit. Abhängig vom Ausgangsbefund und vom Zahntyp können Erfolgsraten von über 90 Prozent bei Anwendung erprobter Techniken realisiert werden (Habl et al., 2005). Erreicht wird dies durch die kombinierte chemisch-mechanische Aufbereitung der Wurzelkanäle mit anschließender Obturation des Wurzelkanalsystems.

1.2 Wurzelkanalaufbereitung

1.2.1 Allgemeines

Zu Beginn der Wurzelbehandlung steht immer die mechanische Aufbereitung der Wurzelkanäle, welche für den Erfolg der Wurzelbehandlung maßgeblich ist (Koçkapan, 2003).

Die Ziele der Wurzelkanalaufbereitung können wie folgt definiert werden:

- Entfernung von pathologisch verändertem und nekrotischem Pulpagewebe
- Entfernung infizierten Kanalwanddentins
- Möglichst weitreichende Eliminierung aller pathogenen Mikroorganismen sowie deren Stoffwechselprodukte
- Vereinfachte und effizientere Aufnahme desinfizierender Substanzen und Spülflüssigkeiten
- Konische Aufbereitung des Wurzelkanalsystems mit definiertem apikalen Endpunkt und Beibehaltung des ursprünglichen Kanalverlaufs zur Vorbereitung einer Wurzelfüllung

Diese Prinzipien sind durch eine mechanische Aufbereitung allein nicht zu erzielen, sondern erfordern immer eine kombiniert chemisch-mechanische Aufbereitung. Hierdurch kann eine Reduktion der Bakterienanzahl um den Faktor 10^2 bis 10^3 verwirklicht werden (Byström und Sundqvist, 1981).

Die Aufbereitung der Wurzelkanäle kann maschinell oder manuell erfolgen. Aufgrund der äußerst variablen Wurzelkanalanatomie mit differierender Anzahl, Größe und Struktur von Haupt- und Nebenkanälen ist es jedoch weder mit maschineller noch mit manueller Aufbereitung möglich, das Wurzelkanalsystem vollständig zu instrumentieren. Aus diesem Grund ist es notwendig, den in den uninstrumentierten Kanalabschnitten verbleibenden bakteriellen Biofilm durch zwischen den Instrumentierungen erfolgenden Spülungen mit chemischen Agenzien wie Natriumhypochlorit zu zerstören.

1.2.2 Manuelle Wurzelkanalaufbereitung

Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung erfolgt mit Hilfe von Fingerinstrumenten, welche in zahlreichen Variationen erhältlich sind. Die gebräuchlichsten Instrumente sind der Wurzelkanalbohrer oder auch Reamer, die K-Feile sowie die Headström-Feile, welche in der klassischen Ausführung alle aus Edelstahl gefertigt sind. Der Reamer besitzt einen dreieckigen oder quadratischen Querschnitt und wird vorzugsweise in drehend-schabender Arbeitsweise verwendet, was in einer kreisrunden Aufbereitung des Wurzelkanals resultiert. Diese Eigenschaft kann speziell bei gekrümmten Kanälen zu einer Verlegung apikaler Kanalabschnitte führen. Daher sollten Reamer heute nur noch in geraden und weitulmigen Kanälen Verwendung finden (Koçkapan, 2003). Die K-Feilen besitzen einen quadratischen Querschnitt, aber im Vergleich zum Reamer einen größeren Schneidekantenwinkel wie auch insgesamt mehr Schneiden. Die K-Feilen werden eher in ziehend-feilender Arbeitsweise eingesetzt und eignen sich daher auch zur Aufbereitung gekrümmter sowie ovaler Wurzelkanäle. Reamer und K-Feilen werden aus einem Rohling gedreht, bei der Headström-Feile dagegen werden die Schneidekanten in den Rohling eingeschliffen. Verwendet wird sie ebenfalls in linear-ziehender Arbeitsweise. Der große Schneidekantenwinkel in Kombination mit dem großen Spanraum macht die Headström-Feilen sehr effizient, aber auch anfällig für Instrumentenfrakturen. Auch sie sollten daher bevorzugt in geraden Kanälen verwendet werden. Allen Handinstrumenten gemein ist die Länge des Arbeitsteils von 16mm sowie die Konizität von 2%, das heißt die Dicke des Instrumentes nimmt von der Spitze bis zum Ende des Arbeitsteils um 0,02mm pro mm Arbeitsteil zu. Diese geringe Konizität der Instrumente kann bei der abschließenden Obturation des Wurzelkanalsystems erhebliche Schwierigkeiten bereiten. Aus diesem

Grund wurde die Step-Back- Technik entwickelt, welche bei der manuellen Aufbereitung als Goldstandard angesehen werden darf.

Hierbei wird nach erfolgter Bestimmung der Arbeitslänge mit Hilfe von Röntgenaufnahmen und/oder einer endometrischen Längenbestimmung bis zur erforderlichen Instrumentengröße auf Arbeitslänge aufbereitet. Die nächsthöhere Feilengröße wird dann nur noch auf eine Länge von Arbeitslänge minus 1mm eingeführt, bei der nächsten Größe wird auf Arbeitslänge minus 2mm instrumentiert. Dieser Vorgang wird 3- 4mal wiederholt und resultiert somit in einem konisch aufbereiteten Wurzelkanal. Problematisch ist in diesem Zusammenhang, dass durch die Materialeigenschaften der klassischen Wurzelkanalinstrumente aus Stahl der ursprüngliche Verlauf gekrümmter Wurzelkanäle begradigt werden kann. Es kommt zu einer Aufweitung und Schwächung des apikalen Endes des Wurzelkanals, schlimmstenfalls sogar zu einer Perforation (Guldener, 1989).

Um diese Effekte zu verhindern, ist ein dem Wurzelkanalverlauf entsprechendes Vorbiegen der Wurzelkanalinstrumente erforderlich. Auch die seit einigen Jahren erhältlichen flexiblen Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan tragen diesem Umstand Rechnung (Schäfer und Tepel, 1993).

1.2.3 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung ermöglicht bei richtiger Anwendung eine effizientere, da weniger zeitintensive Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle (Schäfer et al., 2004; Schäfer und Lohmann, 2002; Alam et al., 2006). Eine Einteilung der zahlreichen Systeme kann durch die Art des Antriebs vorgenommen werden und soll hier nur der Vollständigkeit halber

Erwähnung finden. Man unterscheidet maschinelle Systeme mit starrem Bewegungsablauf (Hub- und/oder Rotationsbewegung), maschinelle Systeme mit modifiziertem Bewegungsablauf (flexibler Bewegungsablauf, schwingende Systeme), Schallvibrations- und Ultraschallsysteme, vollrotierende Systeme mit NiTi-Instrumenten und neuere, nicht-instrumentelle Techniken (Laser, Endox, Vakuum-Pumpe) (DGZMK-Stellungnahme, 2005).

Zu den Systemen mit starrem Bewegungsablauf zählen beispielsweise das Racer-Winkelstück (W&H, Bürmoos, Österreich), der Endocursor (W&H, Bürmoos, Österreich) oder das Giromatic-System (Micro-Méga, Besançon, Frankreich). Die genannten Systeme werden überwiegend kritisch betrachtet, da die Anforderungen an Arbeitssicherheit, Reinigungsleistung und Erhalt des ursprünglichen Kanalverlaufs nur bedingt erfüllt werden (Hülsmann, 2000).

Die Systeme mit modifiziertem Bewegungsablauf, wie Excalibur (W&H, Bürmoos, Österreich), Endoplaner (Microna, Spreitenbach, Schweiz), EndoFlash (KaVo, Leutkirch) oder Canal-Finder (SET, Marseille, Frankreich) arbeiten mit Kombinationen aus Hub- und/oder Rotationsbewegungen oder niedrigfrequenten Schwingungen. Optimale Ergebnisse bezüglich der Aufbereitung des Wurzelkanals konnten experimentell nicht erzielt werden (Hülsmann, 2000).

Schall- und Ultraschallsysteme wie Sonic Air 3000 (Micro-Méga, Besançon, Frankreich), Piezon Master (EMS, Nyon, Schweiz) oder Cavi-Endo (Dentsply, Konstanz, Deutschland) arbeiten auf der Basis bekannter Schall- bzw. Ultraschallschwingungen. Die Aufbereitung von Wurzelkanälen mit Hilfe dieser Systeme wird unterschiedlich beurteilt. Die ultraschallgestützte Spülung von Wurzelkanälen scheint jedoch gegenüber der konventionellen

Wurzelkanalspülung Vorteile hinsichtlich der Reinigungsleistung zu haben (Hülsmann, 1993).

Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung erfolgt heute überwiegend mit rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten, welche in einem drehmomentbegrenzten Winkelstück betrieben werden. In den letzten Jahren konnten sich zahlreiche Systeme wie z.B. Lightspeed (Maxdental, Augsburg), Mity Roto Files (Loser, Leverkusen), ProFile und ProTaper (Dentsply/ Maillefer, Bellaigues, Schweiz), GT-Rotary Files (Dentsply/ Maillefer, Bellaigues, Schweiz), HERO 642 (Micro-Méga, Besançon, Frankreich), RaCe (FKG, La Chaux-de-Fonds, Schweiz) sowie Flexmaster (VDW, München) auf dem Markt etablieren.

Allen Systemen gemeinsam ist die Nickel-Titan-Legierung, welche i.d.R. aus 45% Titan und 55% Nickel bestehen. Das besonders niedrige Elastizitätsmodul verleiht den Instrumenten pseudoelastische Eigenschaften, wodurch der vollrotierende Einsatz auch in gekrümmten Wurzelkanälen ermöglicht wird (Schäfer et al., 2004). Viele Autoren bestätigen die vereinfachte und zeitsparende Arbeitsweise (Guelzow et al., 2005; Sonntag et al., 2003). Im Vergleich zu manuellen Aufbereitungsinstrumenten besitzen die rotierenden Nickel-Titan-Instrumente eine deutlich größere Konizität (4%, 6% oder noch größer) sowie eine nicht schneidende Spitze, welche einer Veränderung des ursprünglichen Kanalverlaufs entgegenwirken soll. Die meisten Instrumente werden mit der Crown-Down-Technik verwendet, was bedeutet, dass zunächst die koronalen Kanalabschnitte erweitert werden, bevor eine Instrumentierung auf volle Arbeitslänge erfolgt. Dies bewirkt eine Entlastung der Instrumentenspitze und wirkt somit Instrumentenfrakturen entgegen. Generell ist das gegenüber Handinstrumenten erhöhte Risiko einer Instrumentenfraktur (Sattapan et al., 2000; Bortnick et al., 2001) im

Wurzelkanal kritisch zu betrachten und durch geeignete Maßnahmen zu minimieren. Zu diesen zählen zum einen der Einsatz von Chelatoren, die intensive Spülung des Kanals zwischen den Instrumentierungsschritten und der Einsatz drehzahl- und drehmomentbegrenzter Motoren, zum anderen die Einhaltung der vom Hersteller angegebenen Anwendungshinweise bezüglich Häufigkeit der Anwendung, Drehmoment und Drehzahl bei gleichzeitig anzuwendender passiver, d.h. druckloser Arbeitsweise. Neuartige Antriebssysteme geben eine akustische Rückmeldung, wenn das programmierte Drehmoment bald erreicht wird und drehen rückwärts oder stoppen die Rotationsbewegung beim Erreichen des kritischen Wertes.

Der Vollständigkeit halber seien hier auch noch weitere Systeme wie diverse Lasersysteme, das Hochfrequenzchirurgie-System Endox (Orangedental, Steinberg, Deutschland), die Depotphorese sowie die Nichtinstrumentelle Technik (NIT) nach Lussi erwähnt, die jedoch in der Praxis derzeit kaum eine Rolle spielen.

1.3 Wurzelkanalfüllung

1.3.1 Historisches

In den Anfängen der endodontischen Therapie standen nur wenig geeignete Aufbereitungsinstrumente sowie Wurzelfüllmaterialien- und methoden zur Verfügung, welche eine verlässliche Behandlung eines Zahnes mit infizierter Pulpa ermöglichten. Eine gängige Methode war die Pulpenamputation. Hierbei wurde versucht, falls die vollständige Entfernung der Pulpa nicht gelang, mit Hilfe dauerhafter antiseptischer Einlagen die verbliebenen Pulparreste zu sterilisieren (Kantorowicz, 1924). Die hierfür verwendeten Präpara-

te, welche meist in Pastenform eingebracht wurden, enthielten oft Formaldehyd und/oder Thymol (Bach, 1930) und gelten heute als obsolet. Dennoch hat man die grundlegenden Anforderungen an die Wurzelbehandlung, wie das Arbeiten unter sterilen Kautelen, die möglichst vollständige Entfernung infizierten Gewebes, die Bedeutung einer korrekten Arbeitslänge (Andresen, 1912) und der dauerhafte hermetische Verschluss des Wurzelkanalsystems, welche auch heute noch für endodontische Behandlungen gelten, bereits sehr früh erkannt. Sachs beschreibt bereits 1894 eindrucksvoll die Anforderungen an eine ordnungsgemäß durchgeführte Wurzelbehandlung mit sofortiger Wurzelfüllung, welche mit den heutigen wissenschaftlich untermauerten Forderungen in weiten Teilen übereinstimmt (Sachs, 1894).

1.3.2 Klassifizierung der Wurzelfüllmaterialien

Das Ziel einer Wurzelkanalfüllung ist ein dauerhafter, hermetischer und biokompatibler Verschluss des Wurzelkanalsystems, welcher den Zutritt von Bakterien und Flüssigkeiten von der Mundhöhle bis in den apikalen Bereich verhindern soll (Wesselink, 1995). Die Anforderungen an ein solches Material definierten Grossman et al. (1988) wie folgt:

- Es soll leicht in den Wurzelkanal einzubringen sein
- Es soll den Wurzelkanal lateral und vertikal dicht verschliessen
- Es soll nicht schrumpfen

- Es soll unempfindlich und undurchlässig gegenüber Feuchtigkeit sein
- Es darf das Bakterienwachstum nicht fördern oder sollte sogar bakteriostatisch wirken
- Es soll radiopak sein
- Es soll den Zahn nicht verfärben
- Es soll das periapikale Gewebe nicht reizen
- Es soll sterilisierbar sein
- Es soll leicht wieder aus dem Kanal zu entfernen sein

Keines der heute bekannten Materialien für die Wurzelfüllung wird jedoch all diesen Anforderungen gerecht. Im Allgemeinen gilt heute die Kombination von Guttaperchastiften mit einem Wurzelkanalsealer, welche mit der Methode der lateralen Kondensation eingebracht werden, als Goldstandard (Heidemann, 1989).

Die Wurzelfüllmaterialien lassen sich nach ihrer Darreichungsform in feste (Wurzelfüllstifte) und nicht-feste (Wurzelfüllpasten) Materialien unterteilen. Den Anforderungen an ein ideales Wurzelfüllmaterial wird Guttapercha zwar nicht in allen Punkten gerecht, ist aber bezüglich der Biokompatibilität, dem Abdichtungsvermögen und der praktischen Handhabung den anderen Wurzelkanalstiften deutlich im Vorteil (Guldener et al., 1993).

Wurzelfüllstifte

- **Guttaperchastifte**

Guttapercha-Stifte für den dentalen Gebrauch bestehen aus Guttapercha, Zinkoxid, Wachsen und Kunststoffen als Weichmacher, Schwermetallsulfaten als Röntgenkontrastmittel, Farbstoffen für die ISO-Codierung und einigen Spurenelementen. Guttapercha ist der eingedickte Milchsaft des in Borneo, Siam und Sumatra vorkommenden Isonandra-Gutta-Baumes (Hülsmann, 1993). Guttaperchastifte weisen insgesamt eine gute Biokompatibilität auf (Spangberg et al., 1973), können aber dennoch bei Extrusion in das periapikale Gewebe eine verzögerte Ausheilung periapikaler Läsionen bewirken (Serene et al., 1988; Sjögren et al., 1995). Guttapercha kann relativ leicht in den Wurzelkanal eingebracht werden und schrumpft nicht, muss jedoch unabhängig von der verwendeten Fülltechnik immer in Verbindung mit einem Sealer eingebracht werden, da sie aufgrund der mangelnden Adhäsion am Kanalwanddentin alleine nicht in der Lage sind, den Wurzelkanal hermetisch zu verschliessen (Wollard et al., 1976; Schäfer et al., 2002; Tagger et al., 1994). Aufgrund der Materialeigenschaften (biegsam, kondensierbar, verformbar) werden Guttaperchastifte auch als halb-feste Wurzelkanalfüllstifte bezeichnet. Die im dentalen Bereich verwendete Guttapercha wird bei konventionellen Wurzelfüllstiften in der Beta-Form verwendet, bei thermoplastischen Fülltechniken findet überwiegend die Alpha-Guttapercha Verwendung. Letztere besitzt eine klebrigere und weichere Konsistenz. Beide Formen besitzen die gleichen mechanischen Eigenschaften, jedoch liegt der Schmelzpunkt bei der Alpha-Form um 9° Celsius niedriger (Goodman et al., 1974). Beide kristalline Formen können ineinander überführt werden.

- **Silberstifte**

Silberstifte sollen als feste Wurzelfüllstifte besonders in engen und gekrümmten Kanälen einfacher in den Wurzelkanal einzubringen sein (Hülsmann, 1995). Die festen Eigenschaften der Silberstifte bringen jedoch mit sich, dass eine Kondensation der Stifte im Wurzelkanal nicht möglich ist. Da jedoch, speziell bei gekrümmten Kanälen, eine kreisrunde Aufbereitung des Wurzelkanals häufig nicht möglich ist und auch nicht sinnvoll erscheint, müssen die Anteile des Wurzelkanals, welche nicht vom Silberstift ausgefüllt werden, mit Sealer gefüllt sein, wodurch der Anteil des Sealmaterials deutlich erhöht wird. Da die bislang bekannten Sealmaterialien alle eine Abbindekontraktion erfahren, ist ein schlechtes Abdichtungsvermögen der Wurzelfüllung die Folge. Ein weiterer Nachteil der Silberstifte ist ihre Korrosionsneigung beim Kontakt mit Gewebsflüssigkeiten. Hierbei entstehen zytotoxische Korrosionsprodukte (Handtmann et al., 1987, Lindemann et al., 1987). Die Korrosionsprodukte können dann in das periapikale Gewebe gelangen (Zielke et al., 1975) und dort akute oder chronische Entzündungsreaktionen auslösen (Gutiérrez et al., 1982). Auch Verfärbungen der Gingiva im Bereich der Wurzelspitze wurden beschrieben (Lindemann et al., 1987). Die sehr gute Röntgendichtigkeit der Silberstifte wird von vielen Autoren kritisch betrachtet, da vorhandene Undichtigkeiten in der Wurzelfüllung häufig nicht erkannt werden können (Hülsmann, 1995). Im Gegensatz zu Gutta-perchastiften lassen sich Silberstifte leicht sterilisieren. Das Entfernen von Silberstiften aus dem Wurzelkanal kann sich sehr schwierig gestalten, beziehungsweise durch die beschriebene Korrosion der Stifte sogar unmöglich werden (Hülsmann, 1995).

- **Gold- und Titanstifte**

Wurzelkanalstifte aus Gold oder aus Titan zeigen keinerlei Korrosion im Wurzelkanal (Guldener, 1989) und scheinen auch eine bessere Biokompatibilität aufzuweisen (Messing, 1980). Dennoch weisen sie Nachteile auf, wie sie auch von Silberstiften bekannt sind. Durch den runden Querschnitt und die fehlende Kondensierbarkeit resultiert ein erhöhter Sealeranteil bei der Wurzelfüllung und somit ein mangelhaftes Abdichtungsvermögen. Die Röntgenopazität ist mit der von Guttaperchastiften vergleichbar. Speziell bei Stiften aus Gold ist der Materialpreis deutlich höher als der von Gutta-percha. Eine Indikation für Titanstifte kann lediglich bei sehr engen Wurzelkanälen gegeben sein, denn bei weitleumig aufbereiteten Wurzelkanälen schneiden Wurzelfüllungen mit Guttaperchastiften deutlich besser ab (Timpawat et al., 1983, Wesselink, 1995).

- **Kunststoffstifte**

Reine Kunststoffstifte werden heute nicht mehr als Wurzelfüllmaterial verwendet. Sehr gebräuchlich sind jedoch mit Guttapercha ummantelte Kunststoffstifte, welche im Zusammenhang mit thermoplastischen Fülltechniken angewendet werden. Beispiele hierfür sind das Thermafil-System (Dentsply/ Maillefer, Bellaigues, Schweiz) und das Soft-Core System (Soft Core[®] Dental Production ApS, Kopenhagen, Dänemark). Die Trägerstifte auf Polymerbasis sind hierbei mit einer Alpha-Guttapercha ummantelt, welche vor Einbringen in den Wurzelkanal erwärmt wird. Durch die Temperaturerhöhung kommt es zu einer Expansion der Guttapercha (Schilder et al., 1985) mit einer anschließenden Volumenabnahme, wenn der Stift im Wur-

zelkanal abkühlt. Auf Einzelheiten zu den thermoplastischen Fülltechniken wird im Kapitel 1.3.3 näher eingegangen.

Wurzelfüllpasten/Sealer

Als definitive Wurzelfüllmaterialien wurden über viele Jahre reine Pastenfüllungen mit weichbleibenden Pasten durchgeführt. Die bekanntesten Vertreter sind die Chlorphenolkampfer-Jodoform-Paste nach Walkhoff oder auch die Chloropercha, bei dem es sich um in Chloroform gelöste Guttapercha handelt (Nolden, 1994). Wegen zyto- und neurotoxischer Wirkung der Pasten und weil sie im Wurzelkanal resorbiert werden, gelten diese heute als obsolet (Nolden, 1994; Guldener, 1989). Die Füllung der Wurzelkanäle erfolgt heute überwiegend als Kombination aus einem erhärtenden Wurzelkanalsealer und Wurzelfüllstiften. Ein Sealmaterial wird bei allen Fülltechniken benötigt und hat die Aufgabe, Hohlräume zwischen Wurzelfüllstiften und Wurzelkanalwand auszufüllen und somit die Wurzelfüllung abzudichten (Stock et al., 2005). Die alleinige Füllung mit einer erhärtenden Paste ohne Stifte ist aufgrund der den meisten Sealmaterialien eigenen Abbindekontraktion und den damit verbundenen Wandundichtigkeiten nicht in der Lage, den Wurzelkanal langfristig bakteriendicht zu versiegeln (Wu et al., 1994). Die Wurzelkanalsealer können nach ihrer chemischen Zusammensetzung wie folgt unterteilt werden (DGZMK, 1999):

- **Wurzelfüllpasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis**

Die Wurzelkanalsealer auf Zinkoxid-Eugenol-Basis werden als Zweikomponenten-Präparate vor dem Einbringen in den Wurzelkanal angemischt und erhärten dann in der Form eines löslichen Zinkeugenolates (Wilson et al.,

1973). Zahlreiche Studien bestätigen die Fähigkeit, den Wurzelkanal dauerhaft hermetisch zu verschliessen (Tepel et al., 1994; Ørstavik et al., 1987), was wohl auch auf die geringe Schrumpfung und die antibakteriellen Eigenschaften zurückzuführen ist (Roggendorf, 2004). Es konnte in vitro eine Zyto- und Neurotoxizität des Eugenols, welches auch im abgebundenen Eugenolat vorliegt, nachgewiesen werden (Guigand et al., 1999). Dies erlaubt jedoch keine Rückschlüsse auf die In-vivo- Anwendung (Klaiber et al., 1981). Bei Überstopfen des Materials in den Canalis Mandibularis können Sensibilitätsstörungen und dauerhafte Nervschädigungen die Folge sein (Kozam, 1977). Auch über die Förderung der Entstehung einer Aspergillose (Koch et al., 1993) sowie über allergisierendes Potential wurde berichtet (Grade, 1995). Die Löslichkeit der Wurzelkanalsealer auf Eugenol-Basis in Gewebsflüssigkeiten kann als weiterer Nachteil angesehen werden (Koçkapan, 2003). Vertreter der genannten Gruppe sind beispielsweise Hermetic (Lege artis, Dettenhausen, Deutschland), Grossman-Zement (Standard Dental), ProcoSol (Star Dental, DentalEZ Group, Lancaster, PA, USA) und Tubli-Seal (Sybron Endo, Orange, CA, USA).

- **Wurzelfüllpasten auf Epoxidharz-Basis**

In dieser Gruppe gibt es derzeit zwei Vertreter, nämlich das AH26[®] (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland), welches von Schroeder 1954 vorgestellt wurde (Schroeder, 1954), sowie das AH Plus[®] (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland), welches eine Weiterentwicklung des bekannten AH26[®] darstellt. Das AH26[®] ist in der Lage, den Wurzelkanal hermetisch zu verschliessen und eine randständige Wurzelfüllung zu erreichen (Guldener, 1993). Es weist eine gute Volumenbeständigkeit auf und expandiert leicht während der initialen Abbindereaktion (Wiener et al., 1971). Innerhalb der

ersten Tage wird im Rahmen der Abbindereaktion Formaldehyd in geringen Mengen freigesetzt (Spangberg et al., 1993), zu einem späteren Zeitpunkt ist dies nicht mehr nachweisbar. Die abgebundene Form scheint biologisch inert. Für die antibakteriellen Eigenschaften wird in erster Linie die genannte Formaldehydfreisetzung verantwortlich gemacht (Rappaport et al., 1964). Durch eine veränderte Zusammensetzung wird beim AH Plus[®] zu keinem Zeitpunkt Formaldehyd freigesetzt. Diese Tatsache in Kombination mit den antibakteriellen Eigenschaften, den sehr guten Dichtigkeitswerten, der geringfügigen Abbindeexpansion sowie der sehr geringen Löslichkeit machen das Produkt zu einem nahezu idealen Sealer (Roggendorf, 2004).

- **Wurzelfüllpasten auf Methakrylatbasis**

Wurzelkanalsealer auf Methakrylatbasis haben die Eigenschaft, unter Einfluss von (Gewebs-)Flüssigkeiten zu polymerisieren und dabei zu expandieren (Tanzilli et al., 1983). Im trockenen Milieu kommt es jedoch zu einer Kontraktion. Dieses Material ist resorbierbar (Woods et al., 1984) und schneidet im Vergleich zu anderen Wurzelfüllmaterialien bezüglich Biokompatibilität und Abdichtungsvermögen deutlich schlechter ab (Osins et al., 1983; Langeland et al., 1981). Einziger Vertreter ist das Hydron (Hydron, Canada).

- **Wurzelfüllpasten auf Polyketon-Basis**

Einziger Vertreter dieser Gruppe ist das Diaket (3M Espe, Seefeld, Deutschland). Es handelt sich um eine Mischung aus Vinylpolymerisaten, welche durch Komplexbildung aushärten. Im Tierversuch wurde eine neuro- und zytotoxische Wirkung nachgewiesen (Feiglin, 1987; Brodin, 1982). Die

Irritation des periapikalen Gewebes ist bei direktem Kontakt im Vergleich zu anderen Materialien schwach ausgeprägt und temporär (Olson et al., 1985). Diese Wurzelfüllungsmaterialien zeigen während und nach der Abbinde-reaktion weder karzinogene noch mutagene Wirkungen (Schweickl et al., 1991). Im Allgemeinen können Diaket gute Eigenschaften bezüglich Volumenbeständigkeit, Abdichtungsvermögen und Biokompatibilität bescheinigt werden (Ørstavik et al. 1987; Regan et al., 2002)

- **Wurzelfüllpasten auf Polydimethylsiloxan-Basis**

Zur Gruppe dieser auf der Basis additionsvernetzenden Silikons hergestellten Wurzelfüllpasten zählen RoekoSeal[®] Automix[®] (RSA)[®] (Roeko, Langenau, Deutschland) sowie GuttaFlow[®] (Roeko, Langenau, Deutschland).

RoekoSeal[®]

Bei RoekoSeal[®] handelt es sich um einen Wurzelkanalsealer auf Polydimethylsiloxanbasis. Eine hervorzuhebende Eigenschaft ist die leichte Expansion beim Abbindevorgang. In zahlreichen Studien erwiesen sich die Abdichtungseigenschaften von RoekoSeal[®] als sehr gut (Cobankara et al., 2002; Roggendorf et al., 2001; Wu et al., 2002). Von RoekoSeal[®] verspricht man sich eine Vereinfachung der Wurzelfülltechnik, da mit diesem Material bei Anwendung der Einstifttechnik die gleichen Dichtigkeitswerte wie bei Anwendung der lateralen Kondensation erreicht werden können (Wu et al., 2003). Zudem scheint Roekoseal[®] eine gute Biokompatibilität aufzuweisen (Gençoglu et al., 2003), antibakterielle Eigenschaften fehlen jedoch.

GuttaFlow[®]

GuttaFlow[®] ist die marktreife Variante des in der vorliegenden Arbeit untersuchten Wurzelkanalsealers GuttaFill. Es handelt sich um eine Weiterentwicklung des bekannten Sealers RoekoSeal[®], welches mit mikrofeinen Gut-taperchakügelchen angereichert wurde. Zudem erfolgte ein Zusatz von Nanosilber in kolloidaler Form, welches bei Escherischia Coli bereits bei sehr geringen Konzentrationen gute antibakteriellen Eigenschaften (Baker et al., 2005) aufweist. Guttaflow[®] konnte in Studien eine sehr gute Biokompatibilität bescheinigt werden (Eldeniz et al., 2007; Bouillaguet et al., 2006; Brzovic et al., 2005; Gençoglu et al., 2005; Gerosa et al., 2003).

- **Wurzelfüllpasten auf Salicylat-Basis mit Kalciumhydroxid**

Bei diesen Präparaten handelt es sich um CaOH-Zemente. Die bekanntesten Produkte sind das Apexit (Vivadent, Ellwangen, Deutschland) und das Sealapex[®] (KerrHawe, Bioggio, Schweiz). Die von der direkten und indirekten Pulpenüberkappung bekannten Effekte hat man versucht, auf diese endodontischen Materialien zu übertragen, in der Hoffnung, es würde eine Hartgewebsbildung im Apexbereich induzieren. Dies konnte bisher jedoch nicht bestätigt werden (Koçkapan, 2003). Während der Abbindereaktion dieser Paste-Paste-Präparate kommt es zur Freisetzung zytotoxischer Bestandteile (Geurtsen et al., 1997), insgesamt kann den Kalziumsalicylat-Pasten jedoch eine gute Biokompatibilität bescheinigt werden (Holland et al., 1985). Kritisch wird die relativ hohe Expansion durch Wasseraufnahme

im Gewebe und die damit verbundene erhöhte Resorption sowie die Löslichkeit in Gewebsflüssigkeiten beurteilt (Flax et al., 1986), welche beim Sealapex[®] langfristig zur Ausbildung von Randspalten in der Wurzelfüllung führen. Apexit hingegen scheint diesbezüglich bessere Ergebnisse zu liefern (Limkangwalmongkol et al., 1992).

- **Wurzelfüllpasten auf Glasionomermertmentbasis**

Derzeit sind zwei Präparate auf dem Markt erhältlich, nämlich Ketac Endo[®] (3M Espe, Seefeld, Deutschland) sowie Endion (Voco, Cuxhaven, Deutschland). Es handelt sich um Kalzium-Aluminium-Fluoro-Silikatglas, welches mit der wässrigen Lösung einer Polycarbonsäure vermischt wird. Ketac Endo[®] zeigt eine gute Gewebeverträglichkeit (Kolokuris et al., 1996) und eine gute Haftung am Dentin (Ray et al., 1991). Es findet keine Resorption im Gewebe statt. Die klinischen Ergebnisse bezüglich des Abdichtungsvermögens sind gut, jedoch zeigt Ketac Endo[®] im Vergleich zu AH26 signifikant höhere Werte beim Farbstoffpenetrationstest (Barthel et al., 1994). Bemängelt werden die kurze Verarbeitungszeit, welche bei aufwändigen Fülltechniken problematisch erscheint, sowie die schwierige Revision (Koçkapan, 2003).

- **Wurzelfüllpasten auf Guttapercha-Basis**

Wurzelfüllpasten auf Guttapercha-Basis haben heute nur noch historische Bedeutung und sollen hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

Es handelt sich um in Chloroform (=Chloropercha) oder in Eucalyptusöl (=Eucapercha) gelöste Guttapercha, welche entweder selbst hergestellt werden kann oder als fertiges Produkt erhältlich ist, beispielsweise als Harz-Chloropercha (Deibele) oder Chloropercha (Moyco). Aufgrund der toxischen Eigenschaften der organischen Lösungsmittel (Klaiber et al., 1981; Morse et al., 1984) und wegen der starken Schrumpfung des Materials (Wong et al., 1982), welche durch die Verdampfung des Lösungsmittels bedingt ist, gelten diese Materialien heute als ungeeignet.

- **Wurzelfüllpasten mit Medikamentenzusatz**

Als Medikamentenzusätze in Wurzelfüllpasten kommen (Para-)Formaldehyd und Kortikosteroid- Zusätze zum Einsatz.

(Para-)Formaldehydzusätze

Bei den Wurzelfüllpasten mit Paraformaldehydzusatz wie dem N2 (Hager & Werken, Duisburg, Deutschland) kommt es auch noch nach der Abbindereaktion zu einer Freisetzung von Formaldehyd ins Gewebe. Die ausgeprägten neurotoxischen und auch zytotoxischen Eigenschaften des Formaldehyds werden für die beobachteten massiven chronischen Entzündungsreaktionen verantwortlich gemacht. Auch Knochenresorptionen und Nekrosen im periapikalen Bereich wurden bei Überstopfung aber auch bei sachgerecht durchgeführten Wurzelfüllungen beobachtet (Tepel et al., 1994). Weiterhin kommt es nachweislich zur systemischen Verteilung des Formaldehyds. Auch systemische allergische Reaktionen wurden beschrieben (Fehr et al., 1987). Die Verwendung solcher Präparate gilt heute als obsolet (DGZMK, 1997).

Kortikosteroidzusätze

Der Kortikoidzusatz in Produkten wie dem Endomethasone N (Pharmadental, Bonn, Deutschland) führt zu einer lokalen Immunsuppression und kann somit eine unkontrollierte Vermehrung von Mikroorganismen bewirken. Als Folge kann eine Verschlechterung periapikaler Entzündungen eintreten (Tepel et al., 1994). Kortikosteroidhaltige Wurzelfüllpasten können somit nicht empfohlen werden.

Als neuere Entwicklungen sind weiterhin zu nennen:

- **Wurzelfüllpasten auf Polyesterbasis**

Basierend auf dem Polyester Resilon mit einem Zusatz von bioaktivem Glas wurde vor einiger Zeit das neuartige Sealer-Stift System Epiphany (Pentron Clinical Technologies, Wallingford, CT, USA) auf den Markt gebracht. Hierbei wird erstmals für Sealer und Stifte das gleiche Material verwendet, wodurch eine bessere Verbindung zwischen beiden Komponenten (Ausbildung eines Monoblocks) erreicht werden soll. Für eine bessere Adaption des Sealers zur Wurzelkanalwand enthält das System einen speziellen Primer. Erste bakteriologische Leakage-Tests und Dichtigkeitsuntersuchungen zeigen gute Ergebnisse (Shipper et al., 2004; Eldeniz et al., 2009; Herbert et al., 2009; Dutra et al., 2006). Auch die Biokompatibilität des Systems erscheint in ersten Studien mit bewährten Materialien vergleichbar zu sein (Brzovic et al., 2009).

- **Wurzelfüllpasten auf Komposit-Basis**

Das Produkt EndoREZ[®] (Ultradent Corp., South Jordan, UA, USA) ist ein neuartiger Wurzelkanalsealer auf der Basis von UDMA-Komposit. Die Applikation erfolgt mit Hilfe einer Doppelkammerspritze und speziellen Applikationskanülen, welche laut Herstellerangaben auch zur Fertigung reiner Pastenfüllungen geeignet sind. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass bei der Anwendung von EndoREZ[®] eine Restfeuchtigkeit im Wurzelkanal verbleiben sollte (Zmener et al., 2008). Erfolgte Farbstoffpenetrationstests kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen, wobei die Polymerisations-schrumpfung eine gewisse Problematik darzustellen scheint. Das Material besitzt keine antibakteriellen Eigenschaften (Eldeniz et al., 2006). Eine klare Empfehlung kann zurzeit noch nicht gegeben werden.

1.3.3 Klassifizierung der Wurzelfülltechniken

- **Zentralstiftmethode**

Bei der Zentralstiftmethode wird ein einzelner mit Sealer benetzter Guttaperchastift, welcher auf die Größe des letzten Aufbereitungsinstruments abgestimmt ist, in den Wurzelkanal eingebracht. Hierdurch ergibt sich eine verhältnismäßig große Menge Sealer, welcher die Inkongruenzen zwischen Kanalwand und Guttaperchastift ausfüllen muss. Besonders bei Kanälen mit ovalem Querschnitt ist keine gute Passform des Stiftes gewährleistet, daher sollte die Zentralstifttechnik nur bei rundem Kanalquerschnitt angewendet werden (Guldener, 1971). Durch die den meisten Sealmaterialien eigene Abbindeschrumpfung ergeben Dichtigkeitsuntersuchungen häufig

keine guten Resultate für die Zentralstiftmethode im Vergleich zu anderen Fülltechniken (Monticelli et al., 2007; Beatty, 1987). Andere Autoren jedoch fanden keine signifikanten Unterschiede zu bewährten Fülltechniken (Antonopoulos et al., 1998).

- **Laterale Kondensation**

Die laterale Kondensation kann als eine Weiterentwicklung der Zentralstiftmethode aufgefasst werden, bei der weitere Guttaperchastifte hinzugefügt werden und sich somit der Anteil des Sealers an der Wurzelfüllung erheblich reduzieren lässt. Zu Beginn erfolgt die Anpassung des Hauptstifts, einem der Aufbereitungsgröße äquivalenten Guttaperchastift, welcher mit Sealer bestrichen und in den Wurzelkanal eingeführt wird. Anschließend wird der Stift mit konisch geformten Fingerspreadern gegen die Kanalwand lateral verdichtet, wodurch Raum für weitere Guttaperchastifte geschaffen wird, welche dann ebenfalls lateral kondensiert werden. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis der Kanal vollständig mit Guttapercha gefüllt ist. Die laterale Kondensation wird von vielen Autoren als derzeitiger Goldstandard angesehen, da mit ihr auch im Querschnitt von der Kreisform abweichende Kanäle sicher abgefüllt werden können (Heidemann, 1989). Als Modifikation der lateralen Kondensation kann das Endotec-System (Dentsply, Konstanz, Deutschland) angesehen werden. Hierbei erfolgt die laterale Kondensation der Guttaperchastifte mit Hilfe eines akkubetriebenen, beheizbaren Spreaders.

- **Thermoplastische Fülltechniken**

Vertikale Kondensation

Die von Schilder (1967) beschriebene vertikale Kondensation macht sich die thermoplastischen Eigenschaften der Guttapercha zunutze. Während der sogenannten Downpack-Phase wird in den zuvor mit Sealer benetzten Kanal ein Guttapercha-Stift eingeführt, welcher anschließend mit heißen Pluggern von koronal sukzessive gekürzt wird. Es folgt eine kalte Kondensation nach apikal, bis eine komplette Füllung des apikalen Drittels erreicht ist. Beim darauffolgenden „Backfill“ wird der koronale Anteil des Wurzelkanals von apikal nach koronal aufgefüllt, indem man kleinere Guttaperchastücke nachfüllt, mit Pluggern erhitzt und wieder kalt nach apikal kondensiert. Alternativ kann das „Backfill“ auch mit Hilfe thermoplastischer Injektionstechniken erfolgen. Die Methode gilt als sehr zeitaufwändig und findet heute nur noch selten Anwendung, beispielsweise bei internen Resorptionen, die mit anderen Fülltechniken nicht adäquat abzufüllen sind. Eine neue Entwicklung stellt das BeeFill[®]-System (VDW, München, Deutschland) dar, welches die Idee der vertikalen Kondensation wieder aufnimmt und durch technische Neuerungen einen Zeitgewinn verspricht. Ein aktueller Vergleich der klinischen Erfolgsraten von warmer vertikaler Kondensation und kalter lateraler Kondensation konnte keine signifikanten Unterschiede ausmachen (Peng et al., 2007).

Thermomechanische Kondensation

Bei dieser erstmals von McSpadden (1980) beschriebenen Fülltechnik wird ein mit Sealer benetzter Guttapercha-Hauptstift in den Wurzelkanal einge-

führt. Daraufhin wird mit Hilfe des im Winkelstück betriebenen McSpadden-Compactors, welcher einer umgedrehten H-Feile ähnelt, Reibungswärme erzeugt. Die nun plastische Guttapercha wird nach apikal transportiert und gegen die Kanalwand gepresst. Studien bescheinigen der thermomechanischen Kondensation ein der lateralen Kondensation vergleichbares (Tagger et al., 1984; ElDeeb et al., 1985) oder sogar besseres (Kersten et al., 2007) Abdichtungsvermögen. Häufig beschriebene Nachteile der Methode sind die mangelnde Längenkontrolle, Frakturgefahr des Compactors sowie der hohe Druck, aus dem häufig Überfüllungen resultieren.

Injektionsmethode

Bei den thermoplastischen Injektionsmethoden wird erwärmte Guttapercha mittels einer speziellen Injektionskanüle in weichem Zustand direkt in den Wurzelkanal gespritzt, bis dieser gefüllt ist. Unterschieden werden eine Hochtemperaturtechnik und eine Niedrigtemperaturmethode. Die beim Obtura II[®]-Gerät (Obtura Spartan, Fenton, MO, USA) zur Anwendung kommende Hochtemperaturmethode erfordert ein Erwärmen der Guttapercha auf 160°C. Werden die Molekülketten der Guttapercha durch ein spezielles Verfahren gekürzt, so erniedrigt sich der Schmelzpunkt und man erhält bereits bei 70°C eine injizierbare Guttapercha. Diese Technik findet beim Ultrafil[®]-System (Coltene Whaledent, Langenau) Anwendung. Beatty et al. (1989) bescheinigten der Ultrafil-Methode bessere Ergebnisse bezüglich des Abdichtungsvermögens als der lateralen Kondensation. Aufgrund der schwierigen Handhabung und der mangelnden Längenkontrolle werden jedoch häufig andere Methoden bevorzugt.

Thermafil-System[®]

Das inzwischen recht weit verbreitete Thermafil[®]-System ist eine thermoplastische Einstift-Methode. Basis ist ein Trägerstift aus Metall oder Kunststoff, welcher mit α -Guttapercha ummantelt ist. Die Stifte werden in einem speziellen Ofen erwärmt und anschließend bis zur apikalen Konstriktion in den Wurzelkanal eingebracht. Auch bei dieser Methode ist ein vorheriges Benetzen der Kanalwand mit Sealer erforderlich. Die Qualität der Wurzelfüllungen mit dem Thermafil[®]-System bezüglich der Dichtigkeit wird sehr unterschiedlich beurteilt. Einige Studien konnten einen Vorteil gegenüber bewährten Methoden wie der lateralen Kondensation ausmachen (Beatty et al., 1989), andere Autoren fanden einerseits schlechtere Ergebnisse für die mit Thermafil[®] gefüllten Kanäle (Barkins et al., 1992; Chohayeb, 1992), andererseits konnten keine signifikanten Unterschiede ausgemacht werden (Lares et al., 1990; McMurtrey et al., 1992; Schäfer et al., 2002). Überstopfen von Sealer und/oder Guttapercha ist im Vergleich zur lateralen Kondensation häufiger zu beobachten (Clark et al., 1993). Bezüglich des Langzeiterfolges konnte kein signifikanter Unterschied zur lateralen Kondensation ausgemacht werden (Chu et al., 2005). Inzwischen befinden sich auch andere Systeme auf dem Markt, welche das gleiche Prinzip nutzen. Ein Beispiel ist das Soft-Core[®] System (Soft Core[®] Dental Production ApS, Copenhagen, Denmark).

- **Vakuumtechnik**

Einem völlig neuen Ansatz für die Aufbereitung und Obturation von Wurzelkanälen geht die von Lussi et al. 1993 vorgestellte Methode der Nicht-Instrumentellen Technik (NIT). Die Reinigung und auch das Abfüllen der Wurzelkanäle erfolgt hierbei automatisch ohne den Einsatz abtragender In-

strumente. Es muss lediglich ein Zugang zum Pulpenkavum geschaffen und der Zahn für den Anschluss einer Vakuumpumpe vorbereitet werden. Anschließend wird NaOCl als Spülflüssigkeit im abgedichteten Wurzelkanalsystem eingesetzt und durch hydrodynamische Druckschwankungen bei einem Unterdruck in Turbulenzen versetzt. Durch den Unterdruck kommt es zur Entstehung und raschem Zerplatzen kleiner Blässchen und somit zu einem intensiven Austausch der Reinigungsflüssigkeit im Wurzelkanalsystem. Die gewebtsauflösende Wirkung des NaOCl bewirkt dann eine vollständige Reinigung der Wurzelkanäle ohne Dentinabtrag. Lussi fand 2000 für diese Methode eine bessere Reinigungsleistung als für die herkömmliche Aufbereitung mit Handinstrumenten. Die Obturation der Kanäle erfolgt nach dem gleichen Prinzip, jedoch bei stärkerem Unterdruck. Ein vakuumdichter Verschluss des Zahnes kann mit Kompositen oder mit elastischen Massen erfolgen. Ist ein Unterdruck im Zahn erzeugt, so erfolgt die Obturation, indem eine handelsübliche Wurzelfüllpaste eingesaugt wird. Gegebenenfalls werden, ähnlich wie bei der Zentralstifttechnik, noch Gutta-perchastifte nachgeschoben. Bei Farbstoffpenetrationstests wurden für die neue Technik mit allen getesteten Wurzelfüllpasten bessere Ergebnisse erzielt als bei der lateralen Kondensation (Lussi et al., 1999; Portmann et al., 2005). Die Technik befindet sich derzeit noch in der Erprobungsphase und wird noch nicht außerhalb wissenschaftlicher Studien eingesetzt.

1.3.4 Apikaler Endpunkt

Der apikale Endpunkt der Wurzelfüllung hat eine besondere Bedeutung während der endodontischen Therapie. Als ideal gilt dabei eine Wurzelfüllung, welche am Foramen physiologicum endet. Hier besitzt der Wurzelkanal seinen geringsten Durchmesser, so dass die Kontaktfläche zwischen

dem Wurzelfüllmaterial und dem periapikalen Gewebe geringstmöglich ist (Nolden, 1994). Erreicht die Wurzelfüllung das Foramen physiologicum nicht, können Keime und Gewebereste verbleiben. Außerdem kann es zum Eindringen von Sekret vom Periapex aus kommen, wodurch entzündliche Reaktionen ausgelöst werden (Guldener & Langeland, 1993). Geht die Wurzelfüllung über die apikale Konstriktion hinaus, erfolgt in der Regel eine Fremdkörperreaktion sowie eine Reizung des periapikalen Gewebes (Swartz et al., 1983). Die Bestimmung der Arbeitslänge, also die Distanz vom koronalen Referenzpunkt bis zum Foramen physiologicum, erfolgt mithilfe einer Röntgenmeßaufnahme und/oder durch eine endometrische Längenbestimmung. Auf die genauen Techniken und Vorgehensweisen zur Bestimmung der Arbeitslänge soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

1.3.5 Postendodontische Versorgung

Die DGZMK fordert in einer gemeinsamen Stellungnahme von DGZMK, DGZPW und DGZ aus dem Jahr 2003, dass endodontisch behandelte Zähne umgehend mit einer definitiven, bakteriedichten Restauration versorgt werden sollten, da provisorische Versorgungen und die Wurzelfüllung selbst nicht dauerhaft in der Lage sind, eine Reinfektion des Wurzelkanalsystems von koronal zu verhindern. Abhängig vom Destruktionsgrad des Zahnes kann eine adhäsive Restauration mit Kompositen, eine Versorgung mit Teilkronen oder eine komplette Überkronung erfolgen. Eine Verankerung von Aufbauten mit Wurzelstiften bedarf einer sorgfältigen Risiken-Nutzen-Abwägung, da durch die Stiftbohrung eine zusätzliche Schwächung der Zahnhartsubstanz und somit ein erhöhtes Frakturrisiko resultiert.

1.4 Ziel der Arbeit

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich in einer In-Vitro-Studie mit der Fragestellung, welchen Einfluss die Applikationstechnik des Wurzelkanalsealers Guttaflow auf die Kriterien Dichtigkeit und Länge der Wurzelfüllung in Abhängigkeit von der Aufbereitungsgröße des Wurzelkanals besitzt. Als Fülltechniken wurden Zentralstifttechnik und reine Pastentechnik gewählt, um Aufschluß darüber zu erhalten, ob durch eine während der Abbindereaktion eintretende Expansion des Sealers Guttaflow und den hohen Gutta-perchaanteil des Materials aufwändigere Fülltechniken vermieden werden können. Dabei sollte im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Hypothese nachgegangen werden, dass die röntgenologische Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung von der Wurzelfülltechnik und der Aufbereitungsgröße des Wurzelkanals abhängig ist. Ferner sollte der Hypothese nachgegangen werden, dass das exakte Erreichen der Aufbereitungslänge mit dem Wurzelfüllmaterial ebenfalls von der Wurzelfülltechnik und der Aufbereitungsgröße des Kanals abhängt.

2 Materialien und Methoden

Im Rahmen der Studie wurden ISO-genormte Wurzelkanallumina mit apikalem Wachsreservoir aus transparentem Kunststoff (Orthocryl, Dentaureum, Ispringen, Deutschland) hergestellt und anschließend mit dem experimentellen Wurzelfüllmaterial Guttaflow (Coltène/Whaledent GmbH + Co. KG, Langenau, Deutschland) durch verschiedene Applikations- und Fülltechniken obturiert.

2.1 Materialbeschreibung Guttaflow®

Bei Guttaflow® handelt es sich um ein kaltplastisches Wurzelfüllmaterial. Es besteht aus einer Polydimethylsiloxanmatrix, welche mit feinst gemahlener Guttapercha mit einer Korngröße von $<30\mu\text{m}$ hoch gefüllt wurde. Das prozentuale Verhältnis von Guttapercha und Matrix beträgt ca. 50:50. Weitere Bestandteile sind Silikonöl und Paraffinöl, welche die Fließfähigkeit verbessern, Hexachlorplatinsäure als Katalysator, Zirkondioxid als Röntgenkontrastmittel, Nano-Silber als Konservierungsmittel sowie ein Farbstoff. Laut Herstellerangaben besteht eine Verarbeitungszeit von 10-15 Minuten, welche bei Wärmezufuhr verringert wird. Die Aushärtungszeit beträgt 25-30 Minuten. Während des Abbindevorgangs findet eine leichte Expansion von 0,2% statt. Das Material stand in Doppelkammer- Kartuschen mit aufsteckbarer Mischkanüle zur Verfügung, die ein Mischungsverhältnis von Basispaste zu Katalysator von 4:1 aufwies. Im Rahmen der vorliegenden

Arbeit wurde eine Herstellercharge des Materials verwendet, die nicht im Handel erhältlich war und unter der Bezeichnung „Guttafill“ geführt wurde.

2.2 Herstellung der ISO-genormten Wurzelkanäle mit apikalem Wachsreservoir

2.2.1 Herstellung des apikalen Wachsreservoirs

Zur Simulation eines periapikalen Gewebepuffers wurden die Spitzen der Wurzelkanäle zusätzlich mit einem kugelförmigen Wachsreservoir versehen. Diese sollten ein Übertreten des Wurzelfüllmaterials in den periapikalen Bereich ermöglichen, so dass ein mögliches Überstopfen bei verschiedenen Fülltechniken erkannt werden konnte.

Zur Herstellung eines Wachsreservoirs im Apexbereich der Wurzelkanäle wurde zunächst ein Silikonblock aus kondensationsvernetzendem Silikon (Orbis Dental, Offenbach, Deutschland) mit ebenen Flächen hergestellt. Der ausgehärtete Silikonblock wurde dünn mit einem Trennmittel (Vaseline) versehen und Glaskopfstecknadeln (William Prym GmbH & Co. KG, Stolberg, Deutschland) in der Art und Weise eingebettet, dass nur der Nadelkopf aus dem Block herausragte. Die verbliebene Oberfläche des Silikonblocks sowie der Nadelköpfe wurde anschließend mit niedrigviskösem, additionsvernetzendem Silikon vollständig bedeckt (Abb.1).

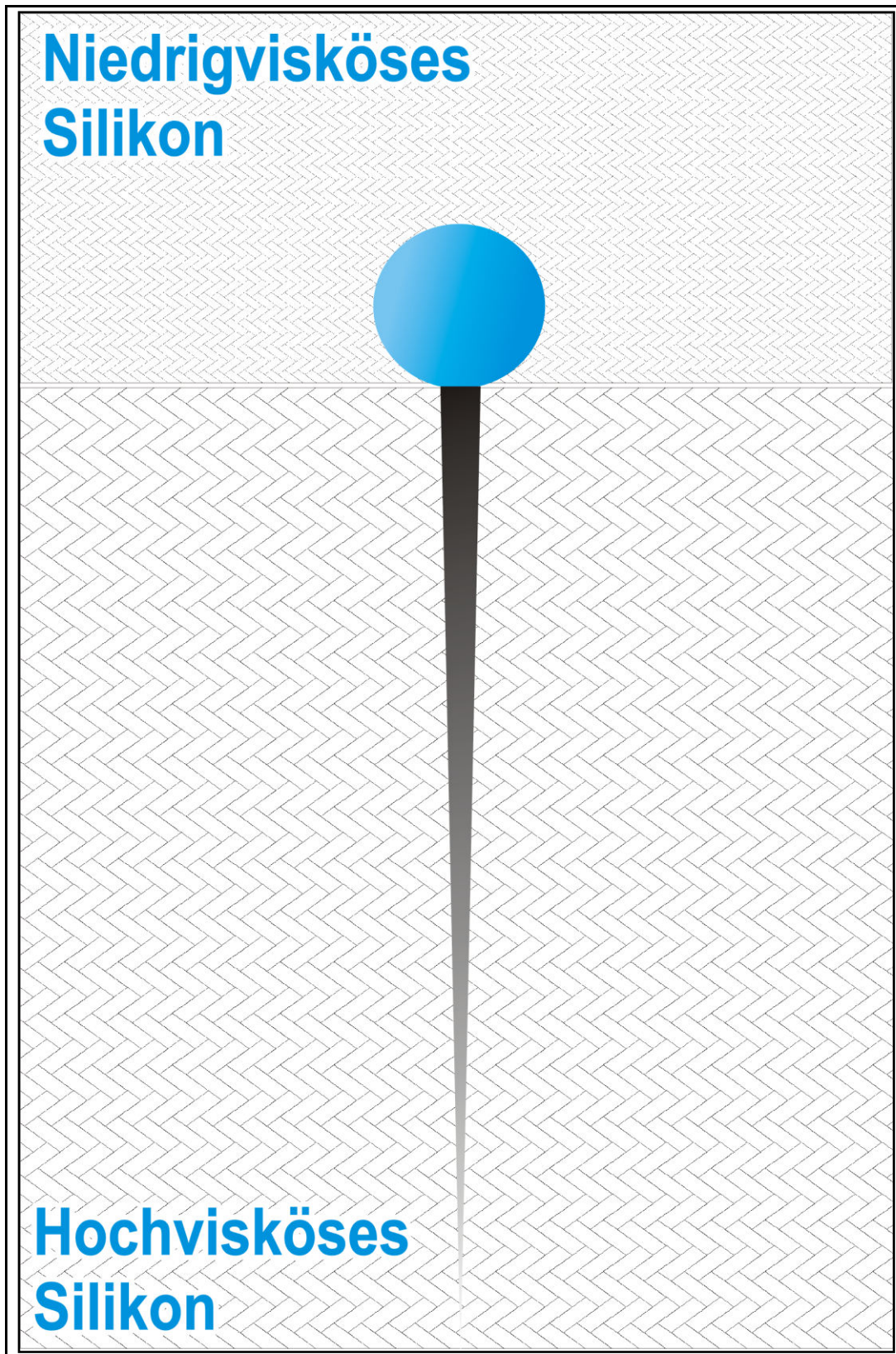


Abb.1: Schematische Darstellung der Einbettung von Glaskopfstecknadeln zur nachfolgenden Simulation eines apikalen Gewebepuffers

Nach Aushärtung der entstandenen obersten Schicht konnte diese vollständig abgezogen werden. Die auf diese Weise entstandenen Hohlformen wurden mit Plastodont U-Wachs (Degussa, Frankfurt, Deutschland) in erhitztem Zustand sukzessive gefüllt (Abb.2).

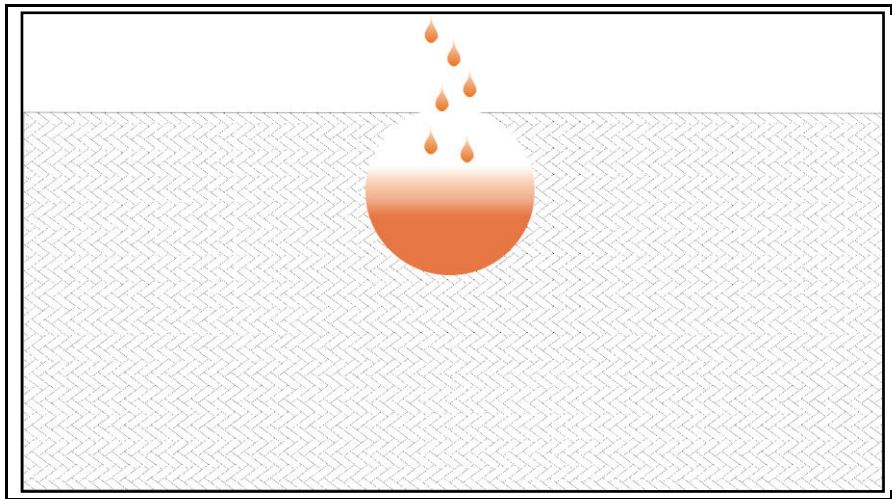


Abb.2: Schematische Darstellung der Befüllung der von den Glasköpfen hinterlassenen Hohlräume mit erhitztem Wachs

Nach Erkalten des Wachses konnten die entstandenen Wachskugeln gleicher Größe entnommen werden.

2.2.2 Befestigung des Wachsreservoirs an ISO- genormten Fingerspreadern

Zur Herstellung der ISO-genormten Wurzelkanäle dienten Fingerspreader (Maillefer, Ballaigues, Schweiz) der Größen 15- 40 als Patrize. Durch kur-

zes Erwärmen der Spitzen der Fingerspreader über offener Flamme konnten die Wachskugeln mit den Spreadern verbunden werden. Zur Sicherung einer zentralen Position sowie zur Gewährleistung einer gleichbleibenden Eindringtiefe wurde aus Kunststoffteilen eine Konstruktion gefertigt, welche durch eine muldenförmige Vertiefung eine sichere Position der Wachskugel gewährleistete sowie durch einen Stop im Bereich des Griffteils der Spreader ein gleichmäßiges Eindringen der Spreader Spitze in die Wachskugel sicherstellte (Abb.3).

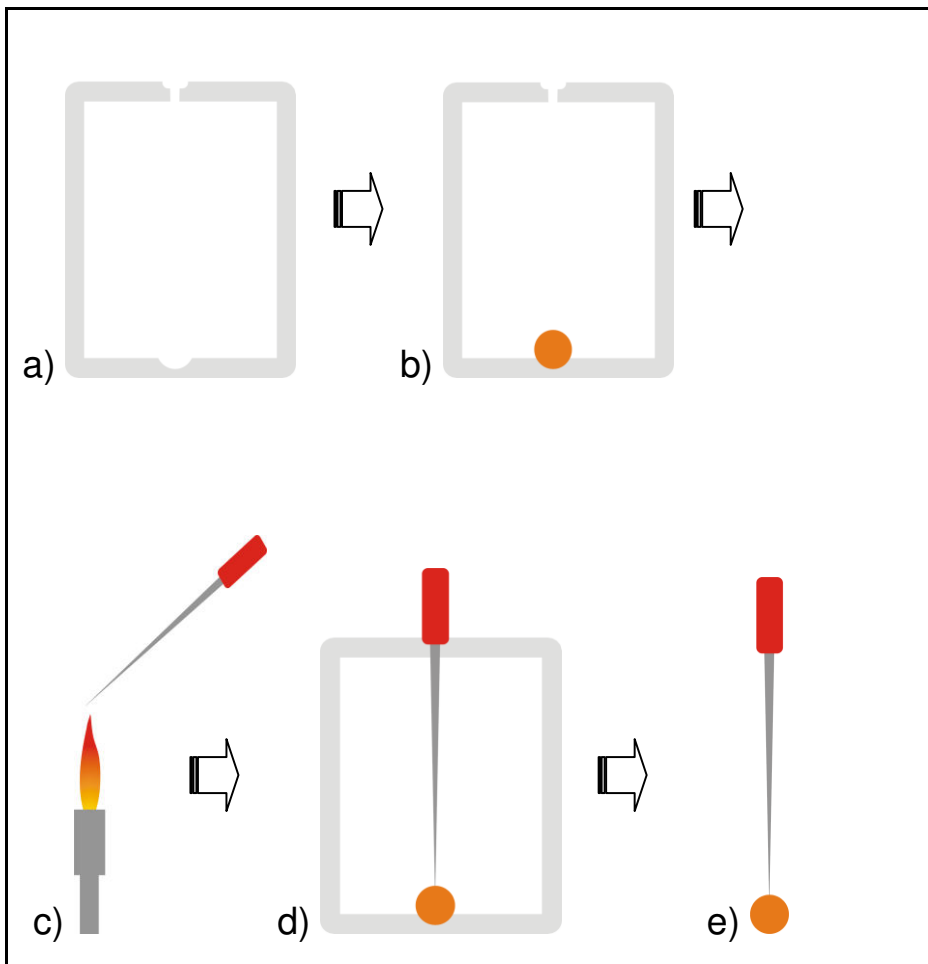


Abb.3: Schematische Darstellung des Vorgangs der Verbindung von ISO-genormten Spreadern und zuvor hergestellten Wachskugeln:

a)Kunststoffvorrichtung (Positionierungshilfe) mit oberem Stop zur Aufnahme des Spreaders und unterer Mulde zur Positionierung der Wachskugel

b)Kunststoffvorrichtung mit positionierter Wachskugel

c)Erwärmen der Spitze des Spreaders über offener Flamme

d)Einbringen des erwärmten Spreaders in die mit Wachskugel vorbereitete Positionierungshilfe

e)Mit Wachskugel verbundener Spreader nach Entnahme aus der Positionierungshilfe

2.2.3 Einbetten der Fingerspreader in Kunststoff

Die vorbereiteten Fingerspreader wurden mit dem Fingergriff in Silikon fixiert. Der Abstand der Spreader untereinander betrug hierbei jeweils 5mm. Dabei bildeten je 15 Spreader gleicher ISO-Größe eine Versuchsreihe. Anschließend wurden die Arbeitsteile der Spreader wiederum mit Silikon berührungsfrei über der glatten Seite einer handelsüblichen Glasanmischplatte fixiert (Abb.4) und daraufhin vollständig mit transparentem Kunststoff (Orthocryl, Dentaurum, Ispringen, Deutschland) bedeckt und im Drucktopf unter einem Druck von 220.000 Pa ausgehärtet. Zum Einfüllen des Kunststoffs wurde die Streutechnik gewählt. Ein Verlaufen des Kunststoffs wurde durch einen Silikonwall verhindert. Nach vollständiger Polymerisation des Kunststoffs konnten die Spreader aus den entstandenen Kunststoffblöcken entfernt werden. Daraufhin erfolgte eine Bearbeitung der Blöcke mit rotierenden Instrumenten, um scharfe Kanten und Grate zu entfernen. Auf diese Weise entstanden Kunststoffplatten mit jeweils 15 ISO-genormten Wurzelkanälen (Abb.5). Es wurden je 7 Platten der ISO-Größen 15, 20, 25, 30, 35 und 40 hergestellt. Die Abmessungen einer einzelnen Platte betragen hierbei 85mm x 30mm x 7mm (BxHxT). Die zuvor der Glasplatte zugewandte, glatte Seite ermöglichte hierbei eine visuelle Kontrolle der Wurzelkanäle. Abschließend war es vonnöten, die entstandenen Wurzelkanäle zu reinigen und Ihre Durchgängigkeit bis zum Apex sicherzustellen. Hierzu wurde eine K-Feile (VDW GmbH, München, Deutschland) der dem eingebetteten Spreader analogen ISO-Größe unter Sicht bis zum Apex eingeführt und nach einer halben Umdrehung im Uhrzeigersinn wieder entfernt.

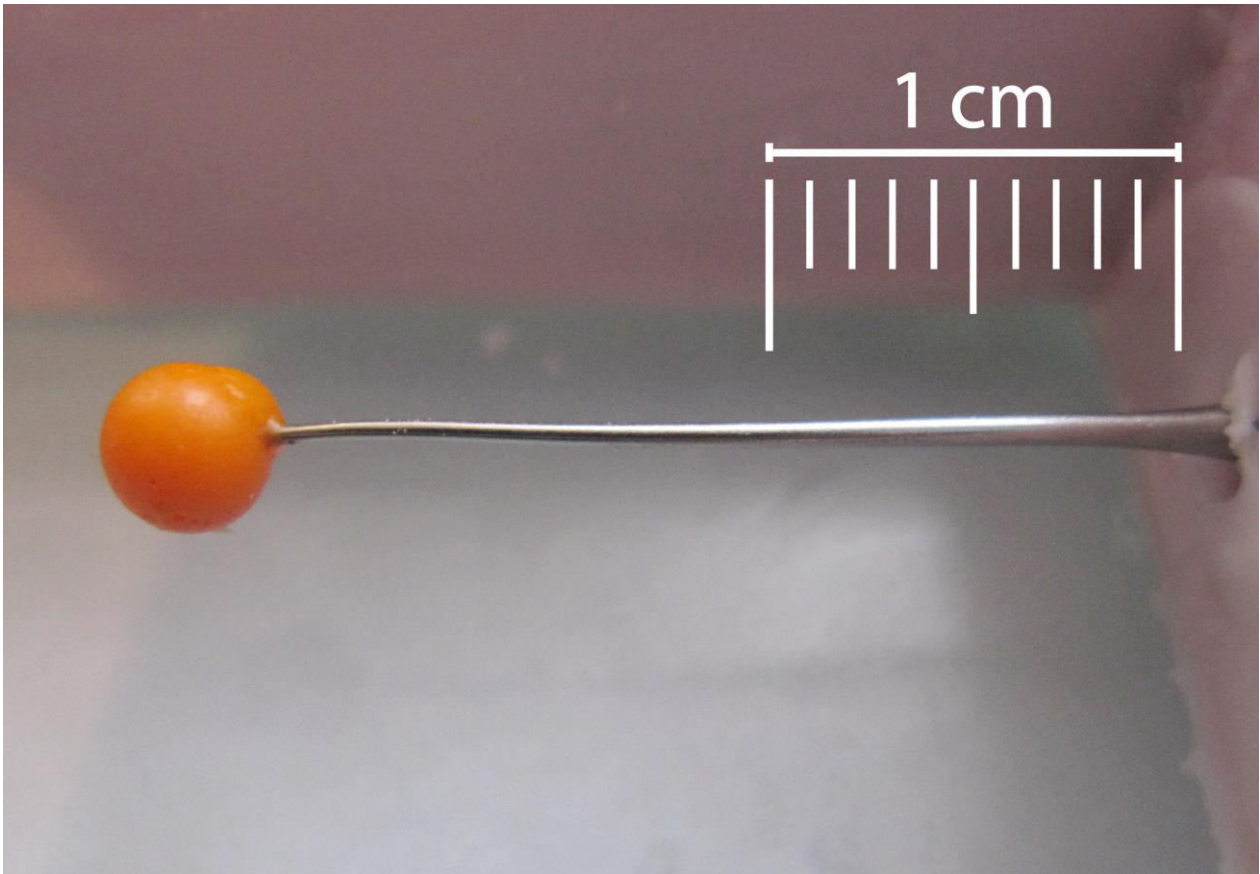


Abb.4: Über der Glasplatte mit Silikon berührungsfrei fixierter Spreader vor der Einbettung in Kunststoff

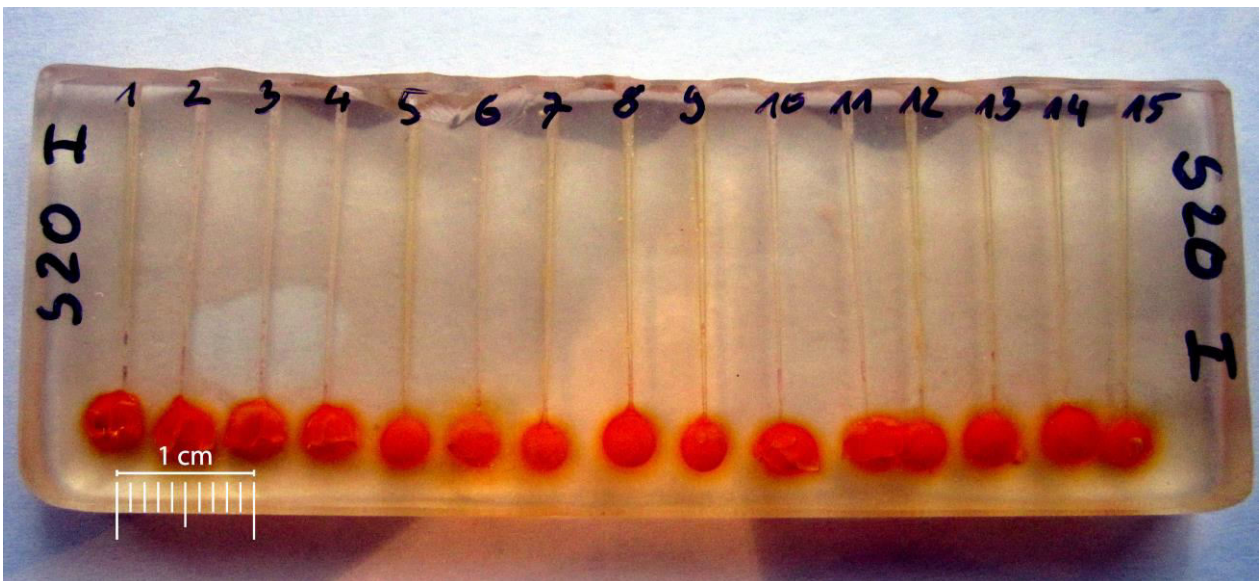


Abb.5: Fertiger Kunststoffblock mit ISO-genormten Wurzelkanälen nach dem Ausbetten und der Bearbeitung mit rotierenden Instrumenten

2.3 Aufteilung der Versuchsgruppen

Im Rahmen der Studie wurden Applikationstechniken des kaltplastischen Guttapercha- Sealers an insgesamt 630 ISO-genormten Wurzelkanälen untersucht. Die genormten Wurzelkanäle wurden entsprechend der Applikationsmethoden in sieben Hauptgruppen wie folgt unterteilt:

Applikationsmethoden des Guttapercha- Sealers

- Gruppe I: Applikation mit der mitgelieferten Applikations- (Misch-) Kanüle
- Gruppe II: Applikation mit der mitgelieferten Applikations- (Misch-) Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einem Endodontie-Fingerplugger (Maillefer, Ballaigues, Schweiz)
- Gruppe III: Applikation mit der mitgelieferten Applikations- (Misch-) Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einer K-Feile
- Gruppe IV: Applikation mit der mitgelieferten Applikations- (Misch-) Kanüle, anschließend Einbringen eines Zentralstiftes
- Gruppe V: Applikation mit einer K-Feile
- Gruppe VI: Applikation mit einer K-Feile, anschließend Einbringen eines Zentralstiftes
- Gruppe VII: Applikation mit einer auf das Kanallumen abgestimmten Wurzelfüllspirale

Jede der Hautgruppen bestand aus je 15 Kanälen der ISO-Größen 15, 20, 25, 30, 35 und 40

2.4 Erläuterung der Fülltechniken

Im Anschluss an die Herstellung wurden die künstlichen Wurzelkanäle entsprechend ihrer Aufteilung in die Versuchsgruppen gefüllt. Hierbei kamen sowohl die reine Pastentechnik als auch die Zentralstifttechnik mit einem zentralen Guttaperchastift zum Einsatz:

- Gruppe I

Die dem Guttaperchasealer beiliegende, handelsübliche Mischkanüle wurde in Verlängerung des Wurzelkanals möglichst dicht auf den Wurzelkanaleingang gesetzt. Anschließend wurde das Wurzelfüllmaterial unter optischer Kontrolle direkt in den Kanal gepresst, bis eine vollständige Füllung des Kanallumens visuell erreicht war. Es erfolgte keine weitere Behandlung im Sinne einer Nachkondensation.

- Gruppe II

Die Füllung des Wurzelkanals erfolgte analog der unter Gruppe I beschriebenen Methode, abschließend wurde jedoch mit einem auf das jeweilige Kanallumen abgestimmten Fingerpluggers einmalig nachkondensiert. Hierzu wurde der Plugger unter pumpenden Bewegungen etwa bis zum Ende des oberen Drittel des Kanals eingeführt und wieder entfernt. Beim Herausziehen wurde darauf geachtet, das Wurzelfüllmaterial nicht wieder aus dem Kanal zu ziehen. Erreicht wurde dies durch permanente Drehungen des Instruments entgegen dem Uhrzeigersinn und Abstreifen an der Kante des Kanaleingangs.

- Gruppe III
Es wurde die gleiche Technik verwendet, wie unter Gruppe II beschrieben, jedoch wurde für die Kondensation eine auf das jeweilige Kanallumen abgestimmte K-Feile verwendet.
- Gruppe IV
Zunächst wurde wie bei der unter Gruppe I beschriebenen Methode vorgegangen. Anschließend erfolgte entsprechend der Zentralstifttechnik ein Applizieren eines mit dem Versuchsmaterial beschickten Gutta-perchastiftes entsprechender ISO-Größe. Dieser wurde unter ständiger Auf- und Abbewegung bis zum Apex vorgeschoben.
- Gruppe V
Zur Wurzelfüllung wurde eine der ISO-Größe des Wurzelkanals entsprechende K-Feile ringsherum mit dem Versuchsmaterial beschickt. Unter Sicht wurde diese dann mit pumpenden Bewegungen bis zum Apex vorgeschoben und anschließend wieder mit einer kombinierten Bewegung aus Linksdrehung und Pumpen entfernt.
- Gruppe VI
Es wurde die gleiche Vorgehensweise wie unter Gruppe V beschrieben gewählt. Zudem wurde, wie unter Gruppe IV beschrieben, ein Zentralstift eingebracht.

- Gruppe VII

Die Applikation der Wurzelfüllpaste erfolgte mit einer Wurzelfüllspirale (Original-Lentulo-Wurzelfüller, Maillefer, Ballaigues, Schweiz). Es wurde jeweils der größtmögliche Lentulo für das entsprechende Kanallumen gewählt. Der Lentulo wurde mit Guttaplast beschickt und unter Sichtkontrolle bis nahe an den Apex in den Wurzelkanal eingeführt und dann unter maschinenbetriebener, niedrigtouriger Rotation langsam aus dem Wurzelkanal gezogen. Dieser Schritt wurde wiederholt, bis die Füllung das Niveau des Kanaleingangs erreicht hatte.

Bei allen zuvor beschriebenen Applikationsmethoden war beim Anmischen darauf zu achten, dass der erste Anteil des Materials zu verwerfen war, da Inhomogenitäten des angemischten Versuchsmaterials zu beobachten waren.

2.5 Röntgendokumentation

Zur Kontrolle von Dichtigkeit und Länge der Wurzelfüllung wurden Röntgenbilder aller Kanäle angefertigt. Es wurden digitale Speicherfolien sowie die entsprechende Bildbearbeitungssoftware (Gendex Digora, Gendex Dental Systeme, Hamburg, Deutschland) verwendet. Jeweils 5 Kanäle konnten dabei auf einem Zahnfilm abgebildet werden. Hierzu wurden die Kunststoffblöcke (mit der glatten Seite dem Tubus zugewendet) auf ebener Unterlage über der Speicherfolie platziert und die Röntgenröhre orthograd auf den

Film ausgerichtet. Die Röhrenspannung für die Aufnahmen betrug 60kV und es wurde eine Belichtungszeit von 0,08 Sekunden gewählt.

Mit Hilfe einer Bildbearbeitungssoftware wurden anschließend die Abbilder der einzelnen Kanäle freigestellt, so dass nur ein Wurzelkanal je Bild zu sehen war (Abb. 6).

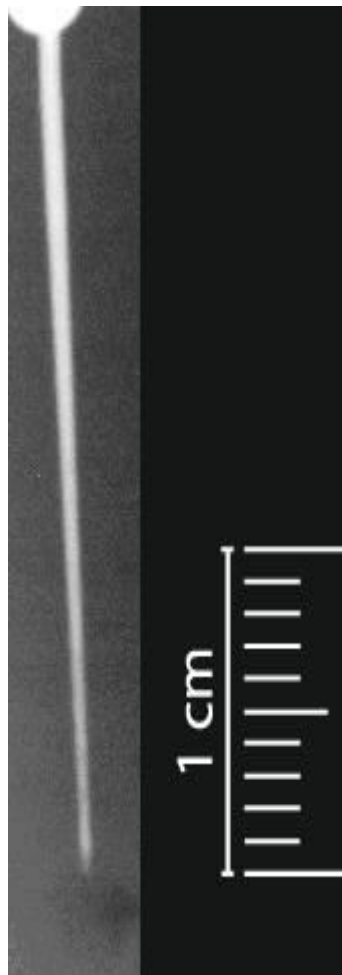


Abb.6: Röntgendarstellung eines gefüllten Wurzelkanals nach Freistellung mit einer digitalen Bildbearbeitungssoftware

2.5.1 Röntgenologische Auswertung

Die Auswertung der Röntgenbilder erfolgte nach den Kriterien Dichtigkeit und Länge der Wurzelfüllung.

Durch die Freistellung der Röntgenaufnahmen zu Einzelbildern entstanden 630 Aufnahmen, die hinsichtlich der oben genannten Kriterien zu beurteilen waren. Hierzu wurden alle Bilder vollständig und in zufälliger Reihenfolge in eine PowerPoint- Präsentation eingebunden und von 6 Zahnärzten der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn einer visuellen Beurteilung unterzogen. Zu beachten war hierbei der ausreichend große Sitzabstand der Beurteilenden zueinander, der eine Beeinflussung der Ergebnisse durch die Beurteilung des Sitznachbarn verhinderte. Es galt, jeweils die mittig angeordnete, groß dargestellte Wurzelfüllung in eine der vier Kategorien A, B, C und D der Dichtigkeit und in eine der fünf Kategorien -2, -1, 0, 1 und 2 der Länge qualitativ einzuordnen. Um eine Vergleichbarkeit der Aussagen zu gewährleisten, wurde zu jeder Kategorie eine Referenzwurzelfüllung dargestellt (Abb.7). Um eine sichere Beurteilung der Länge der Wurzelfüllung sicherzustellen, wurde die Position der Wachskugel auf dem Röntgenbild durch einen weiß gestrichelten Kreis hervorgehoben (Abb.7) . Der obere Scheitelpunkt des Kreises stellt dabei ein gedachtes Foramen Physiologicum dar und markiert damit die klinisch gewünschte apikale Länge der Wurzelfüllung.

Für die weitere Auswertung wurde der Mittelwert der Bewertungen durch die 6 Zahnärzte herangezogen, so dass jeder Fall mit einem Wert in die statistische Analyse einging.

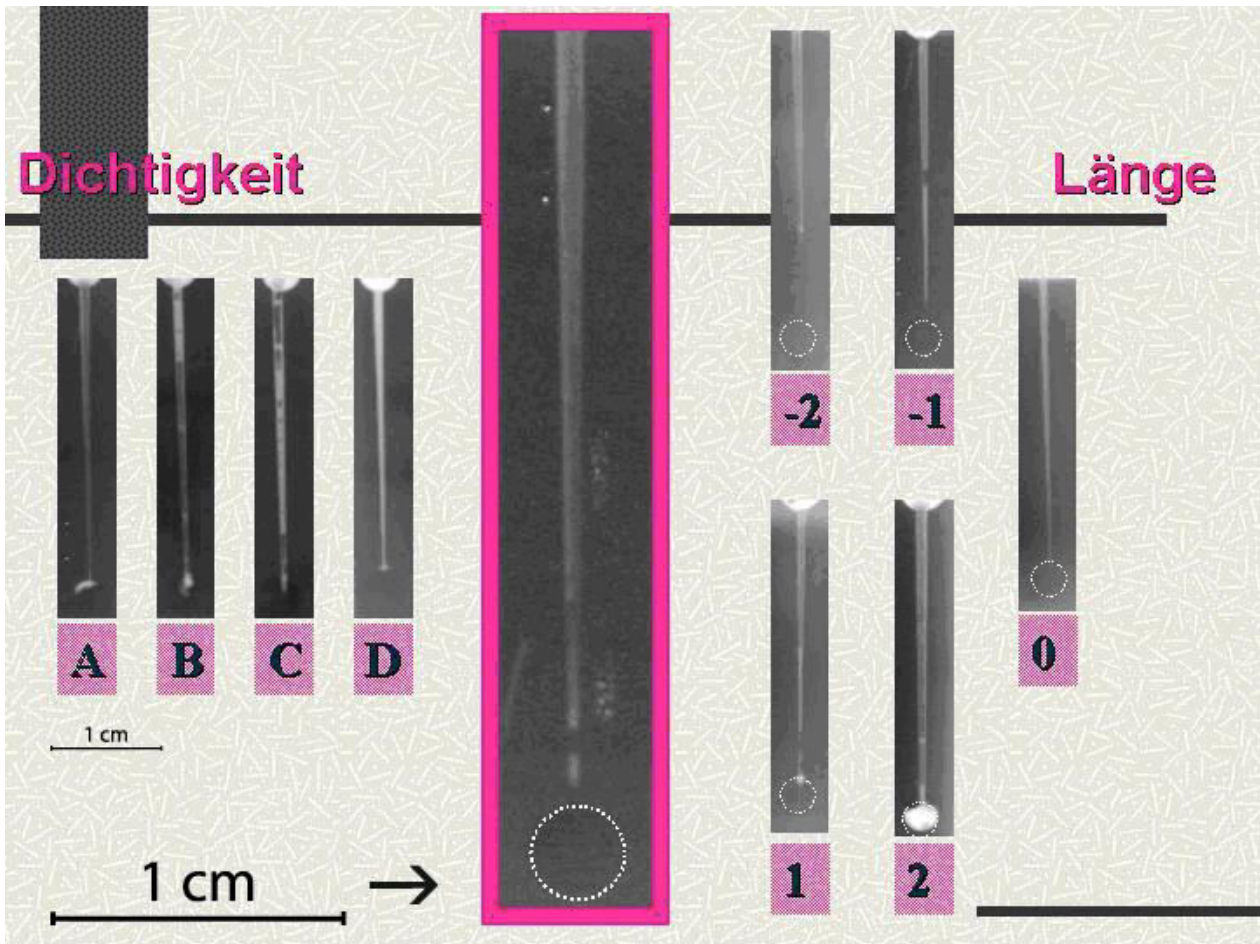


Abb.7: Präsentation der zu beurteilenden Röntgenbilder (mittig, groß dargestellt) mit Referenzwurzelfüllungen zur Dichtigkeit (linke Bildhälfte: Kategorien A, B, C, D) und zur Länge (rechte Bildhälfte: Kategorien -2, -1, 0, 1, 2)

2.5.1.1 Dichtigkeit

Die Dichtigkeit sei in dieser Untersuchung als Röntgenopazität des Wurzelfüllmaterials mit einer vollständigen Auskleidung des Wurzelkanallumens ohne Kontrastunregelmäßigkeiten definiert.

Kategorie D = maximale Dichtigkeit

Alle Wurzelfüllungen, welche dieses Kriterium auf der gesamten Länge des Wurzelkanals zu 100% oder nahezu 100% erfüllten, waren in Kategorie D einzuordnen.

Kategorie C = Dichtigkeit > 50%

Kategorie C umfasste alle Wurzelfüllungen, die Kontrastunregelmäßigkeiten oder weniger röntgendichte Areale aufwiesen, deren Bereiche maximaler Dichtigkeit jedoch mehr als 50% des gesamten Wurzelkanallumens umfassten. Die Lokalisation (Apexnähe oder koronal) der dichten Bereiche nahm hierbei keinen Einfluss auf die Zuordnung zur entsprechenden Kategorie.

Kategorie B = Dichtigkeit < 50%

Bei den unter Kategorie B einzuordnenden Wurzelfüllungen umfassten die dichten Bereiche weniger als 50% des gesamten Wurzelkanallumens. Auch hier spielte die Lokalisation der dichten und weniger dichten Bereiche für die Beurteilung keine Rolle.

Kategorie A = unzureichende Dichtigkeit

Unter Kategorie A fielen schließlich alle Wurzelfüllungen, bei denen praktisch keine dichten Bereiche auszumachen waren.

2.5.1.2 Länge

Die Länge sei in dieser Untersuchung definiert als röntgenologisch vom Wurzelfüllmaterial erkennbar erreichter Tiefenpunkt der Wurzelfüllung. Hierbei spielte die Dichtigkeit des Materials an der entsprechenden Stelle bei der Einschätzung keine Rolle.

Kategorie -2 = unzureichende Länge

In Kategorie -2 erfolgte die Zuordnung von Wurzelfüllungen, welche nicht bis in das untere Drittel des Wurzelkanals reichten.

Kategorie -1 = nahezu ausreichende Länge

Die Wurzelfüllungen, die das untere Kanaldrittel zwar erreichten, jedoch keine vollständige Wurzelfüllung darstellten, waren in Kategorie -1 einzustufen.

Kategorie 0 = ideale Länge

Alle Wurzelfüllungen, welche die nach klinischen Gesichtspunkten gewünschte Arbeitslänge exakt erreichten, sollten in Kategorie 0 eingegliedert werden.

Kategorie 1 = leichte Überfüllung

Fand eine leichte Überstopfung des Wurzelfüllmaterials in den periapikalen Bereich statt, welche diesen jedoch zu weniger als einem Drittel ausfüllte, erfolgte die Zuordnung zu Kategorie 1.

Kategorie 2 = massive Überfüllung

Eine massive Überfüllung und somit die Einteilung in Kategorie 2 hatte zu erfolgen, wenn das Lumen des periapikalen Gebietes zu mehr als einem Drittel mit Wurzelfüllmaterial ausgefüllt war.

2.6 Fotodokumentation

Eine fotografische Dokumentation der gefüllten Wurzelkanäle erfolgte mittels eines Dialux 20 EB –Lichtmikroskops (Fa. Leitz, Wetzlar). Die hergestellten Kunststoffblöcke wurden nach Durchführung der Wurzelfüllungen unter dem Auflichtmikroskop betrachtet und in Gruppen von jeweils 3 Wurzelfüllungen mit einfacher Vergrößerung abgelichtet. Die Fotografien wurden mit dem Fotoaufsatz MPS 51 (Fa. Wild) gemacht und anschließend als Dia entwickelt (Abb.8).

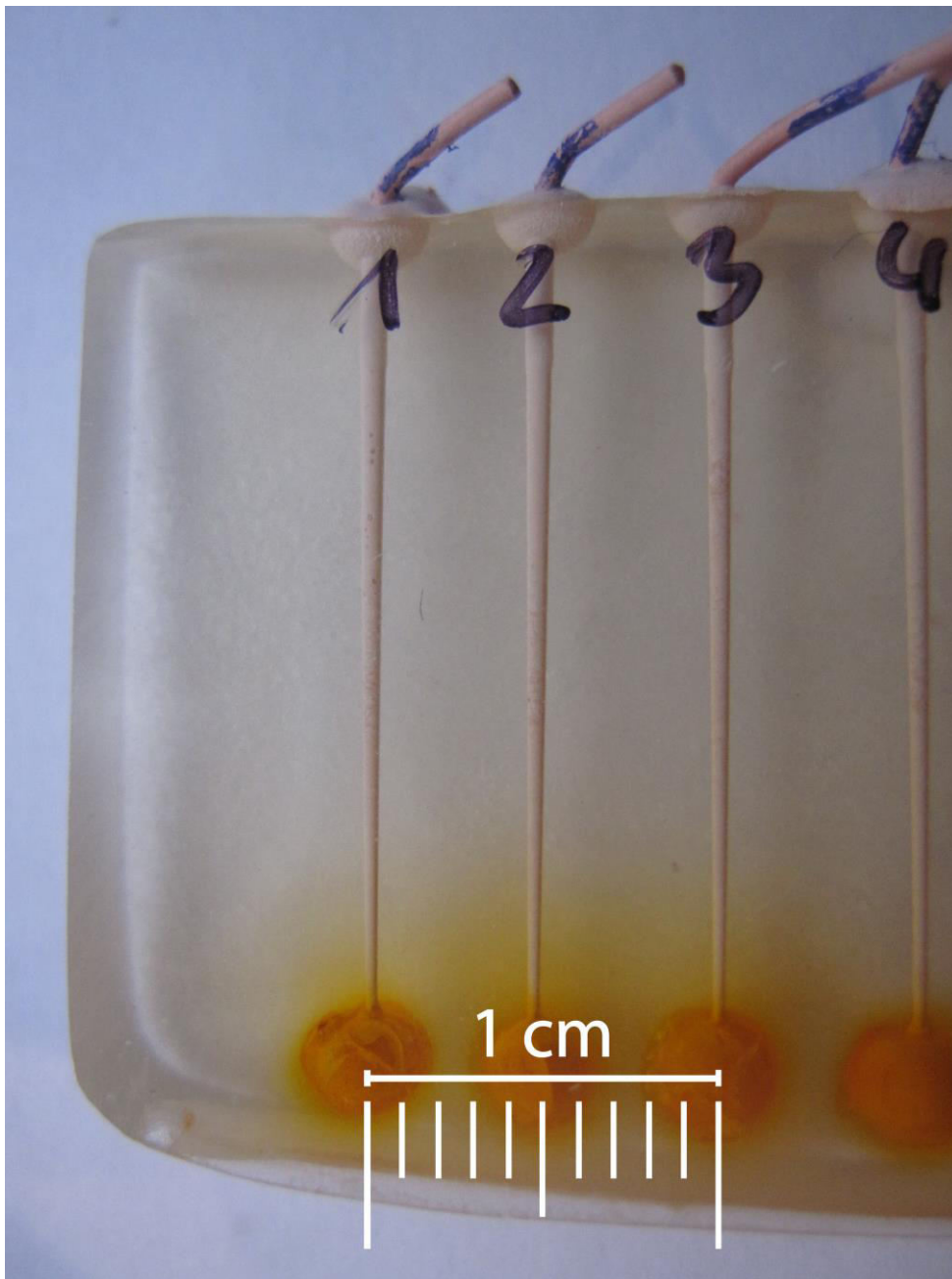


Abb.8: fotografische Darstellung der gefüllten Wurzelkanäle

2.7 Zwischenfälle

Nach erfolgter Polymerisation der Kunststoffblöcke stellte sich heraus, dass wohl aufgrund der Polymerisationswärme ein Erweichen der Wachskugeln erfolgte. Dies machte sich vor Allem dadurch bemerkbar, dass um die Wachskugeln herum eine orange Verfärbung des Kunststoffs zutage trat und die klaren runden Konturen der Wachskugeln nun verwaschen erschienen. Am äußeren Rand der Wachskugeln hatte sich eine inhomogene Mischschicht aus Kunststoff und Wachs mit Lufteinschlüssen gebildet. Im Rahmen der Vorversuche stellte sich heraus, dass bei größerem Stopfdruck im Wurzelkanal Sealer material in diese Mischschicht übertreten konnte und somit auch einen Anhaltspunkt für das Ausmaß des Stopfdrucks bei verschiedenen Wurzelfülltechniken geben konnte. Aus diesem Grund konnten auch Daten gewonnen werden, die ein Indiz für die Gefahr des Überstopfens bei unterschiedlichen Fülltechniken darstellen.

2.8 Auswertung

Die gewonnenen Daten wurden in Excel- Tabellen erfasst und anschließend in Abhängigkeit von der betrachteten ISO- Größe und der gewählten Applikationsmethode statistisch ausgewertet und graphisch dargestellt. Um die Daten auszuwerten wurden sie zunächst umcodiert, d. h. den ermittelten Kategorien wurden numerische Werte zugeordnet, die in Excel-Tabellen verwertet werden konnten. Dabei galt für das Kriterium Dichtigkeit folgende Codierung:

| Ermittelte Kategorie | Zugeordneter Wert |
|---------------------------------|------------------------------|
| A | 1 |
| B | 2 |
| C | 3 |
| D | 4 |

Die Werte für das Kriterium Länge wurden wie folgt umcodiert:

| Ermittelte Kategorie | Zugeordneter Wert |
|---------------------------------|------------------------------|
| -2 | 1 |
| -1 | 2 |
| 0 | 3 |
| 1 | 4 |
| 2 | 5 |

Erfasst wurden jeweils Mittelwert, Standardabweichung, die absolute Anzahl erfasster Werte einer Kategorie (Anzahl A, B, C, D bzw. -2, -1, 0, 1, 2) sowie Median, oberes Quartil, unteres Quartil, Maximum und Minimum. Die fünf letztgenannten Werte wurden mit Hilfe eines Boxplot-Diagramms graphisch dargestellt. Es fasst verschiedene Maße der zentralen Tendenz, Streuung und Schiefe in einem Diagramm zusammen. Die Werte der Fünf-Punkte-Zusammenfassung, also Median, die zwei Quartile und die beiden Extremwerte, sind dargestellt. Als "Box" wird hierbei das durch die Quartile bestimmte Rechteck bezeichnet. Sie umfasst 50% der Daten. Durch die Länge der Box ist der Interquartilsabstand (interquartile range, IQR) abzulesen. Dies ist ein Maß der Streuung, welches durch die Differenz des obe-

ren und unteren Quartils bestimmt ist. Als weiterer Wert ist der Median in der Box eingezeichnet, welcher durch seine Lage innerhalb der Box einen Eindruck von der Schiefe der den Daten zugrunde liegenden Verteilung vermittelt. Die senkrechten Linien im Diagramm werden als Whisker bezeichnet. Es sind verschiedene Modifikationen des Boxplot-Diagramms gebräuchlich, welche sich vorrangig in der Definition über die Länge der Whisker unterscheiden. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Variante gewählt, bei welcher die Länge der Whisker der Differenz zwischen dem Minimum und dem unteren Quartil bzw. zwischen dem oberen Quartil und dem Maximum entspricht. Ausreißer werden in dieser Variante nicht dargestellt; Minimum und Maximum sind sofort erkennbar.

Abschließend wurden die gewonnenen Daten mithilfe des Programms SPSS 12.0 für Windows[®] statistisch ausgewertet. Zu diesem Zweck wurden die Rohdaten aus Microsoft Excel[®] in den Daten-Editor von SPSS kopiert. Daraufhin wurde eine Umstrukturierung der ausgewählten Variablen in Fälle durchgeführt und anschließend aus den ausgegebenen Zielvariablen eine Rangfolge gebildet. Die so gewonnenen Werte wurden anschließend einer statistischen Auswertung mit einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) und anschließendem Scheffé-Test ($\alpha = 0,05$) unterzogen.

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse bezüglich der Dichtigkeit in Abhängigkeit von der ISO- Größe

3.1.1 Ergebnisse der Gruppe I

In Gruppe I (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle) zeigte die statistische Auswertung tendenziell eine Abnahme der Dichtigkeit mit steigender ISO-Größe (Abb. 9). Im Mittel wurde bei keiner ISO-Größe die maximale Dichtigkeit (Kategorie A) erreicht.

Am wenigsten dicht war indes die ISO-Größe 25, welche sich signifikant von den ISO-Größen 15, 20, 30 und 35 unterschied ($p < 0,05$). Am dichtesten war die ISO-Größe 15, jedoch bestand kein signifikanter Unterschied zu den Größen 20, 30, 35 und 40. Die ISO-Größe 20 unterschied sich signifikant nur von den Größen 25 und 40 ($p < 0,05$) (Tab. 1).

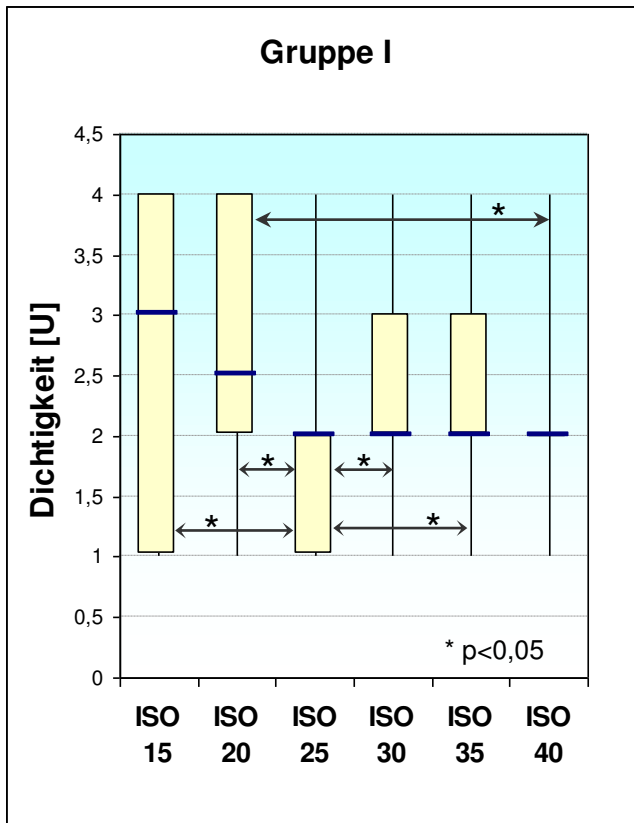


Abb. 9: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Dichtigkeit U (Grad der Röntgenopazität des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 4 einer Dichtigkeit von 100% und der Wert 1 einer Dichtigkeit von 0%) bei Untersuchungsgruppe I (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle (n=90). Statistisch signifikant geringste Dichtigkeit in der ISO 25- Gruppe (p<0,05).

3.1.2 Ergebnisse der Gruppe II

Bei den Wurzelfüllungen der Gruppe II (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einem Endodontie-Fingerplugger) zeigte sich keine eindeutige Tendenz im Sinne einer Verbesserung oder Verschlechterung der Dichtigkeit in Abhängigkeit von der ISO-Größe ($p < 0,05$) (Abb. 10). Die Dichtigkeit betrug im Mittel für alle untersuchten ISO-Größen unter 50% (Kategorie B).

Zwischen den einzelnen ISO-Größen war kein signifikanter Unterschied festzustellen (Tab. 2).

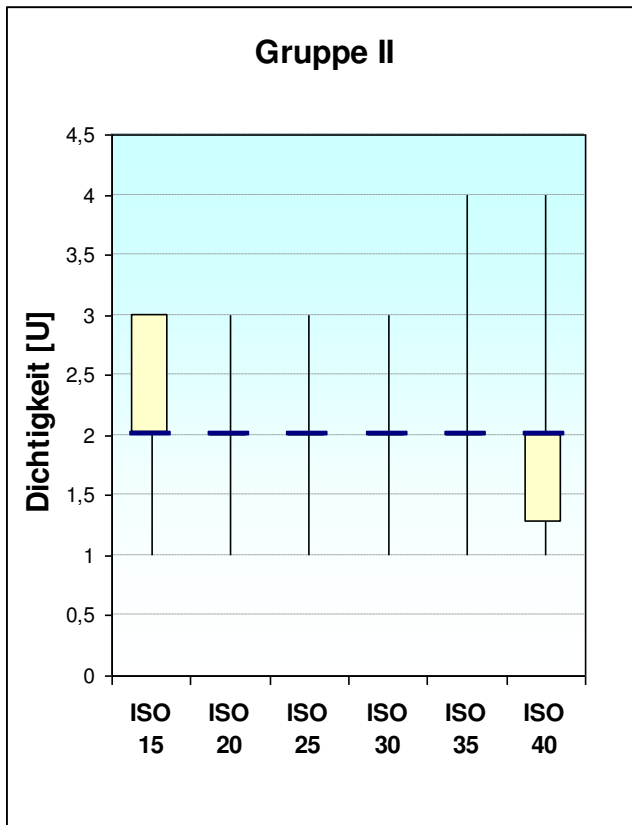


Abb. 10: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Dichtigkeit U (Grad der Röntgenopazität des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 4 einer Dichtigkeit von 100% und der Wert 1 einer Dichtigkeit von 0%) bei Untersuchungsgruppe II (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einem Endodontie-Fingerpluggler) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle(n=90). Kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen.

3.1.3 Ergebnisse der Gruppe III

Bei Gruppe III (Applikation mit der mitgelieferten Applikations- (Misch-) Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einer K-Feile) zeigte sich ebenfalls keine eindeutige Tendenz im Sinne einer Verbesserung oder Verschlechterung der Dichtigkeit in Abhängigkeit von der ISO-Größe (Abb. 11). Im Mittel wurden keine Dichtigkeiten von über 50% erreicht.

Das signifikant beste Ergebnis wurde für ISO 40 erreicht ($p < 0,05$). Die schlechtesten Werte waren bei den ISO-Größen 15 und 25 festzustellen, nicht signifikant besser war ISO 35. Signifikant besser waren die Größen ISO 30 und ISO 20 ($p < 0,05$) (Tab. 3).

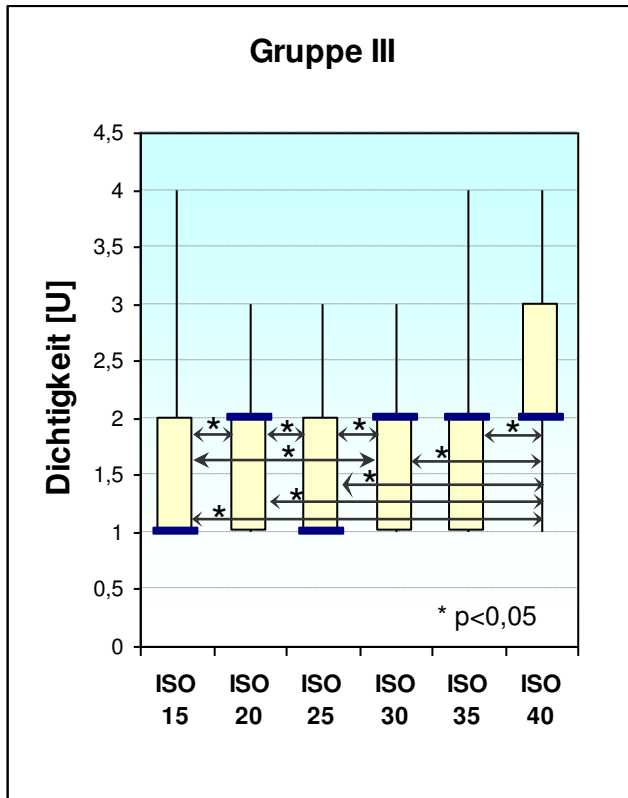


Abb. 11: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Dichtigkeit U (Grad der Röntgenopazität des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 4 einer Dichtigkeit von 100% und der Wert 1 einer Dichtigkeit von 0%) bei Untersuchungsgruppe III (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einer K-Feile) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle(n=90). Größte Dichtigkeit in der ISO 40-Gruppe(p<0,05).

3.1.4 Ergebnisse der Gruppe IV

Gruppe IV zeigte im Mittel maximale Dichtigkeit entsprechend der Kategorie D für alle untersuchten ISO-Größen (Abb. 12).

Tendenziell zeigten sich mit steigender ISO-Größe auch bessere Werte (Tab. 4). Die schlechtesten Werte wurden für ISO 15 und ISO 20 erreicht, ISO 20 und ISO 25 schnitten signifikant besser ab als ISO 15 ($p < 0,05$). Die besten Werte wurden erreicht für ISO 25, ISO 40, ISO 30 und ISO 35 in entsprechender Reihenfolge. Diese Bestwerte unterschieden sich signifikant zu ISO 15 und ISO 20 ($p < 0,05$) (Tab. 4).

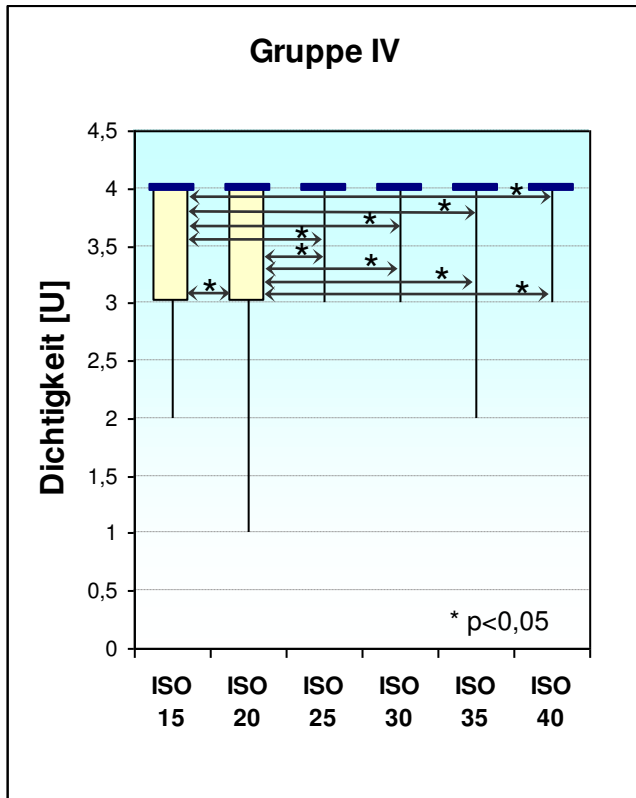


Abb. 12: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Dichtigkeit U (Grad der Röntgenopazität des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 4 einer Dichtigkeit von 100% und der Wert 1 einer Dichtigkeit von 0%) bei Untersuchungsgruppe IV (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend Einbringen eines Zentralstiftes) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle(n=90). Statistisch signifikant größere Dichtigkeit mit steigender ISO-Größe(p<0,05).

3.1.5 Ergebnisse der Gruppe V

Bei der Untersuchungsgruppe V wurden im Mittel für alle untersuchte ISO-Größen Dichtigkeiten von weniger als 50% entsprechend der Kategorie B erreicht (Abb. 13).

Es waren signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen ISO-Größen erkennbar ohne eine eindeutige Tendenz zu besseren oder schlechteren Ergebnissen in Abhängigkeit von der ISO-Größe (Tab. 5). Die Werte für ISO 15, 20 und 25 waren signifikant besser als die für ISO 30, 35 und 40 ($p < 0,05$). Die Werte für ISO 40, 35 und 15 waren signifikant besser als für ISO 30 und signifikant schlechter als die für ISO 25 und 20 ($p < 0,05$) (Tab. 5).

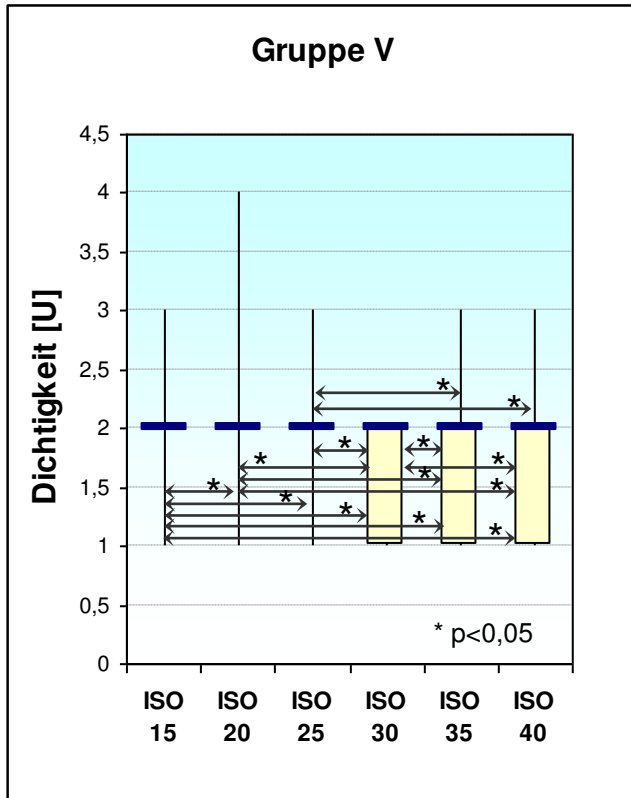


Abb.13: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Dichtigkeit U (Grad der Röntgenopazität des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 4 einer Dichtigkeit von 100% und der Wert 1 einer Dichtigkeit von 0%) bei Untersuchungsgruppe V (Applikation mit einer K-Feile) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle(n=90). Signifikant geringere Dichtigkeit mit steigender ISO-Größe(p<0,05).

3.1.6 Ergebnisse der Gruppe VI

Bei der Untersuchungsgruppe VI wurden für die ISO-Größe 15 im Mittel Dichtigkeiten von $> 50\%$ entsprechend der Kategorie C erreicht, für alle anderen ISO-Größen wurde im Mittel die maximale Dichtigkeit entsprechend der Kategorie D erzielt (Abb. 14). Tendenziell zeigte sich eine Verbesserung der Werte mit steigender ISO-Größe. Dabei schnitten die Größen ISO 20 und ISO 25 signifikant besser ab als ISO 15 ($p < 0,05$). ISO 30 und ISO 40 wiederum zeigten signifikant bessere Werte als ISO 15 und ISO 20 ($p < 0,05$). Die besten Ergebnisse wurden mit der ISO-Größe 35 erreicht, die Unterschiede zu ISO 15, ISO 20 und ISO 25 waren signifikant ($p < 0,05$) (Tab. 6).

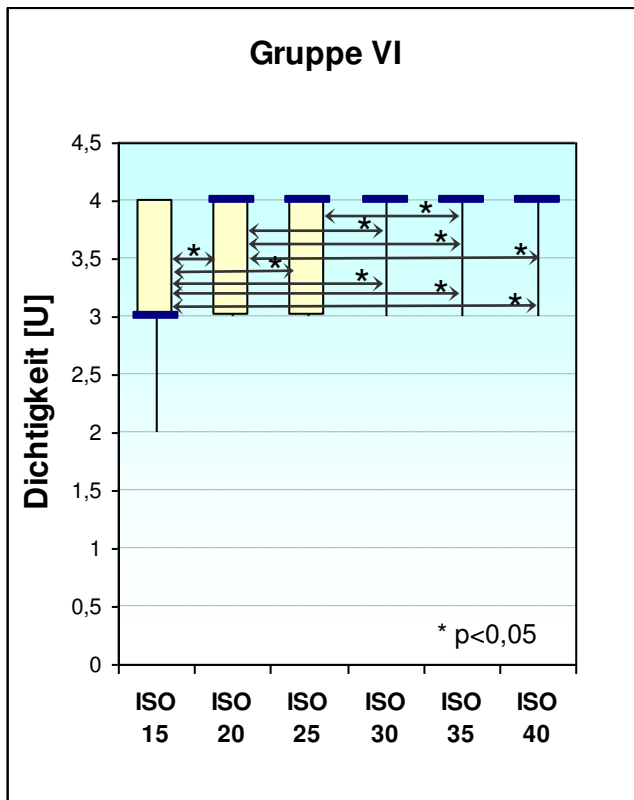


Abb. 14: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Dichtigkeit U (Grad der Röntgenopazität des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 4 einer Dichtigkeit von 100% und der Wert 1 einer Dichtigkeit von 0%) bei Untersuchungsgruppe VI (Applikation mit einer K-Feile, anschließend Einbringen eines Zentralstiftes) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle(n=90). Signifikant größere Dichtigkeit bei steigender ISO-Größe(p<0,05).

3.1.7 Ergebnisse der Gruppe VII

Bei der Untersuchungsgruppe VII wurden im Mittel für alle untersuchte ISO-Größen Dichtigkeiten von weniger als 50% entsprechend der Kategorie B erreicht (Abb. 15).

Es waren signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen ISO-Größen erkennbar ohne eine Tendenz zu besseren oder schlechteren Ergebnissen in Abhängigkeit von der ISO-Größe (Tab. 7). Die besten Werte ergaben sich für ISO 25, diese waren signifikant besser als die Werte der Größen ISO 25, ohne signifikanten Unterschied zu ISO 40 und ISO 20 ($p < 0,05$). Signifikant schlechter als ISO 25 schnitten ISO 15, ISO 35 und ISO 30 ab ($p < 0,05$). Die Größen ISO 40 und ISO 20 zeigten signifikant bessere Werte als ISO 30 und ISO 35 ($p < 0,05$). Die Unterschiede zu ISO 15 waren nicht signifikant (Tab. 7).

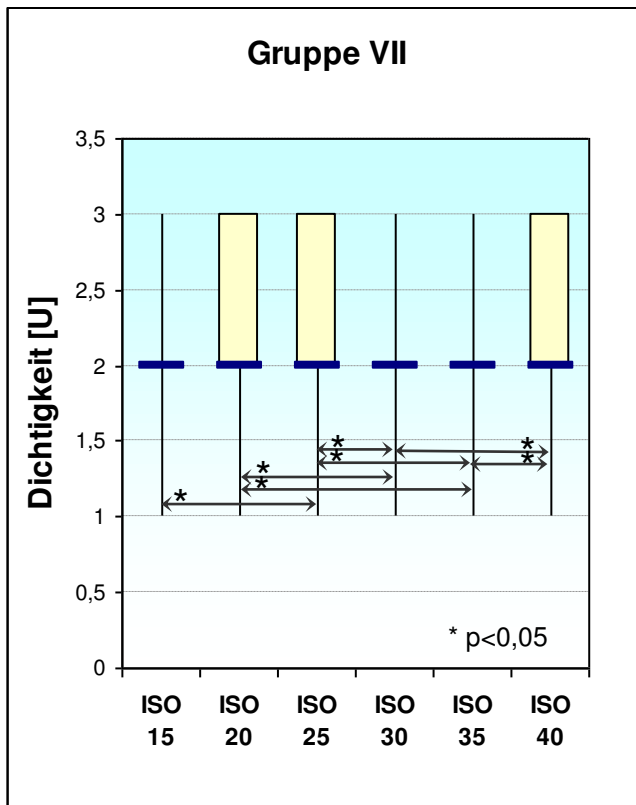


Abb. 15: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Dichtigkeit U (Grad der Röntgenopazität des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 4 einer Dichtigkeit von 100% und der Wert 1 einer Dichtigkeit von 0%) bei Untersuchungsgruppe VII (Applikation mit einer auf das Kanallumen abgestimmten Wurzelfüllspirale) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle (n=90). Keine deutliche Abhängigkeit zwischen Dichtigkeit und ISO-Größe des Kanals.

3.2 Ergebnisse bezüglich der Länge in Abhängigkeit von der ISO- Größe

3.2.1 Ergebnisse der Gruppe I

Bei Untersuchungsgruppe I war im Mittel eine Tendenz von unzureichender Länge entsprechend der Kategorie -1 hin zu idealer Länge entsprechend der Kategorie 3 mit steigender ISO-Größe erkennbar (Abb. 16).

Die Größen ISO 15 und ISO 20 zeigten im Mittel eine unzureichende Länge der Wurzelfüllung. Bei ISO 25 konnte im Mittel eine nahezu ausreichende Länge der Wurzelfüllung festgestellt werden. Der Unterschied zu ISO 15 und ISO 20 war dabei signifikant ($p < 0,05$) (Tab. 8). Bei ISO 30 wurde im Mittel eine leichte Überfüllung, bei ISO 35 und ISO 40 jeweils eine ideale Länge der Wurzelfüllung ermittelt. Die Unterschiede zu ISO 25, ISO 20 und ISO 15 waren dabei signifikant ($p < 0,05$) (Tab. 8).

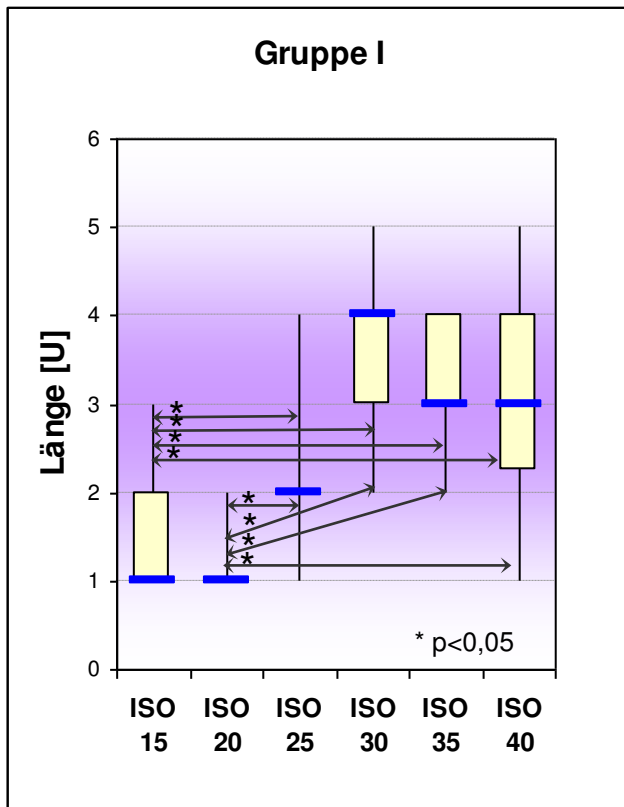


Abb. 16: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Länge U (Röntgenologisch erkennbarer Tiefenpunkt des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 3 einer idealen Länge, der Wert 1 einer maximalen Unterfüllung und der Wert 5 einer maximalen Überfüllung) bei Untersuchungsgruppe I (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle (n=90). Exaktes Erreichen der Aufbereitungslänge (Kodierung 3) bei größer aufbereiteten Kanälen.

3.2.2 Ergebnisse der Gruppe II

Bei Untersuchungsgruppe II zeigte sich eine eindeutige Tendenz hin zu einem steigenden Ausmaß des Überfüllens mit steigender ISO-Größe (Abb. 17).

Bei ISO 15 und ISO 20 waren im Mittel entsprechend der Kategorie 1 eine leichte Überfüllung des Wurzelfüllmaterials erkennbar. Der Unterschied zwischen ISO 15 und ISO 20 war dabei signifikant ($p < 0,05$) (Tab. 9). Bei den ISO-Größen 25, 30, 35 und 40 fand im Mittel eine massive Überfüllung des Wurzelkanals entsprechend der Kategorie 5 statt. Der Unterschied der vier letztgenannten Größen war sowohl zu ISO 15 als auch zu ISO 20 signifikant ($p < 0,05$).

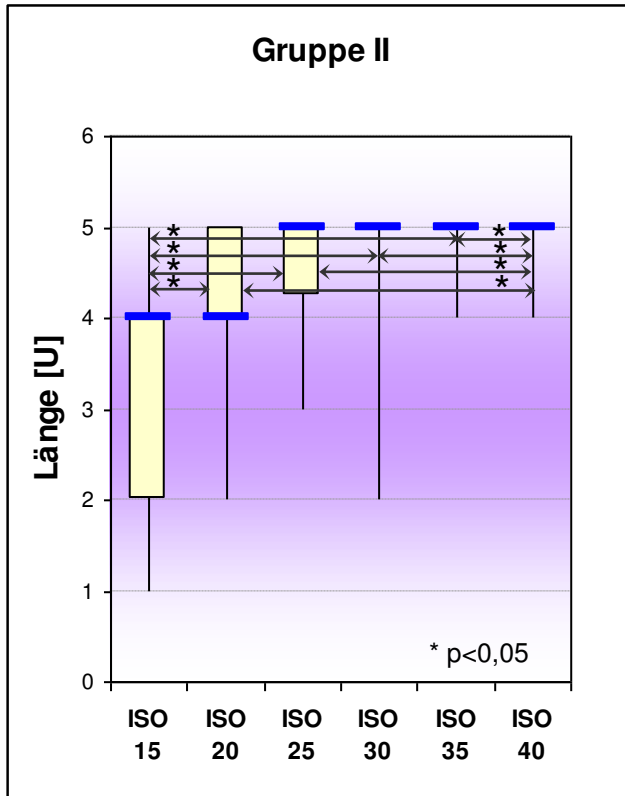


Abb. 17: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Länge (Röntgenologisch erkennbarer Tiefenpunkt des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 3 einer idealen Länge, der Wert 1 einer maximalen Unterfüllung und der Wert 5 einer maximalen Überfüllung) bei Untersuchungsgruppe II (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einem Endodontie-Fingerplugger) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle (n=90). Überstopfen des Wurzelfüllmaterials mit steigender ISO-Kanalgröße (p<0,05).

3.2.3 Ergebnisse der Gruppe III

Gruppe III zeigte ebenfalls eine Tendenz hin zu steigender Länge der Wurzelfüllung bzw. hin zu stärkerer Überfüllung mit steigender ISO-Größe (Abb. 18). Im Mittel entsprachen die Wurzelfüllungen der ISO-Größen 15, 20, 25 und 35 der idealen Länge (Kategorie 3). Bei ISO 30 zeigte sich im Mittel eine leichte Überfüllung, bei ISO 40 eine massive Überfüllung (Abb. 18).

Die Werte für die Größe ISO 15 unterschieden sich signifikant von den Werten für ISO 20, 25, 30 und 35 ($p < 0,05$). Die vier letztgenannten Größen wiederum wiesen einen signifikanten Unterschied zu ISO 40 auf ($p < 0,05$) (Tab. 10).

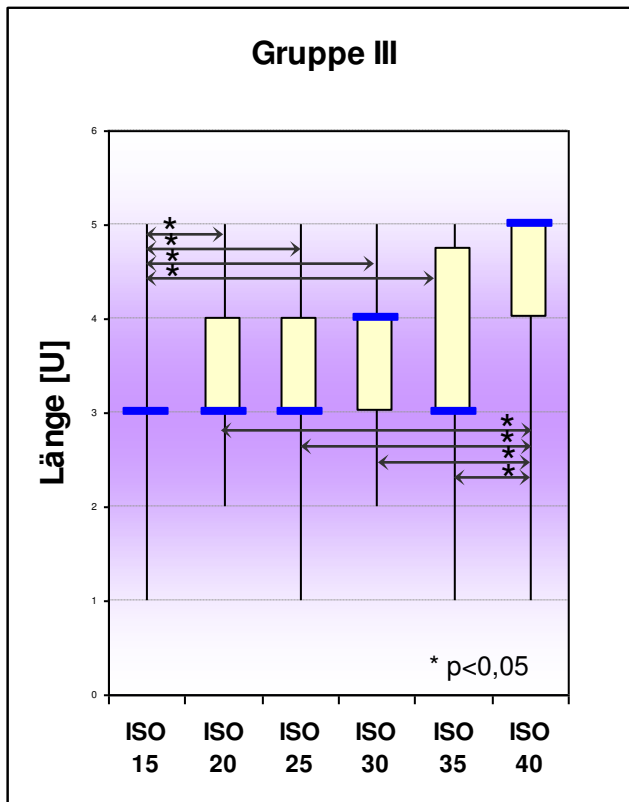


Abb. 18: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Länge (Röntgenologisch erkennbarer Tiefenpunkt des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 3 einer idealen Länge, der Wert 1 einer maximalen Unterfüllung und der Wert 5 einer maximalen Überfüllung) bei Untersuchungsgruppe III (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einer K-Feile) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle (n=90). Applikation des Wurzelfüllmaterials über die exakte Aufbereitungslänge bei steigender ISO-Größe (p<0,05).

3.2.4 Ergebnisse der Gruppe IV

In der Untersuchungsgruppe IV war eine Tendenz hin zu steigender Länge der Wurzelfüllung mit steigender ISO-Größe erkennbar (Abb. 19). Die ideale Länge der Wurzelfüllungen entsprechend der Kategorie 3 wurde im Mittel bei ISO 15 erreicht. Alle anderen ISO-Größen zeigten im Mittel entsprechend der Kategorie 4 eine leichte Überfüllung. Bei den ISO-Größen 35 und 40 wurden die meisten Überfüllungen ermittelt (Abb. 19). Der Unterschied zu der ISO-Größe 20 war signifikant ($p < 0,05$) (Tab. 11). Ebenfalls signifikant war der Unterschied der Größen ISO 20 und ISO 30 zu ISO 25 sowie der Unterschied von ISO 25 zu ISO 15 ($p < 0,05$) (Abb.30).

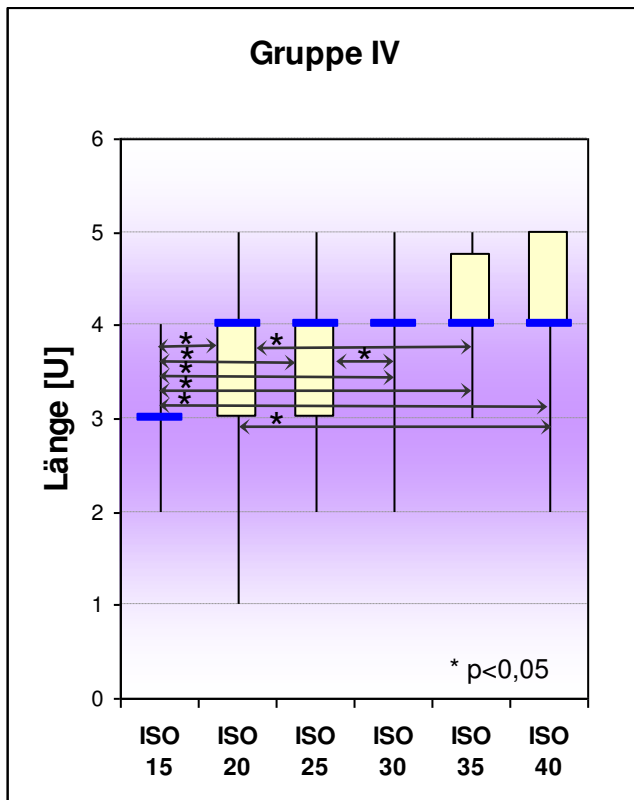


Abb. 19: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Länge (Röntgenologisch erkennbarer Tiefenpunkt des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 3 einer idealen Länge, der Wert 1 einer maximalen Unterfüllung und der Wert 5 einer maximalen Überfüllung) bei Untersuchungsgruppe IV (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend Einbringen eines Zentralstiftes) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle (n=90). Größte Überfüllungen bei großen Kanallumina (p<0,05).

3.2.5 Ergebnisse der Gruppe V

Bei Untersuchungsgruppe V war kein Zusammenhang zwischen der untersuchten ISO-Größe und der ermittelten Länge der Wurzelfüllung erkennbar (Abb. 20). Für die Größen ISO 15, ISO 20, ISO 30 und ISO 35 wurde im Mittel jeweils eine ideale Länge der Wurzelfüllungen entsprechend der Kategorie 3 gemessen. Bei ISO 25 zeigte sich im Mittel eine leichte Überfüllung des Wurzelkanals, bei ISO 40 eine leichte Unterfüllung (Abb. 20). Dabei unterschied sich lediglich ISO 25 von den anderen ISO-Größen signifikant ($p < 0,05$) (Tab. 12).

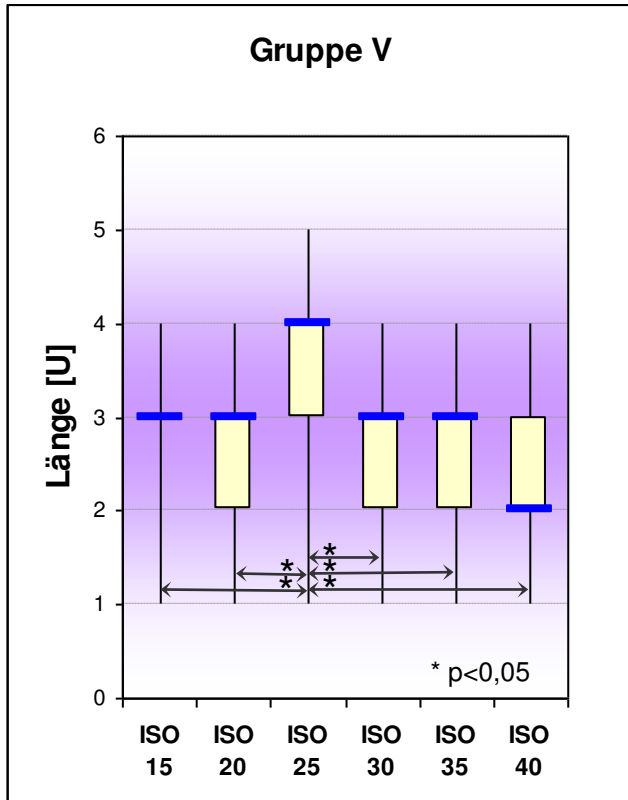


Abb. 20: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Länge (Röntgenologisch erkennbarer Tiefenpunkt des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 3 einer idealen Länge, der Wert 1 einer maximalen Unterfüllung und der Wert 5 einer maximalen Überfüllung) bei Untersuchungsgruppe V (Applikation mit einer K-Feile) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle (n=90). Keine Abhängigkeit der Füll-Länge von der ISO-Größe (p < 0,05).

3.2.6 Ergebnisse der Gruppe VI

Gruppe VI zeigte tendenziell eine größere Länge der Wurzelfüllungen mit steigender ISO-Größe (Abb. 21, Tab. 13). Nur für ISO 15 wurde im Mittel eine ideale Länge der Wurzelfüllungen ermittelt, alle anderen ISO Größen waren im Mittel leicht überfüllt (Abb. 21). Der Unterschied von ISO 15 zu den anderen Größen war signifikant ($p < 0,05$) (Tab. 13). Ebenfalls signifikante Unterschiede zu den anderen ISO-Größen zeigten sich bei den Größen ISO 35, ISO 30 und ISO 40 ($p < 0,05$) (Tab. 12).

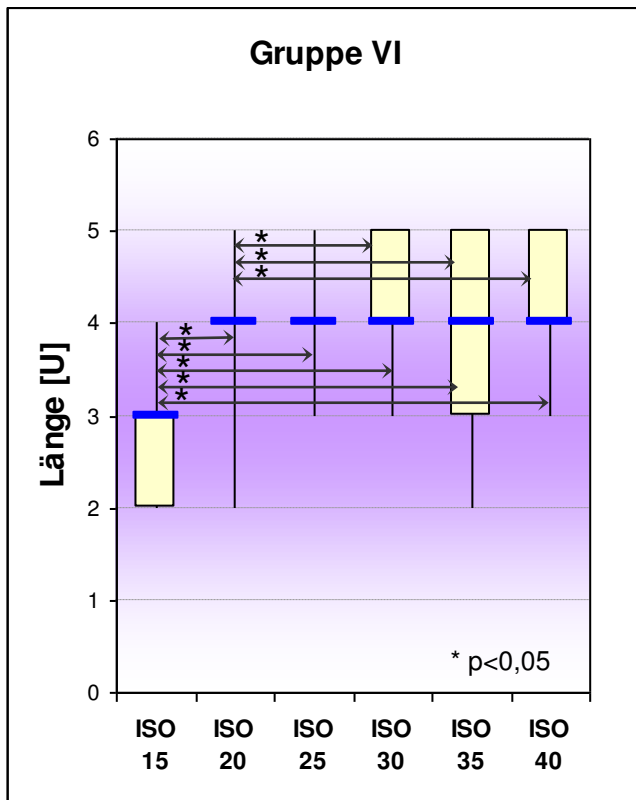


Abb. 21: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Länge (Röntgenologisch erkennbarer Tiefenpunkt des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 3 einer idealen Länge, der Wert 1 einer maximalen Unterfüllung und der Wert 5 einer maximalen Überfüllung) bei Untersuchungsgruppe VI (Applikation mit einer K-Feile, anschließend Einbringen eines Zentralstiftes) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle (n=90). Lediglich bei ISO 15-Kanälen konnte eine ideale Länge erreicht werden (p<0,05).

3.2.7 Ergebnisse der Gruppe VII

Die Ergebnisse der Gruppe VII wiesen keine eindeutige Tendenz im Sinne einer zunehmenden Länge der Wurzelfüllung mit steigender ISO-Größe auf. Eine ideale Länge der Wurzelfüllung wurde im Mittel lediglich für die Größe ISO 15 erreicht (Abb. 22). Der Unterschied zu den anderen Größen war signifikant ($p < 0,05$) (Tab. 14). Die Größen ISO 20, ISO 25, ISO 30, ISO 35 und ISO 40 waren im Mittel leicht überfüllt. Signifikante Unterschiede waren lediglich zwischen ISO 20 und ISO 25 festzustellen ($p < 0,05$) (Tab. 14).

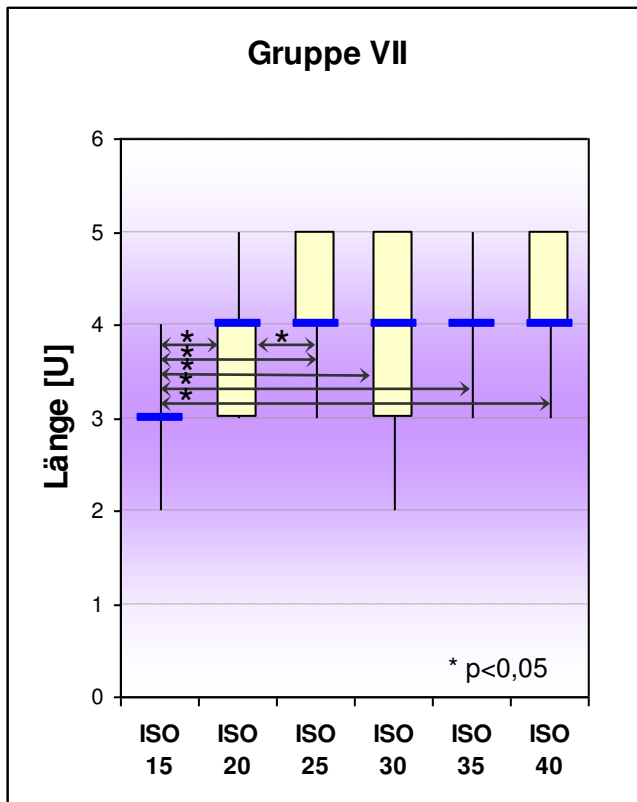


Abb. 22: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der Werte für die Länge (Röntgenologisch erkennbarer Tiefenpunkt des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 3 einer idealen Länge, der Wert 1 einer maximalen Unterfüllung und der Wert 5 einer maximalen Überfüllung) bei Untersuchungsgruppe VII (Applikation mit einer auf das Kanallumen abgestimmten Wurzelfüllspirale) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle (n=90). Leichte Überfüllungen vor allem in den ISO-Kanälen 20-40.

3.3 Ergebnisse bezüglich der Dichtigkeit in Abhängigkeit von der gewählten Applikationstechnik

Der Vergleich der verschiedenen Applikationstechniken ohne Berücksichtigung der ISO-Größen ergab bei den Gruppen IV und VI im Mittel eine maximale Dichtigkeit (Abb.23), entsprechend der Kategorie D. Die Unterschiede zu den anderen Gruppen waren hierbei signifikant ($p < 0,05$) (Tab.15). Alle weiteren Applikationsmethoden zeigten im Mittel, der Kategorie B entsprechend, eine Dichtigkeit von $< 50\%$ (Abb.37).

Die schlechtesten Werte wurden für die Gruppen III und V ermittelt (Abb.23), signifikant besser waren die Werte für Gruppe II und Gruppe VII ($p < 0,05$) (Tab.15). Gruppe I schnitt wiederum signifikant besser ab als die vorgenannten Gruppen ($p < 0,05$) (Tab.15).

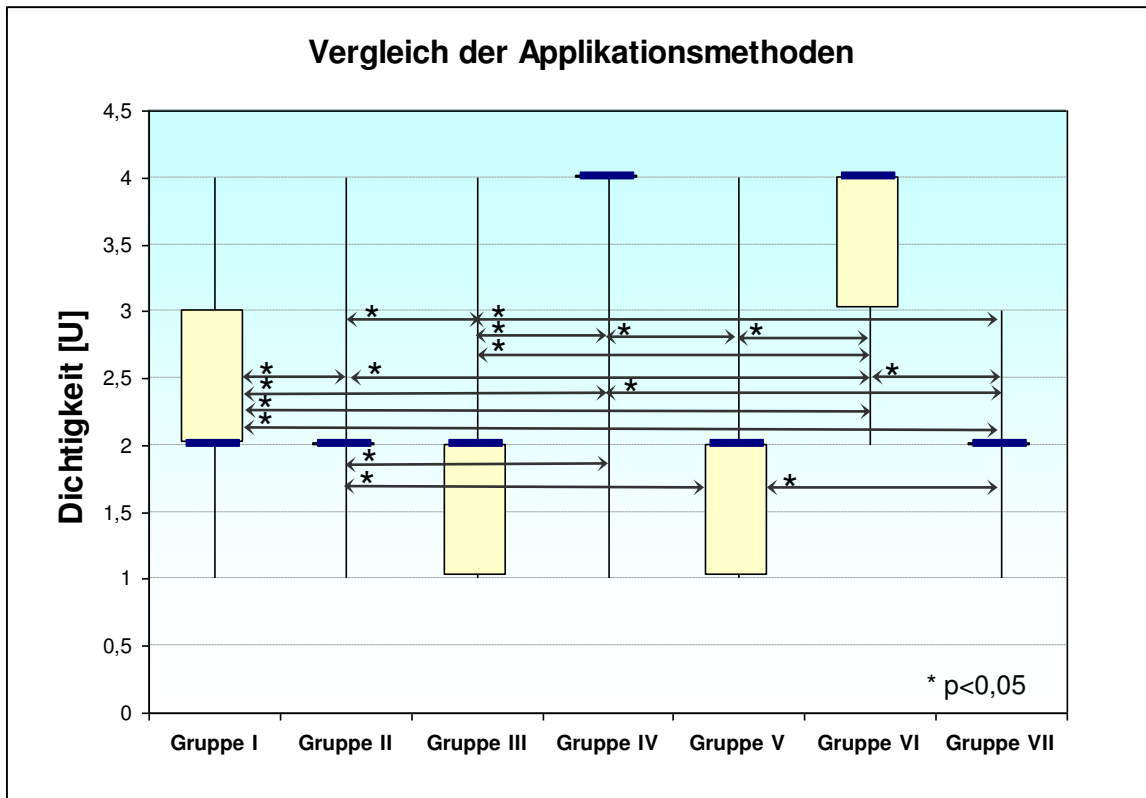


Abb.23: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der zusammengefassten Werte für die Dichtigkeit U (Grad der Röntgenopazität des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 4 einer Dichtigkeit von 100% und der Wert 1 einer Dichtigkeit von 0%) der ISO-Größen 15-40 in Abhängigkeit von der gewählten Applikationstechnik (n=540). Beste Ergebnisse unter Verwendung eines zusätzlichen Zentralstiftes (p<0,05).

3.4 Ergebnisse bezüglich der Länge in Abhängigkeit von der gewählten Applikationstechnik

Eine im Mittel ideale Länge entsprechend der Kategorie 3 war bei Gruppe III und Gruppe V festzustellen (Abb.24). Gruppe V unterschied sich dabei jedoch nicht signifikant von Gruppe I (Tab.16), bei welcher im Mittel nur eine nahezu ausreichende Länge (Kategorie -2) vorhanden war (Abb.24). Die Ergebnisse für Gruppe III dagegen waren signifikant besser als für die Gruppen I und V ($p < 0,05$) (Tab.16). Wiederum einen signifikanten Unterschied zu den vorgenannten Gruppen wiesen Gruppe IV und Gruppe VI auf ($p < 0,05$) (Tab.16), im Mittel wiesen diese Gruppen eine leichte Überfüllung (Kategorie 4) auf (Abb.24). Auch Gruppe VII zeigte im Mittel eine leichte Überfüllung (Abb.24) ohne signifikanten Unterschied zu Gruppe VI (Tab.16). Der Unterschied zu Gruppe IV dagegen war signifikant ($p < 0,05$) (Tab.16). Das größte Maß an Überfüllung (Kategorie 5 im Mittel) wurde bei Gruppe II erreicht (Abb.24). Der Unterschied zu den anderen Gruppen war dabei statistisch signifikant ($p < 0,05$) (Tab.16).

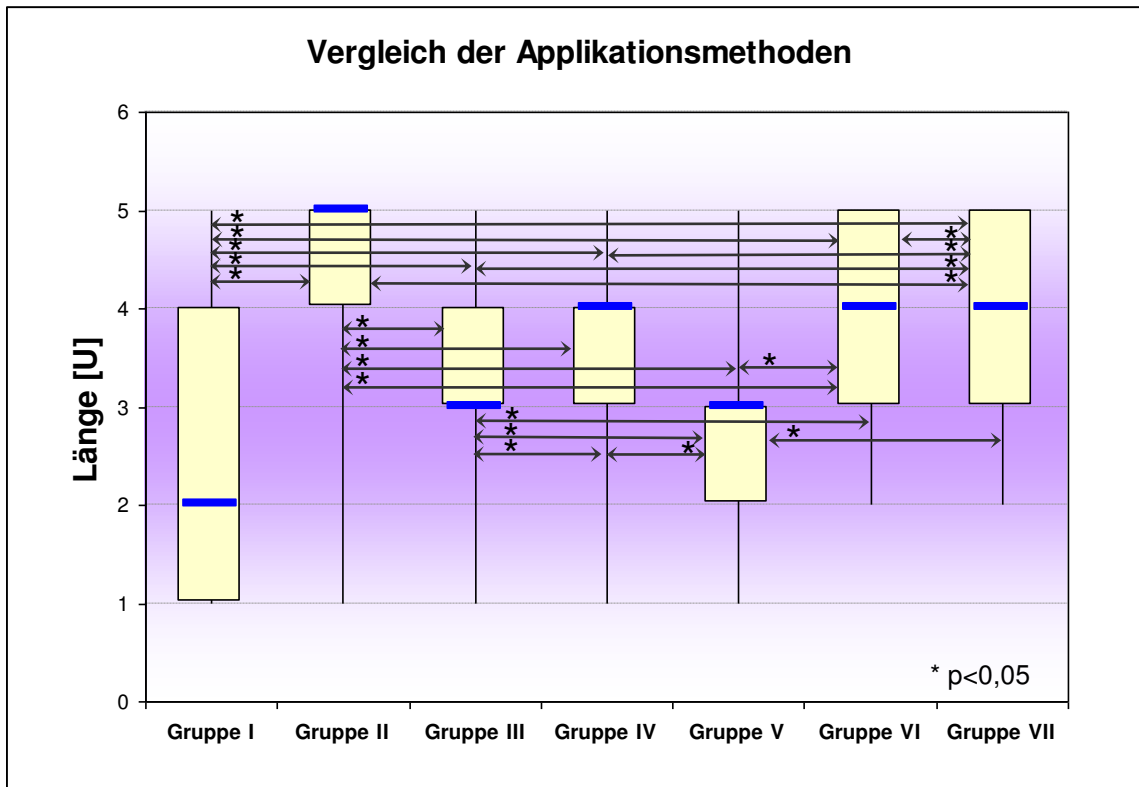


Abb.24: Graphische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der zusammengefassten Werte für die Länge (Röntgenologisch erkennbarer Tiefenpunkt des Wurzelfüllmaterials; hierbei entspricht der Wert 3 einer idealen Länge, der Wert 1 einer maximalen Unterfüllung und der Wert 5 einer maximalen Überfüllung) der ISO-Größen 15-40 in Abhängigkeit von der gewählten Applikationstechnik (n=540). Stärkste Überfüllung nach einmaligem Nachkondensieren mit einem Fingerplugger (p < 0,05) (Gruppe II).

4 Diskussion

In der vorliegenden Studie galt es unter anderem die Fragestellung zu erörtern, ob es mit dem untersuchten Material aufgrund seiner Eigenschaften möglich ist, eine Wurzelfüllung herzustellen, welche nach den klinisch zur Verfügung stehenden Kriterien Dichtigkeit und Länge auf dem Röntgenbild als ideal einzustufen ist.

4.1 Dichtigkeit

Dem in dieser Studie untersuchten Wurzelfüllmaterial wurde in Studien für die Anwendung der Zentralstifttechnik bereits gute Ergebnisse bezüglich des Abdichtungsverhaltens bescheinigt (Roggendorf et al., 2001; Roggendorf et al., 2005; Taranu et al., 2005). Einige Untersuchungen gaben jedoch auch Anlass zu der Annahme, dass eine suffiziente Wurzelfüllung mit Guttafill auch als reine Pastenfüllung ohne zusätzliche Guttaperchastifte zu erzielen sei (Whitworth et al., 2005; Roggendorf et al., 2003; ElAyouti et al., 2005). Die Ergebnisse der genannten Studien konnten in der vorliegenden Untersuchung jedoch nicht ohne Einschränkung bestätigt werden, da die mit Zentralstifttechnik hergestellten Wurzelfüllungen signifikant bessere Ergebnisse lieferten als die mit reiner Pastentechnik obturierten Kanäle. Ein direkter Vergleich der Ergebnisse ist jedoch nicht zulässig, da die genannten Arbeiten zum einen extrahierte Zähne für die Wurzelfüllungen verwendeten, zum anderen wurden Leakage-Untersuchungen durchgeführt und nicht allein eine röntgenologische Beurteilung der gefüllten Wurzelkanäle als Basis für die Auswertung genommen.

In der vorliegenden Arbeit wurden normierte, in Kunststoff gebettete Kanäle verwendet. Dies bietet gegenüber extrahierten Zähnen den Vorteil standar-

disierter Bedingungen, so dass individuelle Beschaffenheiten der Wurzelkanäle keinen Einfluss auf das Untersuchungsergebnis nehmen können (Braun et al., 1999). Die stark differierende Anatomie extrahierter Zähne wird als Grund für die oft sehr gegensätzlichen Ergebnisse solcher Studien angesehen (Wu et al., 1993). Andererseits kann eine Untersuchung an extrahierten Zähnen die Interaktionen zwischen Wurzelfüllmaterial und Wurzelkanalwand (Adhäsion am Dentin, Wechselwirkungen mit und ohne Smearlayer, etc.) besser simulieren. Eine gute Alternative könnte hierbei die Herstellung normierter Wurzelkanäle in Rinderzähnen darstellen, wie sie von Schirrmeister und Kielbassa (2005) beschrieben wurde.

Brackett (2006) führt die besseren Ergebnisse für reine Pastenfüllungen mit Guttaflow in einer Leakage-Studie auf die zusätzlichen Interaktionsflächen zwischen Guttaperchastiften und Guttaflow zurück. Vereinfacht gesagt kann laut Brackett bei einer reinen Pastenfüllung lediglich die Kontaktfläche zwischen Wurzelkanalwand und Wurzelfüllpaste undicht werden, während bei Anwendung der Zentralstifttechnik zusätzlich Undichtigkeiten zwischen Stift und Wurzelfüllpaste auftreten können.

Die Beurteilung der Dichtigkeit der Wurzelfüllungen am Röntgenbild fand in dieser Studie durch erfahrene Behandler statt. Grundsätzlich ist diese Form der Bewertung als rein subjektiv anzusehen, sie entspricht jedoch den unter klinischen Bedingungen durchgeführten Beurteilungen des Kontrollröntgenbildes einer zuvor gelegten Wurzelfüllung durch den Behandler. Eine klinische Relevanz ist somit durchaus gegeben. Zudem wurde die Objektivität der Beurteilung erhöht, indem die Wurzelfüllungen von insgesamt 6 erfahrenen Behandlern beurteilt und die Werte statistisch gemittelt wurden. Den Beurteilenden stand eine Abbildung von Referenzwurzelfüllungen zur Verfügung, anhand derer eine Einordnung in die verschiedenen Kategorien von

Dichtigkeit (maximal, >50%, <50%, unzureichend) und Länge (unzureichend, nahezu ausreichend, ideal, leichte Überfüllung, massive Überfüllung) zu erfolgen hatte.

Bei der Bewertung der Ergebnisse bezüglich der Dichtigkeit muss auch in Betracht gezogen werden, dass möglicherweise die Röntgenopazität des Guttaflow geringer ist als die der verwendeten Guttaperchastifte. Somit würden bei einer rein visuellen Beurteilung die Wurzelfüllungen mit Zentralstift bei gleichem Volumen grundsätzlich als dichter bewertet werden. Es kann also kein Rückschluss darauf gezogen werden, ob auch die Penetration von Bakterien und Flüssigkeiten bei den in der vorliegenden Arbeit als dichter bewerteten Wurzelfüllungen wirksamer verhindert werden kann als bei den als weniger dicht beurteilten Pastenfüllungen.

Eine eindeutige Verbesserung oder Verschlechterung der Dichtigkeit der Wurzelfüllungen in Abhängigkeit von der ISO-Größe konnte nicht gefunden werden. So war zwar in Gruppe I eine Tendenz hin zu dichteren Füllungen bei engeren Kanälen zu finden, in Gruppe VI hingegen waren mit steigender ISO-Größe bessere Resultate zu verzeichnen. Bei den anderen Gruppen konnte meist kein Zusammenhang zwischen Dichtigkeit der Wurzelfüllung und ISO-Größe gefunden werden.

Lässt man die Gruppen mit der Zentralstifttechnik, welche die signifikant dichtesten Wurzelfüllungen lieferten, außen vor, so zeigt sich durchaus ein Einfluß der Applikationstechnik auf die röntgenologische Dichtigkeit der Wurzelfüllung. Die Applikation mit der mitgelieferten Kanüle alleine zeigte bessere Ergebnisse als bei einem Nachkondensieren mit Plugger oder auch als die Applikation mit Hilfe eines Lentulos. Aus den hier gewonnenen Ergebnissen Schlußfolgerungen für die Praxis zu ziehen ist jedoch außerordentlich schwierig, da andere Autoren bei vergleichbaren Untersuchun-

gen zu abweichenden Ergebnissen kamen. So geben Peters et al. (2005) für die Applikation einer Kalziumhydroxidpaste in simulierte Wurzelkanäle der Verwendung eines Lentulos eindeutig den Vorzug. Zum gleichen Ergebnis kamen auch Torres et al. (2004) bei Applikation in simulierte, gekrümmte Kanäle. Braun et al. (1999) fanden für die Applikation mit einer Kanüle und das Einbringen mittels Lentulo, in beiden Fällen mit zusätzlicher vertikaler Kondensation, gleichermaßen gute Ergebnisse. Guelmann et al. (2004) hingegen fanden bessere Ergebnisse für die Applikation mittels einer Metallkanüle. Stoll et al. (2008) untersuchten die Blasenbildung bei Applikation verschiedener medikamentöser Wurzelkanaleinlagen in normierte Wurzelkanäle mit einem Lentulo sowie einer Injektionskanüle und fanden ebenfalls für die Applikation mit Metallkanüle bessere Ergebnisse. Auch die von anderen Autoren untersuchten Applikationsmethoden bei Verwendung extrahierter Zähne kommen zu ähnlich uneinheitlichen Ergebnissen (Bawazir et al., 2006; Deveaux et al., 2000; Estrela et al., 2002; Staehle et al., 2006; Teixeira et al., 2005). Bei den vorgenannten Studien wurde zumeist die Applikation einer temporären medikamentösen Einlage wie beispielsweise einer Kalziumhydroxidpaste untersucht. Die Zielsetzung hierbei ist natürlich auch eine möglichst vollständige und homogene Füllung des Wurzelkanals. Somit ist ein Vergleich zur vorliegenden Untersuchung durchaus zulässig, jedoch unterscheiden sich temporäre Wurzelkanaleinlagen in vielen Eigenschaften wie Viskosität, Adhäsion zur Kanalwand oder auch Adhäsion vom Einbringinstrument zu dem hier untersuchten Material.

Auch andere Faktoren sind äußerst variabel. So wurden teilweise extrahierte Zähne für solche Untersuchungen verwendet, wobei sich auch hier Aufbereitungsgrößen und Konizitäten unterschieden, teilweise fanden normier-

te Wurzelkanäle Verwendung, jedoch ebenfalls mit differierenden Größen, Konizitäten und Krümmungen.

Nicht zuletzt werden die Ergebnisse wohl auch durch die Erfahrung und individuelle Technik des Anwenders stark beeinflusst. So erscheint es nicht verwunderlich, dass eine solche Bandbreite unterschiedlicher Ergebnisse existiert. Um eine bessere Vergleichbarkeit verschiedener Arbeiten zu gewährleisten, sind demnach standardisierte Versuchsbedingungen für die Applikation einer Wurzelfüllpaste zu fordern. Die Anwendung einer definitiven Wurzelfüllung als reine Pastenfüllung gilt jedoch gemeinhin als obsolet. Dies ist sicher ein Grund dafür, dass nur wenige Studien sich mit der Fragestellung beschäftigen, wie eine Wurzelfüllpaste am besten dicht, blasenfrei und homogen in den Wurzelkanal einzubringen ist.

Durch die Verwendung normierter Wurzelkanäle in transparentem Kunststoff konnte bei der Applikation der Wurzelfüllungen das Verhalten des Wurzelfüllmaterials im Kanal beobachtet werden. Besonders hervorzuheben ist hierbei das Verhalten der durch das Einbringen der Wurzelfüllpaste vom Wurzelkanaleingang aus im Kanal eingeschlossenen Luft. Beim vorliegenden Versuchsaufbau war ein Entweichen der Luft nur über den Wurzelkanaleingang möglich. Dies führte zum Aufsteigen von Luftblasen nach der Applikation der Paste, welche teilweise in der Wurzelfüllung verblieben und in einer weniger dichten Wurzelfüllung resultierten. Wurde zusätzlich ein Zentralstift verwendet, so konnte die im Kanal befindliche Luft durch höheren Druck nach oben gepresst werden. Im Wesentlichen entspricht dies auch den Bedingungen am natürlichen Zahn, da das periapikale Gewebe als inkompressible Flüssigkeit aufgefasst werden kann und somit ein Entweichen der Luft über den Apex nicht oder nur unter großem Druck möglich ist. Für Studien mit extrahierten Zähnen ist daher zu fordern, dass immer

ein Einbetten der Zähne in Kunststoff oder Ähnlichem erfolgen sollte, da das Entweichen der Luft über die apikale Konstriktion nicht den klinischen Voraussetzungen entspricht. Dass in der vorliegenden Studie keine dichten und blasenfreien Wurzelfüllungen ohne zusätzlichen Guttaperchastift erzielt werden konnten, scheint also möglicherweise auf die beschriebenen Phänomene zurückzuführen zu sein. Einen Lösungsansatz für diese Problematik könnte die von Lussi (1999) beschriebene Vakuumtechnik bieten.

Die zu Beginn formulierte Hypothese, dass die röntgenologische Dichtigkeit der Wurzelfüllung abhängig von der Wurzelfülltechnik und der Aufbereitungsgröße ist, lässt sich nur hinsichtlich der Wurzelfülltechnik voll bestätigen. Die Aufbereitungsgröße lässt keinen unmittelbaren Zusammenhang zur röntgenologischen Dichtigkeit erkennen.

4.2 Länge

Die in der vorliegenden Studie durchgeführte Beurteilung des apikalen Endpunktes der Wurzelfüllung soll Aufschluß darüber geben, welche relativen Drücke bei der Anwendung verschiedener Applikationstechniken und in Abhängigkeit von der ISO-Größe entstehen und welche Empfehlungen sich hieraus für die Praxis ableiten lassen. Überwiegend ließ sich in der vorliegenden Arbeit eine Tendenz hin zu einer längeren Wurzelfüllung beziehungsweise zu einer Überfüllung mit steigender ISO-Größe erkennen. Eine Signifikanz ließ sich jedoch lediglich in Gruppe I ausmachen. Da innerhalb einer Versuchsgruppe der bei der Applikation aufgebrachte Druck für alle ISO-Größen nahezu identisch sein dürfte, wäre eine Abhängigkeit von der ISO-Größe eigentlich auch nicht zu erwarten. Der Versuchsaufbau birgt wohl den Nachteil in sich, dass bei einer größeren ISO-Größe auch die api-

kale Konstriktion einen größeren Durchmesser besitzt. Die Eindringtiefe des ISO-genormten Fingerspreaders in die Wachskugel während der Herstellung der genormten Wurzelkanäle ist zwar bei allen ISO-Größen gleich, jedoch besitzen größere Spreader am Übergang zur Wachskugel auch einen größeren Durchmesser, was zu einer weiter geöffneten apikalen Konstriktion führt. Somit kann auch das Sealmaterial bereits bei geringerem Applikationsdruck über den Apex extrudiert werden. Eine Übertragung der Ergebnisse auf klinische Verhältnisse bedarf daher einer genaueren Prüfung, denn eine Aufweitung der apikalen Konstriktion findet bei sachgerechter Aufbereitungstechnik nicht unbedingt statt, ist aber auch nicht auszuschließen.

Mayer et al. (2005) und Wu et al. (2006) fanden einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der Applikationsform des Sealmaterials und der apikalen Extrusion von Sealer. Auch in der vorliegenden Arbeit ist ein Zusammenhang zwischen Applikationstechnik und Überfüllung erkennbar. Für die Applikationstechniken lassen sich aus den gewonnenen Werten durchaus klinische Hinweise ableiten. Die Applikation mit der mitgelieferten Mischkanüle hat im statistischen Mittel zu einer leichten Unterfüllung geführt. Erklären lässt sich dies ebenfalls durch die vor dem Wurzelfüllmaterial hergeschobene Luftblase, welche ein Vordringen des Materials bis zum Apex verhindert. Ein Nachkondensieren mit einem Fingerpluggen wie in Gruppe II führt bereits zu einer massiven Überextension und kann somit nicht empfohlen werden. In den Gruppen III und V wurden die signifikant besten Werte für die Länge erzielt, gleichzeitig jedoch auch die schlechtesten Werte für die Dichtigkeit. Hieraus lässt sich ableiten, dass für die Erzielung einer möglichst dichten und homogenen Füllung eines Wurzelkanals mit einer Wurzelfüllpaste wohl auch ein gewisser Fülldruck aufgebracht werden muß,

welcher auch die Möglichkeit einer Überextension des Materials über den Apex hinaus impliziert. Es lässt sich jedoch nicht sagen, dass die angewendeten Techniken bei einer klinischen Anwendung ebenfalls zum Überpressen von Sealer in den periapikalen Bereich geführt hätten. Generell lassen sich aufgrund der zahlreichen einflussnehmenden Faktoren, wie etwa Wurzelkanalanatomie, Aufbereitungsform und -größe, Eigenschaften des Dentins und anderen, keine verlässlichen Hinweise geben, mit welchem Druck unter klinischen Bedingungen die Kondensation erfolgen sollte (Jeffrey et al., 1987).

Bezüglich des apikalen Endpunktes der Wurzelfüllung sollte auch die von Schilder (1967) beschriebene Unterscheidung zwischen Überextension und Überfüllung beziehungsweise Unterextension und Unterfüllung Erwähnung finden. Schilder beschreibt die Überfüllung eines Wurzelkanals als Zustand, bei dem die Wurzelkanalanatomie vollständig von Wurzelfüllmaterial ausgefüllt, zusätzlich jedoch Material in den Periapex gepresst wurde. Bei der Überextension ist hingegen die vollständige Obturation des Wurzelkanals nicht gegeben, während gleichzeitig die Wurzelfüllung über die apikale Konstriktion hinausragt. Analog hierzu werden von Schilder die Begriffe Unterextension und Unterfüllung benutzt, wobei die Unterextension gleichzeitig auch immer eine Unterfüllung darstellt. Diese Unterscheidung ist insofern von Bedeutung, als eine Überfüllung bei sonst ordnungsgemäß obturierterem Wurzelkanal durchaus zu klinischen Erfolgen führen kann (Huomonen et al., 2003). Die Wahl des Sealers ist hierbei jedoch mitentscheidend für den Erfolg (Waltimo et al., 2001). Huomonen et al. (2003) konnten in einem Untersuchungszeitraum von 12 Monaten bei periapikal extrudiertem Sealermaterial auf Silikonbasis sowie auf Zinkoxideugenolbasis weder eine Resorption noch eine Einschränkung des klinischen Erfolges feststellen. In-

sofern wäre zu prüfen, ob die in den Gruppen IV und VI erzielten guten Ergebnisse für die Dichtigkeit mit einer im Mittel leichten Überfüllung nicht auch klinisch zu Erfolgen führen können.

Die Hypothese, dass das exakte Erreichen der Arbeitslänge von den Faktoren Wurzelfülltechnik und Aufbereitungsgröße abhängt, konnte in der vorliegenden Studie bestätigt werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine ausreichende röntgenologische Dichtigkeit bei der Verwendung eines kaltplastischen Wurzelfüllmaterials auf Guttaperchabasis nur unter Verwendung eines zusätzlichen Zentralstiftes zu erreichen ist. Hierbei sollte keine übermäßig großvolumige Aufbereitung erfolgen, da sich hierdurch die Gefahr des Überpressens der Wurzelfüllung erhöht.

5 Zusammenfassung

Bei der vorliegenden Studie war die Zielsetzung der Vergleich verschiedener Applikationstechniken eines kaltplastischen Wurzelfüllmaterials auf Gut-taperchabasis im Hinblick auf die Länge (apikaler Endpunkt) und Dichtigkeit der Wurzelfüllungen in Abhängigkeit von der ISO-Größe genormter Wurzelkanallumina.

Zu diesem Zweck wurden Fingerspreader der ISO-Größen 15 bis 40 in transparentem Kunststoff eingebettet. Eine an der Spitze der Spreader angebrachte Wachskugel diente hierbei der Simulation eines apikalen Gewebepuffers. Nach der Erhärtung des Kunststoffes wurden die Spreader entfernt und hinterließen somit einen Hohlraum im Kunststoff. In insgesamt 630 auf diese Weise hergestellte Kanallumina wurde das kaltplastische Wurzelfüllmaterial Guttaflow® unter Anwendung von 7 verschiedenen Fülltechniken appliziert: In Gruppe I fand die Applikation nur mit der mitgelieferten Applikations- (Misch-) Kanüle statt, bei Gruppe II wurde die Applikation ebenfalls mit der mitgelieferten Applikations- (Misch-) Kanüle durchgeführt, anschließend wurde jedoch mit einem Fingerplugger nachkondensiert. In Gruppe III wurde die Applikation auch mit der mitgelieferten Applikations- (Misch-) Kanüle durchgeführt, beim anschließenden Nachkondensieren kam eine K-Feile zur Anwendung. Ebenso wurde bei Gruppe IV das Wurzelfüllmaterial mit der mitgelieferten Applikations- (Misch-) Kanüle eingebracht, anschließend erfolgte jedoch zusätzlich das Einbringen eines auf das Kanallumen abgestimmten Zentralstiftes. Die Applikation mit einer K-Feile wurde bei Gruppe V angewendet. Auch bei Gruppe VI wurde die Applikation mit einer K-Feile durchgeführt, anschließend erfolgte analog zur Gruppe IV das Einbringen eines Zentralstiftes. Gruppe VII war durch die Applikation mit einer auf das Kanallumen abgestimmten Wurzelfüllspirale

(Lentulo) gekennzeichnet. Zur Bestimmung der Dichtigkeit wurden die Kategorien A bis D (geringste bis größte Dichtigkeit) und zur Bestimmung der Länge (apikaler Endpunkt der Wurzelfüllung) die Kategorien A bis E (Unterfüllung bis Überfüllung) festgesetzt. Von den gefüllten Kanallumina angefertigte digitale Röntgenbilder sollten durch 6 erfahrene Zahnärzte bewertet und den genannten Kategorien zugeordnet werden.

Im Hinblick auf die Dichtigkeit wurden die besten Ergebnisse in den Gruppen IV und VI unter zusätzlicher Verwendung eines Guttapercha-Zentralstiftes beobachtet. In den Gruppen der reinen Pastenfüllungen konnte eine Tendenz zu größerer Dichtigkeit bei Kanallumina mit geringerer ISO-Größe beobachtet werden. Bezüglich des apikalen Endpunktes waren die Pastenfüllungen bei kleineren ISO-Größen vornehmlich unterfüllt, während bei größeren Kanallumina Überpressungen beobachtet werden konnten ($p < 0,05$). Unter zusätzlicher Verwendung eines Guttapercha-Zentralstifts konnte vor allem bei größeren Kanallumina eine geringe Überpressung der Wurzelfüllpaste beobachtet werden.

Für die Verwendung eines kaltplastischen Wurzelfüllmaterials auf Guttaperchabasis empfiehlt sich das zusätzliche Einbringen mindestens eines Guttapercha-Zentralstifts, wodurch im Vergleich zu reinen Pastenfüllungen im Hinblick auf Dichtigkeit der Wurzelfüllung ein gleichmäßiges Ergebnis erzielbar ist. Hierbei sollten keine übermäßig großvolumigen Aufbereitungen vorgenommen werden, da diese ein Überpressen des Wurzelfüllmaterials begünstigen.

6 Anhang

6.1 Tabellen zur statistischen Auswertung

6.1.1 Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe I

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| ISO 25 | 90 | 183,73333 | | |
| ISO 40 | 90 | 247,93889 | 247,93889 | |
| ISO 30 | 90 | | 268,20000 | 268,20000 |
| ISO 35 | 90 | | 280,26111 | 280,26111 |
| ISO 15 | 90 | | 307,50556 | 307,50556 |
| ISO 20 | 90 | | | 335,36111 |
| Signifikanz | | ,096 | ,154 | ,069 |

Tab.1: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Dichtigkeit bei Untersuchungsgruppe I (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.2 Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe II

| Index1 | N | Untergruppe für |
|-------------|----|-------------------|
| | | Alpha = .05. 1 |
| ISO 40 | 90 | 249,00000 |
| ISO 30 | 90 | 264,04444 |
| ISO 25 | 90 | 271,32222 |
| ISO 20 | 90 | 277,23889 |
| ISO 35 | 90 | 277,98333 |
| ISO 15 | 90 | 283,41111 |
| Signifikanz | | ,702 |

Tab. 2: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Dichtigkeit bei Untersuchungsgruppe II (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einem Endodontie-Fingerpluggler) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.3 Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe III

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| ISO 15 | 90 | 206,56667 | | |
| ISO 25 | 90 | 212,50556 | | |
| ISO 35 | 90 | 264,59444 | 264,59444 | |
| ISO 30 | 90 | | 281,82778 | |
| ISO 20 | 90 | | 292,75556 | |
| ISO 40 | 90 | | | 364,75000 |
| Signifikanz | | ,133 | ,849 | 1,000 |

Tab. 3: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Dichtigkeit bei Untersuchungsgruppe III (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einerK-Feile) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.4 Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe IV

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| ISO 15 | 90 | 217,46111 | | |
| ISO 20 | 90 | 229,37778 | 229,37778 | |
| ISO25 | 90 | | 274,81667 | 274,81667 |
| ISO 40 | 90 | | | 283,76667 |
| ISO 30 | 90 | | | 304,65000 |
| ISO 35 | 90 | | | 312,92778 |
| Signifikanz | | ,990 | ,159 | ,346 |

Tab. 4: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Dichtigkeit bei Untersuchungsgruppe IV (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend Einbringen eines Zentralstiftes) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.5 Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe V

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| ISO 30 | 90 | 206,10000 | | |
| ISO 40 | 90 | 245,60556 | 245,60556 | |
| ISO 35 | 90 | 246,58889 | 246,58889 | |
| ISO 15 | 90 | | 285,46667 | 285,46667 |
| ISO 25 | 90 | | | 312,52222 |
| ISO 20 | 90 | | | 326,71667 |
| Signifikanz | | ,379 | ,397 | ,356 |

Tab. 5: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Dichtigkeit bei Untersuchungsgruppe V (Applikation mit einer K-Feile) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.6 Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe VI

| Index1 | N | Statistik | | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | Untergruppe für Alpha = .05. | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ISO 15 | 90 | 182,50000 | | | |
| ISO 20 | 90 | | 246,17778 | | |
| ISO25 | 90 | | 258,15556 | 258,15556 | |
| ISO 30 | 90 | | | 303,07222 | 303,07222 |
| ISO 40 | 90 | | | 309,06111 | 309,06111 |
| ISO 35 | 90 | | | | 324,03333 |
| Signifikanz | | 1,000 | ,991 | ,086 | ,895 |

Tab. 6: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Dichtigkeit bei Untersuchungsgruppe VI (Applikation mit einer K-Feile, anschließend Einbringen eines Zentralstiftes) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.7 Homogene Untergruppen für Dichtigkeit Gruppe VII

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| ISO30 | 90 | 209,60000 | | |
| ISO 35 | 90 | 222,33889 | | |
| ISO 15 | 90 | 258,55556 | 258,55556 | |
| ISO 20 | 90 | | 303,62778 | 303,62778 |
| ISO 40 | 90 | | 308,68333 | 308,68333 |
| ISO 25 | 90 | | | 320,19444 |
| Signifikanz | | ,194 | ,172 | ,974 |

Tab. 7: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Dichtigkeit bei Untersuchungsgruppe VII (Applikation mit einer auf das Kanallumen abgestimmten Wurzelfüllspirale) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.8 Homogene Untergruppen für Länge Gruppe I

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| ISO 20 | 90 | 97,55556 | | |
| ISO 15 | 90 | 130,65000 | | |
| ISO 25 | 90 | | 232,67222 | |
| ISO 40 | 90 | | | 377,48333 |
| ISO 35 | 90 | | | 378,70556 |
| ISO 30 | 90 | | | 405,93333 |
| Signifikanz | | ,263 | 1,000 | ,442 |

Tab. 8: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Länge bei Untersuchungsgruppe I (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.9 Homogene Untergruppen für Länge Gruppe II

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| ISO 15 | 90 | 114,94444 | | |
| ISO 20 | 90 | | 207,96111 | |
| ISO 25 | 90 | | | 311,94444 |
| ISO 30 | 90 | | | 314,51111 |
| ISO 35 | 90 | | | 315,77778 |
| ISO 40 | 90 | | | 357,86111 |
| Signifikanz | | 1,000 | 1,000 | ,137 |

Tab. 9: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Länge bei Untersuchungsgruppe II (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einem Endodontie-Fingerpluggler) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.10 Homogene Untergruppen für Länge Gruppe III

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| ISO 15 | 90 | 166,98889 | | |
| ISO 20 | 90 | | 256,44444 | |
| ISO 25 | 90 | | 261,11667 | |
| ISO 35 | 90 | | 262,31667 | |
| ISO 30 | 90 | | 283,59444 | |
| ISO 40 | 90 | | | 392,53889 |
| Signifikanz | | 1,000 | ,869 | 1,000 |

Tab. 10: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Länge bei Untersuchungsgruppe III (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend einmaliges Nachkondensieren mit einerK-Feile) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.11 Homogene Untergruppen für Länge Gruppe IV

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ISO 15 | 90 | 126,06667 | | | |
| ISO 25 | 90 | | 231,97222 | | |
| ISO 20 | 90 | | 253,48333 | 253,48333 | |
| ISO 30 | 90 | | | 312,14444 | 312,14444 |
| ISO 40 | 90 | | | | 345,63889 |
| ISO 35 | 90 | | | | 353,69444 |
| Signifikanz | | 1,000 | ,922 | ,063 | ,382 |

Tab. 11: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Länge bei Untersuchungsgruppe IV (Applikation mit der mitgelieferten Applikations-(Misch-)Kanüle, anschließend Einbringen eines Zentralstiftes) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.12 Homogene Untergruppen für Länge Gruppe V

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = | |
|-------------|----|-------------------------|-----------|
| | | 1 | 2 |
| ISO 40 | 90 | 210,40000 | |
| ISO 30 | 90 | 213,40000 | |
| ISO 20 | 90 | 264,81111 | |
| ISO 35 | 90 | 269,82222 | |
| ISO 15 | 90 | 271,05556 | |
| ISO 25 | 90 | | 393,51111 |
| Signifikanz | | ,103 | 1,000 |

Tab. 12: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Länge bei Untersuchungsgruppe V (Applikation mit einer K-Feile) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.13 Homogene Untergruppen für Länge Gruppe VI

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| ISO 15 | 90 | 111,36667 | | |
| ISO 20 | 90 | | 239,55556 | |
| ISO 25 | 90 | | 288,47222 | 288,47222 |
| ISO 35 | 90 | | | 313,76111 |
| ISO 40 | 90 | | | 330,43889 |
| ISO 30 | 90 | | | 339,40556 |
| Signifikanz | | 1,000 | ,216 | ,176 |

Tab. 13: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) für die Länge bei Untersuchungsgruppe VI (Applikation mit einer K-Feile, anschließend Einbringen eines Zentralstiftes) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.14 Homogene Untergruppen für Länge Gruppe VII

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | |
|-------------|----|------------------------------|-----------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| ISO 15 | 90 | 124,42222 | | |
| ISO 20 | 90 | | 245,65556 | |
| ISO 40 | 90 | | 299,84444 | 299,84444 |
| ISO 30 | 90 | | 301,31111 | 301,31111 |
| ISO 35 | 90 | | 305,75000 | 305,75000 |
| ISO 25 | 90 | | | 346,01667 |
| Signifikanz | | 1,000 | ,082 | ,327 |

Tab. 14: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) der Werte für die Länge bei Untersuchungsgruppe VII (Applikation mit einer auf das Kanallumen abgestimmten Wurzelfüllspirale) in Abhängigkeit von der ISO-Größe der genormten Wurzelkanäle

6.1.15 Homogene Untergruppen für Dichtigkeit ISO 15 bis 40

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | | |
|-------------|-----|------------------------------|------------|------------|------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Gruppe III | 540 | 1124,17963 | | | |
| Gruppe V | 540 | 1195,94815 | | | |
| Gruppe II | 540 | | 1476,96852 | | |
| Gruppe VII | 540 | | 1496,40556 | | |
| Gruppe I | 540 | | | 1706,89074 | |
| Gruppe VI | 540 | | | | 3104,25370 |
| Gruppe IV | 540 | | | | 3128,85370 |
| Signifikanz | | ,793 | 1,000 | 1,000 | ,999 |

Tab.15: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) der zusammengefassten Werte für die Dichtigkeit der ISO-Größen 15-40 in Abhängigkeit von der gewählten Applikationstechnik

6.1.16 Homogene Untergruppen für Länge ISO 15 bis 40

| Index1 | N | Untergruppe für Alpha = .05. | | | | |
|-------------|-----|------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Gruppe I | 540 | 1029,30093 | | | | |
| Gruppe V | 540 | 1175,58148 | | | | |
| Gruppe III | 540 | | 1780,17500 | | | |
| Gruppe IV | 540 | | | 2013,15648 | | |
| Gruppe VI | 540 | | | 2192,56759 | 2192,56759 | |
| Gruppe VII | 540 | | | | 2217,45556 | |
| Gruppe II | 540 | | | | | 2825,26296 |
| Signifikanz | | ,276 | 1,000 | ,079 | 1,000 | 1,000 |

Tab.16: Statistische Auswertung (Scheffé-Prozedur) der zusammengefassten Werte für die Länge der ISO-Größen 15-40 in Abhängigkeit von der gewählten Applikationstechnik

7 Literaturverzeichnis

- 1. Alam MS, Bashar AK, Begumr JA, Kinoshita JI.** A study on Flexmaster: a Ni-Ti rotary engine driven system for root canal preparation. Mymensingh Med J 2006; 15: 135-141
- 2. Andresen V.** Verbesserte Methoden der Wurzelbehandlung. Dtsch Mschr Zahnheilk 1912; 30: 200-216
- 3. Antonopoulos K, Attin T, Hellwig E.** Evaluation of the apical seal of root canal fillings with different methods. J Endod 1998; 24: 655-658
- 4. Bathel CR, Noack MJ, Roulet JF.** Die Dichtigkeit von Ketac Endo und AH26 in Abhängigkeit von der Wurzelkanalfülltechnik in vitro. Dtsch Zahnärztl Z 1994; 49: 285
- 5. Bach J.** In: Dental-Lexikon München: R.D.D.-Verlag für Dentistik, 1930: 871
- 6. Baker C, Pradhan A, Pakstis L, Pochan Darrin J, Shah S Ismat.** Synthesis and Antibacterial Properties of Silver Nanoparticles. Journal of Nanoscience and Nanotechnology 2005; 5: 244-249
- 7. Barkins W, Montgomery S.** Evaluation of Thermafil obturation of curved canals prepared by the Canal Master-U System. J Endod 1992; 18: 285-289

- 8. Bawazir OA, Salama FS.** Clinical evaluation of root canal obturation methods in primary teeth. *Pediatric dentistry* 2006; 28: 39-47
- 9. Beatty RG.** The effect of standard or serial preparation on single cone obturation. *Int Endod J* 1987; 20: 276-281
- 10. Beatty RG, Baker PS, Haddix j, Hart F.** The efficacy of four root canal obturation techniques in preventing apical dye penetration. *JADA* 1989; 119: 633-637
- 11. Bortnick KL, Steiman HR, Ruskin A.** Comparison of nickel-titanium file distortion using electric and air-driven handpieces. *J Endod* 2001; 27: 57-59
- 12. Bouillaguet S, Wataha JC, Tay FR, Brackett MG, Lockwood PE.** Initial In Vitro Biological Response to Contemporary Endodontic Sealers. *JOE* 2006; 32:989-992
- 13. Brackett MG, Martin R, Sword J, Oxford C, Rueggeberg FA, Tay FR, Pashley DH.** Comparison of Seal After Obturation Techniques using a Polydimethylsiloxane-Based Root Canal Sealer. *JOE* 2006; 32: 1188-1190
- 14. Braun A, Nolden R.** Applikation eines Kalziumhydroxid-Pastenpräparates in ISO-genormte Wurzelkanäle. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999; 54: 258-261

15. **Brodin P, Røed A, Aars H, Ørstavic D.** Neurotoxic effects of root filling materials on rat phrenic nerve in vitro. *J Dent Res* 1982; 61: 1020
16. **Brzovic V, Miletic I, Anic I, Malcic A, Jukic S, Osmak M.** In vitro cytotoxicity of root canal sealers. *Int Endod J* 2005; 38: 942
17. **Brzovic V, Miletic I, Zeljezic D, Mladinic M, Kasuba V, Ramic S, Anic I.** In vitro genotoxicity of root canal sealers. *Int Endod J* 2009; 42: 253-263
18. **Byström A, Sundqvist G.** Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res* 1981; 89: 321
19. **Chohayeb AA.** Comparison of conventional root canal obturation techniques with Thermafil obturators. *J Endod* 1992; 18: 10-12
20. **Chu CH, Lo EC, Cheung GS.** Outcome of root canal treatment using Thermafil and cold lateral condensation filling techniques. *Int Endod J* 2005; 38: 179-185
21. **Clark DS, EIDeeb ME.** Apical sealing ability of metal versus plastic carrier Thermafil obturators. *J Endod* 1993; 19: 4-9
22. **Cobankara FK, Adanir N, Belli S, Pashley DH.** A quantitative evaluation of apical leakage of four root canal sealers. *Int Endod J* 2002 ; 35 : 979-984

- 23. Deveaux E, Dufour D, Boniface B.** Five methods of calcium hydroxide intracanal placement : an in vitro evaluation. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 2000; 89: 349-355
- 24. DGZMK (Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und DGZ).** Anwendung aldehydfreisetzender zahnärztlicher Materialien. Dtsch Zahnärztl Z 1997; 52: 772
- 25. DGZMK (Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und DGZ).** Wurzelkanalfüllpasten und –füllstifte. Dtsch Zahnärztl Z 1999; 55
- 26. DGZMK (Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK, DGZPW und DGZ).** Aufbau endodontisch behandelter Zähne. Dtsch Zahnärztl Z 2003; 58: 199
- 27. DGZMK (Gemeinsame Stellungnahme der DGZ und DGZMK).** Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung. Dtsch Zahnärztl Z 2005; 60
- 28. Dutra F, Barroso JM, Carrasco LD, Capelli A, Guerisoli DM, Pécora JD.**
Evaluation of apical microleakage of teeth with four different root canal sealers.
Journal of applied oral science: revista FOB 2006; 14: 341-345

29. ElAyouti A, Achleithner C, Löst C, Weiger R.

Homogeneity and Adaption of a New Gutta-Percha Paste to Root Canal Walls.

JOE 2005; 31: 687-690

30. El Deeb M, Zucker KJ, Messer H.

Apical leakage in relation to radiographic density of gutta-percha using different obturation techniques.

J Endod 1985; 11: 25-29

31. Eldeniz A, Erdemir A, Hadimli HH, Belli S, Erganis O.

Assesment of antibacterial activity of EndoREZ.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 2006; 102: 119-126

32. Eldeniz A, Mustafa K, Ørstavik D, Dahl JE.

Cytotoxicity of new resin-, calcium hydroxide- and silicone- based root canal sealers on fibroblasts derived from human gingiva and L929 cell lines.

Int Endod J 2007; 40: 329-337

33. Eldeniz A, Ørstavik D.

A laboratory assesment of coronal bacterial leakage in root canals filled with new and conventional sealers.

Int Endod J 2009; 42 : 303-312

34. Estrela C, Mamede Neto I, Lopes HP, Estrela CR, Pécora JD.

Root canal filling with calcium hydroxide using different techniques.

Brazilian Dent J 2002; 13: 53-56

35. Fehr B, Huwyler T, Wüthrich B.

Formaldehyd- und Paraformaldehydallergie.

Schweiz. Monatsschr Zahnmed 1992; 102: 94

36. Feiglin B.

Effect of some endodontic sealers on cell migration in experimental granulomas.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1987; 63: 371

37. Flax M, Barnett F, Tronstad L.

In vivo solubility of calcium hydroxide-containing root canal sealers (Abstract 1162).

J Dent Res 1986; 65: 298

38. Gençoglu N, Sener G, Omurtag GZ, Tozan A, Uslu B, Arbak S.

Comparison of biocompatibility and cytotoxicity of two new root canal sealers.

Int Endod J 2005; 38: 943

39. Gençoglu N, Türkmen C, Ahiskali R.

A new silicon-based root canal sealer (Roekoseal[®]-Automix).

J Oral Rehabil 2003; 30: 753-755

40. Gerosa R, Pongione G, Testarelli L, Gallottini L, Gambarini G.

Cytotoxicity of a new, experimental endodontic sealer: a comparative study.

Int Endod J 2003; 36 : 953 (Abstract)

41. Geurtsen W, Leyhausen G.

Biological aspects of root canal filling materials – histocompatibility, cytotoxicity and mutagenity.

Clin Oral Invest 1997; 1: 5-11

42. Goodman A, Schilder H, Aldrich W.

The thermomechanical properties of gutta-percha. Part II. The history and molecular chemistry of gutta-percha.

Oral Surg 1974; 37: 954-961

43. Grade AC.

Eugenol in Wurzelkanalzementen als mögliche Ursache für die Entstehung einer Urtikaria.

Endodontie 1995; 4: 121

44. Grossman L, Oliet S, DelRio C.

Endodontic Practice, 11. Auflage

Philadelphia: Lea & Febiger, 1988

45. Guelmann M, McEachern M, Turner C.

Pulpectomies in primary incisors using three delivery systems: an in vitro study.

J of clinical pediatric dentistry 2004; 28: 323-326

46. Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM.

Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation.

Int Endod J 2005; 38: 743-752

47. Guigand M, Pellen-Mussi P, Vulcain JM, Bonnaure-Mallet M.

Evaluation of the cytocompatibility of three endodontic materials.

J Endod 1999; 25: 419

48. Guldener PAH

Die Stifttechnik in der Endodontie

Schweiz Mschr Zahnheilk 1971; 81: 311

49. Guldener PAH.

Endodontie: Wurzelkanalaufbereitung und -füllung.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 1989; 99: 1019- 1028

50. Guldener PAH, Langeland K.

Endodontologie

Stuttgart: Thieme, 1993 (3. Auflage)

51. Gutiérrez JH, Villena F, Gigoux C, Mujica F.

Microscope and scanning electron microscope examination of silver points corrosion caused by endodontic materials.

J Endodont 1982; 8: 301

52. Habl C, Bodenwinkler A, Stürzlinger H.

Wurzelbehandlung an Molaren.

Schriftenreihe Health Technology Assessment 2005; VOL 18 (1. Auflage)

53. Handtmann S, Lindemann W, Hüttemann H, Schulte W.

Korrosionserscheinungen an Silberstiften im Wurzelkanal (I).

Dtsch Zahnärztl Z 1987; 42: 362-367

54. Heidemann D.

Die Wurzelfüllung-manuell-maschinell.

Dtsch Zahnärztl Z 1989; 44: 414-416

55. Herbert J, Bruder M, Braunsteiner J, Altenburger MJ, Wrbas KT.

Apical quality and adaption of Resilon, EndoREZ and Guttaflow root canal fillings in combination with a noncompaction technique.

J Endod 2009; 35: 261-264

56. Holland R, De Souza V.

Ability of a new calcium hydroxide root filling material to introduce hard tissue formation.

J Endodont 1985; 11: 535-543

57. Hülsmann M.

Die maschinelle Aufbereitung des Wurzelkanals.

In APW (Hrsg.) Endodontie. Hanser-Verlag, München 1993.

58. Hülsmann M.

Die Wurzelkanalfüllung mit Silberstiften.

Endodontie 1995; 4: 49-62

59. Hülsmann M.

Entwicklung einer Methodik zur standardisierten Überprüfung verschiedener Aufbereitungsparameter und vergleichende in-vitro-Untersuchung unterschiedlicher Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung.

Quintessenz-Verlag, Berlin 2000

60. Hülsmann M.

Guttapercha- Geschichte, Chemie, Eigenschaften und Verarbeitung.

Endodontie 1993; 2: 115-125

61. Huumonen S, Lenander-Lumikari M, Sigurdsson A, Ørstavik D.

Healing of apical periodontitis after endodontic treatment: a comparison between a silicone-based and a zinc oxide-eugenol-based sealer.

Int Endod J 2003; 36: 296-301

62. Jeffrey IW, Saunders WP.

An investigation into bond strength between a root canal sealer and root-filling points.

Int Endod J 1987; 20: 217-222

63. Kantorowicz A.

Klinische Zahnheilkunde

Berlin: Hermann Meuser Verlag, 1924

64. Kersten HW, Fransman R, Thoden van Velzen SK.

Thermomechanical compaction of gutta-percha. II. A comparison with lateral condensation in curved root canals.

Int Endod J 2007; 19: 134-140

65. Klaiber B, Mittermayer C, Kaden P, Schwechten I.

Toxizitätsbestimmung von Wurzelfüllmaterialien und deren einzelnen Komponenten in der Zellkultur.

Dtsch Zahnärztl Z 1981; 36: 212

66. Koch A, Hülsmann M.

Kieferhöhlenaspergillose und Wurzelkanalbehandlung.

Endodontie 1993; 2: 181

67. Koçkapan C.

Curriculum Endodontie

Berlin: Quintessenz Verlag, 2003

68. Kolokuris I, Beltes P, Economides N, Vlemmas I.

Experimental study of the biocompatibility of a new glass-ionomer root canal sealer (Ketac-Endo).

J Endodont 1996; 22: 395-398

69. Kozam G.

The effect of eugenol on nerve transmission.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1977; 44: 799-805

70. Langeland K, Olsson B, Pascon E.

Biological evaluation of Hydron.

J Endodont 1981; 7: 196-204

71. Lares C, elDeeb ME.

The sealing ability of the Thermafil obturation technique.

J Endod 1990; 16: 474-479

72. Limkangwalmongkol S, Abbott PV, Sandler AB.

Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta-percha using longitudinal sectioning.

J Endodont 1992; 18: 535-539

73. Lindemann W, Handtmann S, Hüttemann H, Schulte W.

Korrosionserscheinungen an Silberstiften im Wurzelkanal (III).

Dtsch Zahnärztl Z 1987; 42: 639-646

74. Lussi A.

Die Reinigung und Obturation des Wurzelkanalsystems ohne konventionelle Instrumente.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 2000; 110: 249-258

75. Lussi A, Imwinkelried S, Stich H.

Obturation of root canals with different sealers using the non-instrumentation technology (NIT).

Int Endod J 1999; 32: 17-23

76. Lussi A, Nussbächer U, Grosrey J.

A novel noninstrumented technique for cleansing the root canal system.

J Endod 1993; 19: 549-553

77. Mayer B, Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R.

Influence of sealer placement on apical extrusion of two root canal sealers

Int Endod J 2005; 38: 928

78. McMurtrey L, Krell K, Wilcox L.

A comparison between Thermafil and lateral condensation in highly curved canals.

J Endod 1992; 18: 68-71

79. Mc Spadden JT.

Self study course for the thermal condensation of gutta-percha

Form no. 337, 10/80 (1980)

80. Messing JJ.

The use of titanium cones and apical tips as a root canal filling material: a clinical evaluation.

Br Dent J 1980; 148: 41-44

81. Monticelli F, Sadek FT, Schuster GS, Volkmann KR, Looney SW, Ferrari M, Toledano M, Pashley DH, Tay FR.

Efficacy of Two Contemporary Single-cone Filling Techniques in Preventing Bacterial Leakage

JOE 2007; 33: 310-313

82. Morse DR, Martell B, Pike CG, Fantasia J, Esposito JV, Furst ML.

A comparative tissue toxicity evaluation of gutta-percha root canal sealers.

Part II. Forty-eight hour findings.

J Endodont 1984; 10: 484-486

83. Nolden R.

Zahnerhaltungskunde

Stuttgart- New York: Thieme Verlag, 1994 (6. Auflage)

84. Olson B, Wennberg A.

Early tissue reaction to endodontic filling materials.

Endod Dent Traumatol 1985; 1: 138

85. Ørstavik D, Kerekes K, Eriksen HM.

Clinical performance of three endodontic sealers.

Endod Dent Traumatol 1987; 3:178

86. Osins BA, Carter PR, Shih-Levine M.

Mikroleakage of four root canal sealer cements as determined by an electrochemical technique.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1983; 56: 80

87. Peng L, Ye L, Tan H, Zhou Y.

Outcome of root canal obturation by warm guttapercha versus cold lateral condensation : a meta-analysis.

J Endod 2007; 33: 106-109

88. Peters CI, Koka RS, Highsmith S, Peters OA.

Calcium hydroxide dressings using different preparation and application modes: density and dissolution by simulated tissue pressure.

Int Endod J 2005; 38: 889-895

89. Portmann P, Imwinkelried S, Lussi A.

Obturation quality after four years of storage using the non-instrumentation technique.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 2005; 115: 431-436

90. Rappaport HM, Lilly GE, Kapsimalis P.

Toxicity of endodontic filling materials.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1964; 18: 785

91. Ray H, Seltzer S.

A new glass ionomer root canal sealer.

J Endod 1991; 17: 598

92. Regan JD, Gutmann JL, Witherspoon DE.

Comparison of Diaket and MTA when used as root-end filling materials to support regeneration of periradikular tissues.

Int Endod J 2002; 35: 840-847

93. Roggendorf MJ.

Wurzelkanalfüllmaterialien up-to-date

BZB 2004; 9: 32-34

94. Roggendorf MJ, Ebert J, Herbstleb E, Kentsch C, Petschelt A, Frankenberger R.

Apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen unter Kontamination mit verschiedenen Spülflüssigkeiten.

Dtsch Zahnärztl Z 60. Jahrgang Supplement 2005; Sonderheft, S. A 161
Jahrestagung der DGZMK 2005

95. Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A.

Mikroleakage of a new gutta-percha root canal filling material.

Int Endod J 2001; P.17 (Abstract)

The 10th Biennial Congress ESE 4-6 October 2001 Munich, Germany

96. Roggendorf MJ, Ebert J, Schulz C, Petschelt A.

Microleakage Evaluation of Polyvinylsiloxane-based Endodontic Filling Materials Using Various Filling Methods.

The 32nd Annual Meeting of the AADR March 12-15, 2003 San Antonio, USA

97. Sachs W.

Sofortige Wurzelfüllung

Dtsch Mschr Zahnheilk 1894; 9: 325-334

98. Sattapan B, Palamara JE, Messer HH.

Torque during canal instrumentation using rotary nickel-titanium files.

J Endod 2000; 26: 156-160

99. Schäfer E, Lohmann D.

Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile-Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth.

Int Endod J 2002; 35: 514-521

100. Schäfer E, Olthoff G.

Effect of three different sealers on the sealing ability of both thermafil obturators and cold laterally compacted Gutta-Percha.

J Endod 2002; 28: 638-642

101. Schäfer E, Tepel J.

Formveränderungen gekrümmter Wurzelkanäle nach standardisierter Aufbereitung.

Dtsch Zahnärztl Z 1993; 48: 653-658

102. Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G.

Comparison of Hand Stainless Steel and Nickel Titanium Rotary Instrumentation: A Clinical Study.

J Endod 2004; 30: 432-435

103. Schilder H.

Filling root canals in three dimensions.

Dent Clin North Am 1967; 11: 723

104. Schilder H, Goodman A, Aldrich W.

The thermomechanical properties of gutta-percha. Part V. Volume changes in bulk gutta-percha as a function of temperature and its relationship to molecular phase transformation.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1985; 59: 285-296

105. Schirrmeister JF, Kielbassa AM.

Apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalsealern auf Calciumphosphat-Basis im Vergleich zu marktüblichen Füllpasten.

DZZ 2005; 60: 446-456

106. Schroeder A.

Mitteilungen über die Abschlussdichtigkeit von Wurzelfüllmaterialien und erster Hinweis auf ein neuartiges Wurzelfüllmittel.

Schweiz Monatsschr Zahnheilk 1954; 64: 921

107. Schweikl H, Schmalz G.

Evaluation of the mutagenic potential of root canal sealers using the Salmonella/microsome assay.

J Mater Sci: Mater Med 1991; 2: 181

108. Serene TP, Vesely J, Boackle RJ.

Complement activation as a possible in vitro indication of the inflammatory potential of endodontic materials.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1988; 65: 354-357

109. Shipper G, Ørstavik D, Teixeira F, Trope M.

An Evaluation of Microbial Leakage in Roots Filled with a Thermoplastic Synthetic Polymer-Based Root Canal Filling Material (Resilon).

J Endod 2004; 30: 342-347

110. Sjögren U, Sundqvist G, Ramachandran Nair PN.

Tissue reaction to gutta-percha particles of various sizes when implanted subcutaneously in guinea pigs.

Eur J Oral Sci 1995; 103: 313

111. Sonntag D, Guntermann A, Kim SK, Stachniss V.

Root canal shaping with manual stainless steel files and rotary Ni-Ti files performed by students.

Int Endod J 2003; 36: 246-255

112. Spangberg LSW, Barbosa SV, Lavigne GD.

AH26 releases formaldehyd.

J Endod 1993; 19: 596

113. Spangberg LSW, Langeland K.

Biologic effects of dental materials. I. Toxicity of root canal filling materials on HeLa cells in vitro.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1973; 35: 402-414

114. Staehle HJ, Thoma C, Müller HP.

Comparative in vitro investigation of different methods for temporary root canal filling with aqueous suspensions of calcium hydroxide.

Dental Traumatol 2006; 13: 106-112

115. Stock CJR, Walker RT, Gulabivala K.

Endodontie.

München: Urban & Fischer, 2005

116. Stoll R, Jablonski B, Jablonski-Momeni A, Stachniss V.

Zur Qualität der Applikation von Wurzelkanalmedikationen in Gelform und als Paste in Abhängigkeit von der Aufbereitungsgröße.

Dtsch Zahnärztl Z 2008; 63: 544-549

117. Swartz DB, Skidmore AE, Griffin JA.

Twenty years of endodontic success and failures.

J Endod 1983; 9: 198-202

118. Tagger M, Katz A, Tamse A.

Apical seal using the GP II method in straight canals compared with lateral condensation with or without sealer.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1994; 78: 225-231

119. Tagger M, Tamse A, Katz A, Korzen BH.

Evaluation of the apical seal produced by a hybrid root canal filling method, combining lateral condensation and the thermatic compaction.

J Endod 1984; 10: 299-303

120. Tansili JP, Nevins AJ, Borden BG.

The reaction of rat connective tissue to polyethylene tube implants filled with Hydron or gutta-percha.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1983; 55: 507

121. Taranu R, Wegerer U, Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R.

Leakage analysis of three modern root filling materials after 90 days of storage.

Int Endod J 2005; 38: 928

122. Teixeira FB, Levin LG, Trope M.

Investigation of pH at different dentinal sites after placement of calcium hydroxide dressing by two methods.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 2005; 99: 511-516

123. Tepel J, Hoppe W, Darwisch M.

Der Einfluss von Wurzelfüllpasten auf das periapikale Gewebe bei tierexperimenteller apikaler Parodontitis.

Endodontie 1994; 2: 131

124. Timpawat S, Jensen J, Feigal RJ, Messer HH.

An in vitro study of the comparative effectiveness of obturating curved root canals with gutta-percha cones, silver cones and stainless steel files.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1983; 55: 180

125. Torres CP, Apicella MJ, Yancich PP, Parker MH.

Intracanal placement of calcium hydroxide: a comparison of techniques, revisited.

J Endod 2004; 30: 225-227

126. Waltimo TM, Boiesen J, Eriksen HM, Ørstavik D.

Clinical performance of 3 endodontic sealers.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 2001; 92: 89-92

127. Wesselink PR.

Die Wurzelkanalfüllung (I).

Endodontie 1995; 4: 181

128. Wiener AD, Schilder H.

A comparative study of important physical properties of various root canal sealers. II. Evaluation of dimensional changes.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1971; 32: 928

129. Wilson AD, Clinton DJ, Miller RP.

Zinc oxide-eugenol cements: IV. Microstructure and hydrolysis.
J Dent Res 1973; 52: 253

130. Whitworth JM, Baco L.

Coronal leakage of sealer-only backfill: an in vitro evaluation.
JOE 2005; 31: 280-282

131. Woods RL, Kildea PM, Gabriel SA, Freilich LS.

A histologic comparison of Hydron and zinc oxide-eugenol as endodontic filling materials in the primary teeth of dogs.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1984; 58: 82

132. Wollard RR, Brough SO, Maggio J.

Scanning electron microscopic examination of root canal filling materials.
J Endod 1976; 2: 98-110

133. Wong M, Peters DD, Lorton I, Bernier WE.

Comparison of gutta-percha filling techniques: three chloroform-gutta-percha filling techniques. Part 2.
J Endodont 1982; 8: 4

134. Wu MK, DeGee AJ, Wesselink PR.

Leakage of four root canal sealers at different thickness.

Int Endod J 1994; 27:304

135. Wu MK, Tigos E, Wesselink PR.

An 18-month longitudinal study on a new silicon-based sealer, RSA RoekoSeal: A leakage study in vitro.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2002; 94: 499-502

136. Wu MK, van der Sluis LW, Wesselink PR.

A 1-year follow-up study on leakage of single-cone fillings with RoekoRSA sealer.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 2006; 101: 662-667

137. Wu MK, van der Sluis LW, Ardila CN, Wesselink PR.

Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different gutta-percha techniques.

Int Endod J 2003; 36: 533-540

138. Wu MK, Wesselink PR.

Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance.

Int Endod J 1993; 26: 37-43

139. Zielka DR, Brady PR, del Rio CE.

Corrosion of silver cones in bone: a scanning electron microscope and microprobe analysis.

J Endodont 1975; 1: 356

140. Zmener O, Pameijer CH, Serrano SA, Vidueira M, Machi RL.

Significance of moist root canal dentin with the use of methacrylate-based endodontic sealers: an in vitro coronal dye leakage study.

J Endodont 2008; 34: 76-79

8 Danksagungen

Mein besonderer Dank gilt Herrn OA Priv.-Doz. Dr. Andreas Braun für die geduldige Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit, insbesondere bei der statistischen Auswertung sowie der Begutachtung des Manuskripts.

Ferner möchte ich mich bei meiner Frau Verena bedanken, welche mich stets motiviert und mir im zeitraubenden Alltag immer wieder Freiräume für diese Arbeit geschaffen hat.