Aus der Klinik für
Präventive Zahnmedizin, Parodontologie und Kariologie
(Prof. Dr. med. dent. A. Wiegand)
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Ein Vergleich unterschiedlicher Methoden der Applikation von
Wurzelkanalsealern**

- Eine In- Vitro- Studie -

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Antje Müller

aus

Arnstadt

Göttingen 2015

Dekan

Prof. Dr. rer. nat. H. K. Kroemer

I. Berichterstatter:

Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann

II. Berichterstatter:

PD Dr. med. dent. S. Sennhenn- Kirchner

III. Berichterstatter:

Prof. Dr. med. dent. R. Mausberg

Tag der mündlichen Prüfung:

14.03.2016

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	1
2. LITERATURÜBERSICHT	4
2.1 Ziele der Füllung des Wurzelkanalsystems	4
2.2 Anatomie des Wurzelkanalsystems	5
2.3 Aufgaben des Sealers	6
2.4 Klassifikation der Sealer	8
2.4.1 Guttapercha-Sealer.....	8
2.4.2 Sealer mit medikamentösen Zusätzen	9
2.4.3 Zinkoxid-Eugenol-Sealer.....	9
2.4.4 Polyketon-Sealer.....	10
2.4.5 Kalziumhydroxid-Sealer	11
2.4.6 Glasionomer-Sealer	12
2.4.7 Epoxidharz-Sealer	12
2.4.8 Polydimethylsiloxan-Sealer	13
2.5 Applikation des Sealers	14
3. ZIEL DER STUDIE	15
4. MATERIAL UND METHODE.....	16
4.1 Auswahl der Zähne: Ein- und Ausschlusskriterien	16
4.2 Vorbereitung und Präparation der Wurzelkanäle	17
4.3 Einbringen des Sealers	21
4.4 Auswertung	25
5. ERGEBNISSE	28
5.1 Untersucherübereinstimmung.....	29
5.2 Ergebnisse des Versuches	29
5.2.1 Benetzung der Kanalwände	30

5.2.1.1	Präparation bis ISO-Größe 35	30
5.2.1.2	Präparation bis ISO-Größe 45	30
5.2.1.3	Zusammenfassende Bewertung der Benetzung	30
	der Kanalwände	
5.2.2	Füllung der Gruben mit Sealer	36
5.2.2.1	Präparation bis ISO-Größe 35	36
5.2.2.2	Präparation bis ISO-Größe 45	36
5.2.2.3	Zusammenfassende Bewertung	36
	der Füllung der Gruben	
5.2.3	Vergleich der ISO-Größen 35 und 45.....	41
5.3	Fehleranalyse.....	42
6.	DISKUSSION	43
6.1	Diskussion der Methode	43
6.2	Diskussion der Ergebnisse.....	47
7.	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	53
8.	ZUSAMMENFASSUNG	53
9.	LITERATURVERZEICHNIS	55
10.	ANHANG	75
10.1	Materialliste.....	75

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABB. 1	Röntgenbild der ältesten Wurzelkanalfüllung (200 v.Chr.)	2
ABB. 2	Nachbildung einer Elfenbeinschnitzerei aus Südfrankreich, 17. Jahrhundert: Der Zahnwurm als Quälgeist aus der Hölle	3
ABB. 3	Röntgenbild einer Wurzelfüllung eines Prämolaren	6
ABB. 4	Silikonmodell eines Prämolaren	6
ABB. 5	Bandsäge	17
ABB. 6	Probe in der Bandsäge	17
ABB. 7	Trennscheibe	18
ABB. 8	Silikonform mit Probe	18
ABB. 9	Zahnhälften	18
ABB. 10	Spitze des präparierten Fingerspreaders	19
ABB. 11	Ultraschallgerät mit Fingerspreader im Nadelhalter	19
ABB. 12	Aufsicht auf einen präparierten Wurzelkanal mit ovalem Querschnitt	20
ABB. 13	Präparierte Kavität unter dem Auflichtmikroskop	20
ABB. 14	Schematische Darstellung der Kavitätenpräparation	21
ABB. 15	CanalBrush mit Sealer	24
ABB. 16	Lentulo mit Sealer	24
ABB. 17	ultraschallaktivierte Feile mit Sealer	24
ABB. 18	Zahnhälften im zugehörigem Silikonschlüssel	25
ABB. 19	Zahnhälften außerhalb des Silikonschlüssels	25
ABB. 20	Objektträger mit Millimeterskalierung zur Positionierung der Proben unter dem Mikroskop	26
ABB. 21	Score 1 (für die Kanalhälften)	27
ABB. 22	Score 2 (für die Kanalhälften)	27
ABB. 23	Score 3 (für die Kanalhälften)	27
ABB. 24	Score 4 (für die Kanalhälften)	27
ABB. 25	Score 1 (für die Gruben)	28
ABB. 26	Score 2 (für die Gruben)	28
ABB. 27	Score 3 (für die Gruben)	28
ABB. 28	Score 4 (für die Gruben)	28
ABB. 29	Gesamtauswertung der Scores für die Benetzung der	31

Kanalwände nach Präparation bis zur ISO-Größe 35	
ABB. 30 Gesamtauswertung der Scores für die Benetzung der Kanalwände nach Präparation bis zur ISO-Größe 45	32
ABB. 31 Beispielbild von einem Resultat der Methode CanalBrush, Präparation 35, Kanalhälften	33
ABB. 32 2. Beispielbild von einem Resultat der Methode CanalBrush, Präparation 35, Kanalhälften	33
ABB. 33 Beispielbild von einem Resultat der Methode CanalBrush, Präparation 45, Kanalhälften	33
ABB. 34 2. Beispielbild von einem Resultat der Methode CanalBrush, Präparation 45, Kanalhälften	33
ABB. 35 Beispielbild von einem Resultat der Methode Lentulo, Präparation 35, Kanalhälften	34
ABB. 36 2. Beispielbild von einem Resultat der Methode Lentulo, Präparation 35, Kanalhälften	34
ABB. 37 Beispielbild von einem Resultat der Methode Lentulo, Präparation 45, Kanalhälften	34
ABB. 38 2. Beispielbild von einem Resultat der Methode Lentulo, Präparation 45, Kanalhälften	34
ABB. 39 Beispielbild von einem Resultat der Methode Ultraschall, Präparation 35, Kanalhälften	35
ABB. 40 2. Beispielbild von einem Resultat der Methode Ultraschall, Präparation 35, Kanalhälften	35
ABB. 41 Beispielbild von einem Resultat der Methode Ultraschall, Präparation 45, Kanalhälften	35
ABB. 42 2. Beispielbild von einem Resultat der Methode Ultraschall, Präparation 45, Kanalhälften	35
ABB. 43 Auswertung der Scores in den Gruben nach Präparation der Wurzelkanäle bis zur ISO-Größe 35	37
ABB. 44 Auswertung der Scores in den Gruben nach Präparation der Wurzelkanäle bis zur ISO-Größe 45	38
ABB. 45 Beispielbild von einem Resultat der Methode CanalBrush, Präparation 35, Gruben	39
ABB. 46 2. Beispielbild von einem Resultat der Methode CanalBrush,	39

Präparation 35, Gruben	
ABB. 47 Beispielfeld von einem Resultat der Methode CanalBrush,	39
Präparation 45, Gruben	
ABB. 48 2. Beispielfeld von einem Resultat der Methode CanalBrush,	39
Präparation 45, Gruben	
ABB. 49 Beispielfeld von einem Resultat der Methode Lentulo,	39
Präparation 35, Gruben	
ABB. 50 2. Beispielfeld von einem Resultat der Methode Lentulo,	39
Präparation 35, Gruben	
ABB. 51 Beispielfeld von einem Resultat der Methode Lentulo,	40
Präparation 45, Gruben	
ABB. 52 2. Beispielfeld von einem Resultat der Methode Lentulo,	40
Präparation 45, Gruben	
ABB. 53 Beispielfeld von einem Resultat der Methode Ultraschall,	40
Präparation 35	
ABB. 54 2. Beispielfeld von einem Resultat der Methode Ultraschall,	40
Präparation 35	
ABB. 55 Beispielfeld von einem Resultat der Methode Ultraschall,	40
Präparation 45	
ABB. 56 2. Beispielfeld von einem Resultat der Methode Ultraschall,	40
Präparation 45	
ABB. 57 verdrehte CanalBrush (Größe M)	42
ABB. 58 verdrehte CanalBrush (vergrößerte Aufnahme).....	42
ABB. 59 Probe mit verdrehter CanalBrush in der Grube	42
ABB. 60 Probe mit verdrehter CanalBrush im apikalen Kanaldrittel	42

TABELLENVERZEICHNIS

TAB. 1	Interindividuelle Übereinstimmung	29
TAB. 2	Intraindividuelle Reproduzierbarkeit Untersucher 1	29
TAB. 3	Intraindividuelle Reproduzierbarkeit Untersucher 2	29
TAB. 4	p-Werte für den Vergleich der unterschiedlichen	31
	Applikationstechniken nach Präparation bis zur ISO-Größe 35	
TAB. 5	p-Werte für den Vergleich der unterschiedlichen	32
	Applikationstechniken nach Präparation bis zur ISO-Größe 45	
TAB. 6	p- Werte bei Betrachtung der Gruben nach Präparation	37
	der Wurzelkanäle bis zur ISO-Größe 35	
TAB. 7	p- Werte bei Betrachtung der Gruben nach Präparation	38
	der Wurzelkanäle bis zur ISO-Größe 45	
TAB. 8	p-Werte bei Betrachtung der ISO-Größen 35 und 45	41

Verwendete Abkürzungen

Abb.	= Abbildung
bzw.	= beziehungsweise
d.h.	= das heißt
et al.	= et alii
ggf.	= gegebenenfalls
Hz	= Hertz, Einheit für Frequenz
ISO	= International Organisation for Standardization
L	= large
M	= medium
mm	= Millimeter
ml	= Milliliter
NaOCl	= Natriumhypochlorid
S	= small
Tab.	= Tabelle
Umin ⁻¹	= Umdrehungen pro Minute
v.Chr	= vor Christus
µg	= Mikrogramm
µl	= Mikroliter
°C	= Grad Celsius
%	= Prozent

1. EINLEITUNG

Der französische Chirurg Ambroise Paré (1510 bis 1590) schrieb: „Der Zahnschmerz ist der heftigste und grausamste aller Schmerzen, die nicht zum Tode führen“ (TOELLNER 1990, S. 1987). Seit Jahrtausenden suchte die Menschheit deshalb nach Wegen, diese Schmerzen und mit wachsender Kenntnis über deren Ursachen diese zu bekämpfen.

Bei Ausgrabungen in der Negev-Wüste fand man in einem Massengrab einen Schädel aus der Zeit 200 v. Chr. mit einem auffällig grünlich verfärbten Zahn. Erst auf Grund dieser Verfärbung wurde man auf diesen Zahn aufmerksam und fertigte ein Röntgenbild an (INGLE et al. 2002, ZIAS und NUMEROFF 1987, Abb. 1). Es handelte sich um den rechten oberen seitlichen Schneidezahn, in dessen Wurzelkanal ein 2,5 mm langer Bronzedraht steckte. Trotz primitivster Vorstellungen zur Pathogenese kann dieser Fund als Ansatz zu einer der ersten Wurzelkanalfüllungen in der Geschichte gewertet werden (MICHEL 1993, ZIAS und NUMEROFF 1987).

ZIAS und NUMEROFF (1987) berichteten, dass diese Therapie wahrscheinlich eher von einem erfahrenen Zahnarzt durchgeführt wurde. Vermutlich sollte der im Wurzelkanal belassene Draht den „Zahnwurm“ töten und weiteren den Zugang zum Wurzelkanal versperren (MICHEL 1993). Mehr als 3500 Jahre glaubten die Menschen, dass ein Wurm im Zahn für dessen kariöse Zerstörung und die darauffolgenden Zahnschmerzen verantwortlich ist (Abb. 2). Erstmals wurde der „Zahnwurm“ um 1800 v. Chr. in der mesopotamischen Heilkunde erwähnt und beschrieben. Dort ist die Entstehung des „Quälgeistes“ überliefert: „Als Anu (oberster babylonischer Gott) den Himmel erschaffen, der Himmel die Erde erschaffen, [...] der Sumpf den Wurm erschaffen, da ging der Wurm weinend zu Schamasch (dem Sonnengott) [...] Hebe mich auf und lass mich zwischen Zähnen und Zahnfleisch wohnen! Der Zähne Blut will ich trinken, des Zahnfleisches Wurzeln will ich fressen!“ (SCHOTT 1993, S. 32). Zur Bekämpfung des „Zahnwurms“ werden Beschwörungsformeln („Wie du dieses sagtest, Wurm, möge dich Ea (Gott der Weisheit und Magie) schlagen mit seiner starken Hand.“) und Räucherungen (mit Bilsenkraut) angewendet (SCHOTT 1993, S. 32). Räucherungen gegen den „Zahnwurm“ werden auch noch im Mittelalter z.B. von Hildegard von Bingen durchgeführt.

Es gibt jedoch keine Veröffentlichung in der Geschichte der Zahnmedizin über eine erstmalige Wurzelkanalfüllung, die auch als solche bewertet wurde. MICHEL (1993) berichtet, dass Edward Hudson (1772-1833) wohl eine der ersten Wurzelfüllungen anfertigte. Es geht aus Edward Hudsons handschriftlichen Aufzeichnungen hervor, dass er seinen Patienten das aufwändige Füllen von Wurzelkanälen mit Gold in Rechnung stellte. Zur Wurzelkanalfüllung kamen in der Vergangenheit außer Gold noch verschiedenste andere Materialien zur Anwendung: Zinnfolie, Blei, Paraffin, Wachs, Harze, Zelluloid, Guttapercha, Baumwolle, Jodoform, Sublimat, Zedernholz, Bambusrohr, Hickoryholz, Catgut, Jodoformknorpel, Kohlenwatte, Pech und Zunder (MICHEL 1993).

Abb. 1: ZIAS und NUMEROFF (1987) Röntgenbild der ältesten Wurzelkanalfüllung (200 v.Chr.). Es zeigt einen oberen Schneidezahn mit einem Bronzedraht im Wurzelkanal (Prof. J. Zias, mit freundlicher Genehmigung)

Abb. 2: Nachbildung einer Elfenbeinschnitzerei aus Südfrankreich, 17. Jahrhundert: Der „Zahnwurm“ als Quälgeist aus der Hölle (Dentalhistorisches Museum Zschadraß, mit freundlicher Genehmigung des Direktors A. Haesler)

Mit Weiterentwicklung von Technik und Forschung wurden neue Verfahrensweisen und Materialien eingeführt. Feste und pastenförmige Materialien in Kombination zeigen nach aktuellem Stand der Wissenschaft die besten Ergebnisse. Nicht nur die Materialien, sondern auch deren Anwendung werden ständig verbessert.

Dabei ist immer noch der apikale Bereich des Wurzelkanals der kritischste Punkt (BARTHEL et al. 1994, DALAT und SPÅNGBERG 1994). Das Ziel jeder Wurzelfüllung ist besonders diesen Bereich bakteriendicht zu verschließen, denn sonst ist die Ausheilung einer periapikalen Läsion nicht gewährleistet und die Behandlung führt zu einem Misserfolg. Undichtigkeiten in diesem Kanalabschnitt kommen häufig durch eine unzureichende Verteilung der pastenförmigen Materialien (Sealer) zustande. Die vorliegende Studie befasst sich mit verschiedenen Techniken zur Verteilung von Wurzelkanalsealern, um eine optimale Benetzung der Kanalwand und vor allem des schwierigen apikalen Bereichs zu erzielen.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1 Ziele der Füllung des Wurzelkanalsystems

Jede endodontische Behandlung besteht aus den wichtigen Teilschritten Reinigung, Formgebung, Desinfektion und dreidimensionale Obturation des Wurzelkanalsystems. Es müssen vitales und auch nekrotisches Gewebe entfernt werden, um die Elimination von Mikroorganismen sicherzustellen. SCHÄFER und LOHMANN (2002) empfehlen dafür die chemo-mechanische Aufbereitung des Wurzelkanalsystems unter Verwendung antimikrobiell wirksamer Spüllösungen und ggf. im Wurzelkanal wirksamer Medikamente.

Den Abschluss einer Wurzelkanalbehandlung stellt die Füllung des Wurzelkanals dar. PICHLER (1930, S. 279) legte mehr Wert auf die ersten Schritte der Wurzelkanalbehandlung: „Wichtiger als das, was man in den Wurzelkanal hinein füllt, ist, was man aus ihm herausholt.“ Würde man das Kanalsystem aber ohne Wurzelfüllung belassen, so würde nach BYSTRÖM et al. (1985) ein leerer Wurzelkanal bald wieder durch Flüssigkeiten wie Speichel, Dentinliquor oder Bakterien gefüllt werden und die Infektion von Neuem aufflammen. Die vorangegangenen Schritte der Wurzelkanalbehandlung wären vergebens gewesen und es könnte nicht zu einer Ausheilung kommen. Die Aufgabe der Wurzelkanalfüllung ist es also, den Wurzelkanal von der Pulpakammer bis zum Apex dicht zu verschließen (DGZMK/DGZ 2005). Dabei ist die Dichtigkeit der Wurzelfüllung eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung. Dazu liegt auch eine klar definierte Formulierung der EUROPÄISCHEN GESELLSCHAFT FÜR ENDODONTIE (ESE 2004, S. 278) vor: „Ziel einer jeden Fülltechnik sollte eine biokompatible, hermetisch dichte Wurzelkanalfüllung sein, die das aufbereitete Kanallumen von der Pulpakammer bis zum apikalen Endpunkt verschließt.“ Auch in der Washington-Studie (INGLE et al. 1994) wird der Wurzelfüllung eine große Bedeutung beigemessen. Hier konnten drei Viertel aller Misserfolge entweder mit einer unvollständigen Wurzelkanalfüllung, ungefüllten Wurzelkanälen oder einer Überfüllung begründet werden.

2.2 Anatomie des Wurzelkanalsystems

Für die erfolgreiche Durchführung einer Wurzelkanalbehandlung ist die genaue Kenntnis über die Anatomie des Wurzelkanalsystems eine wichtige Grundlage (HELLWIG et al. 2007). Die Vorstellung, der Wurzelkanal sei ein geradliniges Rohr (Abb. 3) mit einer glatten gleichmäßigen Wand, muss dabei abgelegt werden. Es handelt sich nicht nur um einen isolierten Wurzelkanal, sondern um ein höchst komplexes, dreidimensionales Kanalgeflecht, das untereinander mit zahlreichen Haupt- und Nebenkanälen kommuniziert (HESS 1917, MEYER 1970, VERTUCCI et al. 1974, Abb. 4). Mit Hilfe von Silikonmodellen der Wurzelkanalsysteme von 217 Zähnen zeigten DAVIS et al. (1972) Unebenheiten, Seitenkanäle und sogar Querverbindungen zwischen den Kanälen. KASAHARA et al. (1990) machten Seitenkanäle mit schwarzer Tusche sichtbar. Besonders in ovalen Wurzelkanälen gibt es Bereiche, die nicht instrumentiert werden können, ohne den Zahn zu schwächen (EL AYOUTI et al. 2008, WU et al. 2000c). Auch PAQUÉ et al. (2010) demonstrierten, dass in einem Wurzelkanal mit ovalem Querschnitt bis zu 79,9% des Dentins unbearbeitet blieben, im apikalen Bereich waren es bis zu 74,7%. So scheint eine vollständige Eliminierung von Bakterien einzig mit mechanischer Reinigung unmöglich. Es müssen aufgrund dessen eine chemische Reinigung und anschließend eine bakteriendichte Füllung des Wurzelkanalsystems erfolgen. Nach PETERS et al. (1995) werden durch die Wurzelkanalfüllung die Räume zur Vermehrung von Bakterien und darüber hinaus Seitenkanäle, die einen Zugang zum Desmodont darstellen, abgedichtet. Dies verlangt auch die ESE. Sie beschreibt in ihren Richtlinien noch zwei detailliertere Ziele der Wurzelkanalfüllung: „die Passage von Mikroorganismen und Flüssigkeiten entlang des Wurzelkanals auszuschließen und das gesamte Kanalsystem auszufüllen, nicht nur um die Austrittspforte zum Periapex zu verblocken, sondern auch Dentinkanälchen und akzessorische Kanäle“ (ESE 2004, S. 278).

Abb. 3:
Röntgenbild einer Wurzelfüllung
eines Prämolaren
(Zustimmung liegt vor)

Abb. 4:
nach den Untersuchungen von
MEYER (1970) in Kunststoff
rekonstruiertes Modell der Wurzel-
kanalanatomie eines Prämolaren
(Sammlung Prof. M. Hülsmann,
mit freundlicher Genehmigung)

2.3 Aufgaben des Sealers

Zur Füllung des vorbereiteten Kanals stehen verschiedene Materialien zur Verfügung. Das weltweit anerkannteste und am häufigsten benutzte Wurzelfüllmaterial ist Guttapercha (SCHÄFER 2000), ein Naturprodukt auf Kautschukbasis, welches durch Bowman im Jahr 1867 eingeführt wurde und heute immer noch als Material der Wahl für Wurzelkanalfüllstifte gilt. Trotz der Entwicklung verschiedener Verarbeitungstechniken (warme Kondensation, kalte Kondensation, Einzelstifttechnik etc.) ist Guttapercha allein nicht in der Lage, den Wurzelkanal auf Dauer dicht zu verschließen (SKINNER und HIMEL 1987, TAGGER et al. 1994). So bilden Guttaperchastifte nur das Kernmaterial. Als zweite notwendige Komponente der Wurzelfüllung werden Wurzelkanalfüllpasten, auch bekannt als Wurzelkanalzement oder Sealer, benutzt. Der Begriff Sealer kommt aus dem Englischen und bedeutet Versiegler oder Versiegelungsmittel. Dies beschreibt auch schon seine Funktion: Ein Sealer soll, in geringer Menge eingebracht, das

Wurzelkanalsystem mit seinen lateralen und akzessorischen Kanälen und offen liegenden Dentintubuli „versiegeln“ und Unregelmäßigkeiten zwischen der Kanalwand und den Guttaperchastiften ausgleichen. Der Begriff Wurzelkanalzement ist demzufolge irreführend, da die Guttaperchastifte keineswegs mit Hilfe des Sealers im Kanal zementiert oder befestigt werden. Durch den Sealer wird keine Friktion der Guttapercha mit der Kanalwand erzeugt. Und auch der Begriff Wurzelfüllpaste ist nicht ganz korrekt, denn seine Pastenform besitzt der Sealer nur zum Zeitpunkt der Applikation. Je nach Art härtet er innerhalb weniger Minuten bis 24 Stunden aus. Nicht erhärtende Pasten werden nicht zur Wurzelfüllung empfohlen (DGZMK/DGZ 2000, ØRSTAVIK 1983, WESSELINK 1995). Trotz der geringen Menge an Sealer, die in den Kanal eingebracht wird, zeigen mehrere Studien, dass mit der Anwendung von Sealer mehr Unebenheiten ausgefüllt werden können als ohne (EL DEEB 1985, HATA et al. 1992, MICHANOWICZ und CZONSTKOWSKY 1984, SKINNER und HIMEL 1987, WU et al. 2000a). Nach den Richtlinien der DGZMK (1999) und Empfehlungen aus Lehrbüchern (HÜLSMANN 1991, WESSELINK 1995, WHITWORTH 2005) ist der Sealer allein ohne Guttapercha aber nicht in der Lage, eine dauerhaft dichte Wurzelfüllung zu erzeugen. Es kommt zur Schrumpfung und infolge dessen zu Wandundichtigkeiten (DGZMK/DGZ 2005, DE GEE et al. 1994, WU et al. 1994). Da diese Komponente der Wurzelfüllung trotz ihrer geringen Menge eine so große Bedeutung für den Erfolg der Wurzelfüllung hat, werden einige Anforderungen an sie gestellt.

Nach GROSSMANN (1988) sollten nach Möglichkeit die folgenden Anforderungen erfüllt werden:

- gute Gewebetoleranz/ Biokompatibilität
- keine Schrumpfung beim Abbinden, Volumenbeständigkeit, Porenfreiheit
- angemessene Abbindezeit/Verarbeitungszeit, langsam erhärtend
- Haftung an der Kanalwand
- Radioopazität
- keine Zahnverfärbungen
- durch Lösungsmittel anlösbar (leicht entfernbar)
- unlöslich für Gewebeflüssigkeiten
- bakteriostatisch
- Schaffung einer apikalen, lateralen und koronalen Versiegelung
- dauerhafte Erhärtung.

Jedoch kann keines der derzeit vorhandenen Präparate alle diese Anforderungen erfüllen. Da gerade der Sealer die Komponente der Wurzelfüllung ist, welche lange Zeit in direktem Kontakt mit dem umgebenden apikalen Gewebe steht (ØRSTAVIK et al. 2005), wird der Biokompatibilität eine große Bedeutung zugeschrieben. Ein Sealer kann bei Kontakt mit periapikalem Gewebe eine entzündliche Veränderung auslösen, welche folglich zur Verzögerung der periapikalen Heilung beiträgt (DA SILVA et al. 2008). Alle Materialien sind frisch angemischt und nach dem Einbringen mehr oder weniger gewebetoxisch (SPÅNGBERG und LANGE LAND 1973). Nach der Erhärtung der Präparate nimmt diese Wirkung jedoch drastisch ab und ist bei den meisten nach kurzer Zeit nicht mehr nachzuweisen (LANGE LAND 1974, SPÅNGBERG et al. 1993). In der modernen Endodontie sollte der Sealer keine therapeutische Wirkung mehr besitzen. Früher glaubte man, die Abheilung von entzündlichen Prozessen an der Wurzelspitze durch medikamentöse Zugaben (Antibiotika, Kortison, Paraformaldehyd) unterstützen zu können. Dass dies nicht mehr dem „state of the art“ entspricht, wird im Abschnitt „Sealer mit medikamentösen Zusätzen“ erläutert. Ersatzweise stehen heute viele verschiedene Präparate auf Basis von Zinkoxid-Eugenol, Kunstharz, Glasionomerkement, Kalziumsalicylat oder Silikon zur Verfügung.

2.4 Klassifikation der Sealer

2.4.1 Guttapercha-Sealer

Vor über 100 Jahren wurde diese Form der Wurzelfüllung bereits in der Literatur beschrieben (BLACK 1914, GULDENER und LANGE LAND 1982). Die Methode besteht darin, Guttapercha in Chloroform zu lösen und mit dem entstandenen Chloropercha (auch Kloroperka N-O (N-O Therapeutics, Oslo, Norwegen)) dann eine Wurzelkanalfüllung durchzuführen. Später benutzte man auch andere organische Lösungsmittel wie Eukalyptusöl (Eucapercha) oder Dimethylbenzol (Xylol). Diese Methoden der Wurzelkanalfüllung sind als historisch zu betrachten und werden auch von der DGZMK (1999) ausdrücklich abgelehnt. Dies hat mehrere Gründe: zum einen wirken besonders Xylol, Chloroform und geringfügig auch Eukalyptusöl zytotoxisch (MORSE et al. 1984, ØRSTAVIK und MJÖR 1988) und nach BRODIN et al. (1982) neurotoxisch. Chloroform und Xylol sind außerdem in den Verdacht

geraten, kanzerogen zu wirken (U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 1985). Zum anderen kommt es nach dem Verdampfen des Lösungsmittels und der daraus resultierenden Erhärtung zu einer großen Schrumpfung von bis zu 13 Prozent (GULDENER und LANGE LAND 1982, WONG et al. 1982). Dies wirkt sich negativ auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung aus. In einer Studie von O'NEIL et al. (1983) zeigte die Technik der Wurzelfüllung mit Guttapercha, die vorher mit Chloroform angelöst wurde, die schlechteste Abdichtung. Zusammenfassend betrachtet kann diese Technik nicht mehr empfohlen werden.

2.4.2 Sealer mit medikamentösen Zusätzen

Zemente mit medikamentösen Zusätzen enthalten vor allem Paraformaldehyd (z.B. in N2, Hager & Werken, Duisburg, Deutschland) und Kortikoid (z.B. in Endomethasone, Pharma-Dental, Bonn, Deutschland). Formaldehyd ist mutagen sowie kanzerogen, führt nachweislich zur Nekrose von vitalem Gewebe und zu periapikalen Schäden und wird in Lymphknoten, Leber und Niere gespeichert (BLOCK et al. 1983, LEWIS und CHESTNER 1981). Es wirkt auch bei sachgerechter Anwendung und vor allem bei Überfüllung des Wurzelkanals neurotoxisch (BRODIN et al. 1982, GROSSMAN und TATOIAN 1978). Aufgrund dessen wird die Anwendung Formaldehyd freisetzender Wurzelkanalzemente unter anderem von der AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS (AAE 1998), der EUROPEAN SOCIETY OF ENDODONTOLOGY (ESE 1994) und der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERHEILKUNDE bzw. der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR ZAHNERHALTUNG (DGZMK 1997, DGZMK/DGZ, 2000) strikt abgelehnt. Kortikoide unterdrücken die Immunabwehr, Mikroorganismen können sich weiterhin vermehren und die Entzündung kann chronifizieren. Diese Präparate spielen heute deshalb keine Rolle mehr (TEPEL et al. 1994, DGZMK/DGZ 2000).

2.4.3 Zinkoxid-Eugenol-Sealer

Wurzelkanalzemente auf Zinkoxid-Eugenolbasis sind seit langer Zeit in Gebrauch und zum Beispiel unter den Namen Hermetic (Lege Artis, Dettenhausen, Deutschland), TubliSeal (Kerr, Karlsruhe, Deutschland) oder Aptal-Harz (Speiko,

Münster, Deutschland) bekannt. Die Kombination mit einem Kernmaterial ist nachgewiesen klinisch dauerhaft erfolgreich (ØRSTAVIK 1987). Nach dem Anmischen der zwei Komponenten, meist Pulver und Flüssigkeit, entsteht jedoch Zinkeugenolat. Aus diesem Komplex kann durch Gewebeflüssigkeit Eugenol austreten. Diese Löslichkeit ist als Nachteil anzusehen. Des Weiteren kommt hinzu, dass auch bei bester Anmischtechnik immer freies Eugenol vorliegt, welches nicht nur eine antibakterielle, sondern auch eine zytotoxische (GEROSA et al. 1996, GEURTSSEN 2001, HOOVER et al. 1980) und allergisierende Wirkung hat (GRADE 1995, KOCH und HÜLSMANN 1993). Aus diesem Grund sollten ZOE-Sealer nur in Kombination mit einem Kernmaterial in Form von Guttapercha verwendet werden. Bei einer Überfüllung dieses Wurzelzementes in die Kieferhöhle kann eine Kieferhöhlenaspergillose (GEURTSSEN 2001, KOCH und HÜLSMANN, 1993) und bei Kontakt mit dem Nervus mandibularis können Sensibilitätsstörungen (Par- oder Anästhesien) hervorgerufen werden (BRODIN et al. 1982).

2.4.4 Polyketon-Sealer

In dieser Gruppe gibt es nur einen einzigen Vertreter, die Wurzelfüllpaste Diaket (Espe, Seefeld, Deutschland), welche 1951 erstmals beschrieben wurde (BUSSER 1951). Die Mischung aus Vinylpolymerisaten härtet zu wasserunlöslichen zyklischen Komplexen aus (VON FRAUENHOFER und BRANSTETTER 1982). Diaket ist mit den Zinkoxid-Eugenolzementen verwandt, da der Pulveranteil aus Zinkoxid besteht. Hier wurde aber Eugenol durch Beta-Diketon ersetzt. Das Abdichtungsverhalten, die Volumenbeständigkeit und die Biokompatibilität sind nach ØRSTAVIK et al. (1987) und ØRSTAVIK und MJÖR (1988) als gut zu bewerten. Diaket ist in Pastenform sowie in ausgehärteter Form weder kanzerogen noch mutagen (SCHWEIKL und SCHMALZ 1991). Jedoch zeigte Diaket in verschiedenen Studien eine Zytotoxizität (BRISENO und WILLERSHAUSEN 1991, FEIGLIN 1987, MATSUMOTO et al. 1989) und Neurotoxizität (BRODIN et al. 1982). Die irritierende Wirkung auf das periapikale Gewebe ist allerdings nach MATSUMOTO et al. (1989) gering und lässt nach wenigen Wochen vollständig nach.

Diaket bindet nach sieben Minuten ab (WESSELINK 1995) und ist somit für zeitaufwändige Wurzelfülltechniken wie die laterale Kondensation nicht geeignet.

Auch die Entfernung der abgebundenen Wurzelfüllpaste aus dem Wurzelkanal ist aufgrund der Beimischung von Kunststoff in die Flüssigkeitskomponente schwierig.

2.4.5 Kalziumhydroxid-Sealer

Beim Einsatz von Kalziumhydroxid-Sealern (z.B. Sealapex (Kerr, Karlsruhe, Deutschland), CRCS (Coltene/Whaledent, Langenau, Deutschland) oder Apexit (Vivadent, Ellwangen, Deutschland)) wird die alkalisierende Wirkung der OH^- -Ionen und die Hartschmelze induzierende Wirkung der Ca^{2+} -Ionen ausgenutzt. Die stetige Ionenabgabe führt allerdings zu einer Auflösung des Wurzelfüllmaterials und dem Übergang von Partikeln in das Gewebe, was in Studien mit Sealapex und CRCS gezeigt werden konnte (SCHÄFER und ZANDBIGLARI 2003, SOARES et al. 1990, TAGGER et al. 1988). Sealapex zeigt schon nach 28 Tagen im Vergleich mit anderen Sealern die größte Auflösung in Wasser und künstlichem Speichel (SCHÄFER und ZANDBIGLARI 2003). ALMEIDA et al. (2007) wiesen Sealapex zwar ein ähnliches Abdichtungsvermögen im Vergleich mit dem Epoxidharz-Sealer AH Plus nach, jedoch erfolgte die Auswertung direkt im Anschluss und nicht nach längerer Lagerung. WU et al. (1995) konnten hingegen schon in einer früheren Studie belegen, dass sich die apikale Abdichtung durch Sealapex nach einjähriger Lagerung der wurzelkanalgefüllten Zähne verschlechtert. Eine hohe Wasseraufnahme und eine starke Expansion sind weitere Nachteile (WRBAS et al. 1998) und auch die Gewebeverträglichkeit von Sealapex wird kritisch gesehen. Geringe Zytotoxizität wird von TAKAHARA et al. (1990) und von YESILSOY et al. (1988) beschrieben. In anderen Studien zeigte der Kontakt mit Fibroblasten eine Beeinträchtigung des Zellwachstums und sogar eine zytotoxische Wirkung (BELTES et al. 1995, GERCKENS et al. 1992). Der dritte Vertreter der Gruppe, Apexit, schnitt allerdings diesbezüglich in einigen Studien deutlich besser ab. Apexit besitzt im Vergleich mit Sealapex ein gutes Abdichtungsverhalten (LIMKANGWALMONGKOL et al. 1992, MILETIĆ et al. 1999), zeigte eine geringe Wasseraufnahme (WRBAS et al. 1998) und ist relativ biokompatibel (BADOLE et al. 2013). In einer weiterführenden Studie zeigte auch Apexit eine allmähliche und größere Auflösung im Vergleich zu AH Plus, AH 26, Ketac-Endo und Diaket (MILETIĆ et al. 2002).

2.4.6 Glasionomer-Sealer

Über die Verwendung der Glasionomerzemente (KetacEndo (Espe, Seefeld, Deutschland), Endion (Voco, Cuxhaven, Deutschland)) gibt es nur wenige Studien. Sie sind biokompatibel und RAY und SELTZER (1991) schreiben ihnen ein hohes Abdichtungsvermögen und eine gute Dentinhaftung zu. Jedoch zeigen andere Studien eine hohe Wasseraufnahme (WRBAS et al. 1998) und ein schlechteres Abdichtungsvermögen im Vergleich mit dem Epoxidharzsealer AH 26 (DE GEE et al. 1994). Dieses lässt sich auf die kürzere Abbindezeit und höhere Abbindeschrumpfung zurückführen. Die kurze Abbindezeit stellt ein Problem bei der Wurzelfüllung nach der recht langwierigen lateralen Kondensationstechnik dar. Und auch die Entfernung von Glasionomerzement-Sealern im Falle einer Revisionsbehandlung gestaltet sich schwierig.

2.4.7 Epoxidharz-Sealer

Die Vertreter dieser Gruppe sind das von Schroeder Anfang der 50er Jahre entwickelte AH 26 (DeTrey Dentsply, Konstanz, Deutschland), bestehend aus Pulver und Flüssigkeit, und das verbesserte, aus 2 Pasten bestehende Nachfolgepräparat AH Plus (DeTrey Dentsply, Konstanz, Deutschland). AH 26 war das erste Produkt auf Epoxidharzbasis und konnte sich in einer prospektiven Studie gegen andere Präparate durchsetzen (ØRSTAVIK et al. 1987). Es besitzt eine gute Fließfähigkeit im Vergleich mit 10 anderen Wurzelfüllpasten (WEISMANN 1970) und zeigt daraus resultierend die tiefste Penetration in offen liegende Dentintubuli (MAMOOTIL und MESSER 2007). Auch eine gute Dentinhaftung sowie ein hohes Abdichtungsvermögen konnten nachgewiesen werden (GETTLEMAN et al. 1991, LIMKANGWALMONGKOL et al. 1991, PETSCHT und OBERSCHACHTSIEK 1985, SCHROEDER 1954, WENNEBERG und ØRSTAVIK 1990). Die besten Ergebnisse können mit lateraler Kondensation und bei Raumtemperatur erreicht werden (BARTHEL et al. 1994). Desweiteren ist die Abbindezeit recht lang, sodass bei Bedarf innerhalb von 24 Stunden die Wurzelfüllung wieder entfernt werden kann. Im abgebundenen Zustand ist AH 26 biokompatibel und führt zu keiner entzündlichen Reaktion im Gewebe (SCHMALZ 1987). Allerdings wird kurz nach dem Anmischen durch den Bestandteil Hexamethylentetramin eine geringe Menge Formaldehyd frei.

Dieses Spaltprodukt kann zwar nach dem Abbinden nicht mehr nachgewiesen werden (SPÄNGBERG et al. 1993), kann aber vorher allergen (HENSTEN-PETTERSEN et al. 1985) und zytotoxisch wirken (BADOLE et al. 2013). Aufgrund dessen und der zusätzlichen gewebeirritierenden Wirkung des Silberzusatzes von AH 26 wurde das verbesserte Nachfolgeprodukt AH Plus ohne die beiden oben genannten Zusätze eingeführt.

Zusammensetzung von AH Plus

Paste A

Bisphenol A-diglycidäther

Bisphenol F-diglycidäther

Calciumtungstat

Zirkoniumoxid

Pigmente

Paste B

N,N'-dibenzyl-5oxanondiamin-1,9 (OPC-91)

1-adamantanamin

TCD-diamin

Zirkoniumoxid

Aerosil

Silikonöl

Laut einer Stellungnahme der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR ZAHN-, MUND-, UND KIEFERHEILKUNDE und der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR ZAHNERHALTUNG (DGZMK/DGZ 2000) sind Epoxidharz-Sealer als empfehlenswert einzustufen. Speziell AH Plus, welches ebenso wie AH 26 eine gute Fließfähigkeit im Vergleich mit anderen Sealern (BERNARDES et al. 2010) besitzt, ist weder mutagen noch genotoxisch (LEYHAUSEN et al. 1999). Es zeigt im Gegensatz zu anderen Sealern die geringste Löslichkeit (SCHÄFER UND ZANDBIGLARI 2003).

2.4.8 Polydimethylsiloxan-Sealer

Eine neuere Entwicklung stellt das additionsvernetzte Silikon RoekoSeal Automix (Roeko, Langenau, Deutschland) dar. Die zwei Komponenten werden in einem automatischen Anmischsystem zusammengebracht, sodass immer ein korrektes Anmischverhältnis vorliegt. Es liegen nur wenige Studien vor, jedoch konnte eine gute Gewebeverträglichkeit (MILETIC et al. 2005) nachgewiesen werden. In dieser Studie wirkte RoekoSeal in keiner Phase des Versuches zytotoxisch. Weiterhin

wurden eine geringe Abbindeexpansion sowie eine Versiegelungsfähigkeit nachgewiesen, welche durchaus mit der Dichtigkeit von AH 26 verglichen werden kann (EBERT et al. 1997, EBERT und PETSCHT 1999, ÖZOK et al. 2008).

2.5 Applikation des Sealers

Da sich der Sealer nach dem Anmischen in einem pastenähnlichen Zustand befindet, lässt er sich mit verschiedenen Instrumenten und Trägern gut aufnehmen und in den Wurzelkanal einbringen.

Zur Verteilung von Sealer im Wurzelkanal werden in der Literatur unterschiedliche Methoden beschrieben. Häufig ist die Verteilung mit Hilfe von Lentulos und ultraschall- bzw. schallaktivierten Feilen, K-Feilen, Reamern, Guttaperchastiften, Papierspitzen und Kanülen zu beobachten. Schon 1991 verglichen WIEMANN und WILCOX vier verschiedene Methoden miteinander (Lentulo, K-Feile, Guttaperchastifte, aktivierte Ultraschallspitze). Dabei zeichnete sich keine der Methoden signifikant vor der anderen aus. Geringe Unterschiede gab es allerdings im apikalen Drittel des Wurzelkanals, dem am schwierigsten erreichbaren Abschnitt. Hier wurden mit Guttaperchastift und Lentulo etwas bessere Ergebnisse erzielt als mit K-Feile und Ultraschall. Auch HALL et al. (1996) favorisierten den Lentulo vor zwei anderen nicht rotierenden Methoden (K-Feile, Guttaperchastift). Sie erzielten damit 90 Prozent Kanalwandbenetzung. In einer Versuchsreihe mit sechs unterschiedlichen Methoden (KAHN et al. 1997) erzielte ebenfalls der Lentulo zusammen mit dem Max-i-Probe Delivery System die besten Ergebnisse, gefolgt von ultraschall- und schallaktivierten Feilen. Papierspitzen und K-Feilen erreichten die schlechtesten Ergebnisse. Es zeichnet sich also ab, dass der Lentulo beständig gute Ergebnisse in der Verteilung von Sealer im Wurzelkanal erzielt. Er wird daher oft als Standard bzw. positive Kontrollgruppe genutzt (HOEN et al. 1988, WEST et al. 1989, WU et al. 2000b). Und auch die ultraschallaktivierte Feile kann sich meist gegen andere Methoden durchsetzen und erreicht ähnliche oder auch bessere Ergebnisse als der Lentulo. HOEN et al. (1988) setzten erstmals ultraschallaktivierte Feilen zur Verteilung von Sealer im Wurzelkanal ein. Beim Vergleich mit einer manuellen Technik (Einbringen des Sealers mit einem Reamer) fanden sie signifikante Unterschiede. Durch Ultraschall konnte eine signifikant bessere Benetzung der Kanalwände erzielt werden. Ähnliche Ergebnisse fanden auch AGUIRRE et al.

(1997), GUIMARÃES et al. (2014), STAMOS et al. (1995) und WEST et al. (1989). Daraus lässt sich schließen, dass Lentulo und Ultraschall anderen Methoden der Sealerverteilung im Wurzelkanal bis jetzt überlegen sind.

Ziel ist es, bei jeder Methode, den Sealer gleichmäßig im Wurzelkanal bzw. an der Kanalwand zu verteilen. Dabei ist es von Bedeutung, dass möglichst auch Unebenheiten, laterale Extensionen und Seitenkanäle gefüllt werden. Diese Bereiche stellen für die Wurzelkanalfüllung eine Herausforderung dar. Um diese schwer erreichbaren Stellen für Versuche nachzubilden, wurden in mehreren Studien künstliche Gruben in die Kanalwände gefräst (CAPAR et al. 2014, LEE et al. 2004, RÖDIG et al. 2010b, 2010c, VAN DER SLUIS et al. 2007b, WEISE et al. 2007). In den genannten Untersuchungen wurden jeweils aus diesen Gruben entweder medikamentöse Einlagen, Smear Layer oder Debris mit Hilfe verschiedener Spüllösungen und Methoden entfernt. WEISE et al. (2007) nutzten unter anderem ein Polypropylen-Bürstchen (=CanalBrush, Coltene Whaledent, Langenau, Deutschland) zur Reinigung simulierter lateraler Ausbuchtungen und Unregelmäßigkeiten im apikalen Bereich gekrümmter Kanäle. Sie erzielten mit dieser Methode (sowie mit einer ultraschallaktivierten Spülung und schallaktivierten Spülung) bessere Ergebnisse im Vergleich mit einer Handspülung. Die CanalBrush wurde auch in anderen Studien zur Entfernung von Debris und Smear Layer benutzt und erzielte dort gute Ergebnisse (AL-ALI et al. 2012, GARIP et al. 2010, KAMEL und KATAIA 2014, SALMAN et al. 2010, TASDEMIR et al. 2011).

3. ZIEL DER STUDIE

Der dichte Verschluss des Wurzelkanalsystems ist ein wichtiger Faktor für den Erfolg der gesamten Behandlung. Guttapercha allein ist nicht in der Lage, alle Unebenheiten auszufüllen (EL DEEB 1985, HATA et al. 1992, MICHANOWICZ und CZONSTKOWSKY 1984, SKINNER und HIMEL 1987, WU et al. 2000a). Es wird empfohlen, vor der Insertion der Guttaperchastifte einen dünnen Film Sealer auf der Kanalwand zu verteilen. Es wurden bereits mehrere Methoden zur Sealerverteilung in der Literatur beschrieben (AGUIRRE et al. 1997, GUIMARÃES et al. 2014, HOEN et al. 1988, MORSE et al. 1984, WEST et al. 1989, WIEMANN und WILCOX 1991). Hierbei stellte sich oft der apikale Bereich als schwierig dar (BARTHEL et al. 1994,

DALAT und SPÄNGBERG 1994). In diesem Bereich findet man häufiger Seitenkanäle (GREEN 1955, DE DEUS 1975, SELTZER et al. 1963) und ovale Kanalformen (WU et al. 2000c).

Die Ziele der vorliegenden Studie waren es:

1. Die Sealerverteilung im Wurzelkanal *in vitro* mit jeweils drei unterschiedlichen Methoden (Lentulo, ultraschallaktivierte Feile, CanalBrush) in Wurzelkanälen mit zwei unterschiedlich weit präparierten Kanaldurchmessern zu untersuchen.
2. Die Verteilung von Sealer (AH Plus) auf der gesamten Kanalwand zu untersuchen.
3. Die Verteilung von Sealer (AH Plus) in simulierten unter sich gehenden Bereichen (Gruben) im apikalen Kanaldrittel zu untersuchen.
4. Folgende Nullhypothese zu bestätigen oder zu widerlegen: Alle drei Methoden erzielen die gleichen Ergebnisse bei Verteilung von Sealer auf der Kanalwand und in den Gruben, es gibt keine signifikanten Unterschiede.

4. MATERIAL UND METHODE

4.1 Auswahl der Zähne: Ein- und Ausschlusskriterien

Für die vorliegende Studie wurden 150 extrahierte einwurzelige und einkanalige Zähne mit rundem Wurzelquerschnitt ausgewählt: mittlere und seitliche Oberkieferfrontzähne, Eckzähne und Prämolaren. Einschlussvoraussetzungen waren ein abgeschlossenes Wurzelwachstum und eine intakte Wurzelspitze. Zähne mit Rissen und Sprüngen, ovalen Wurzelkanälen oder ausgeprägten Krümmungen wurden verworfen. Die Zähne mussten eine Mindestlänge von 20 mm von der Krone bis zum Apex aufweisen. Während der gesamten Versuchsdurchführung wurden die Präparate in Wasser aufbewahrt. Zeitweise erfolgte eine kurze Lagerung in Natriumhypochlorit (NaOCl 3%) zur Entfernung von Geweberesten. Nach Anlegen einer koronalen Zugangskavität wurde die Durchgängigkeit des Wurzelkanals mit einem Reamer der ISO-Größe 10 (Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland) überprüft. Die Wurzelkanallumina durften nicht größer sein als ein Reamer der ISO-

Größe 30. Das Vorliegen weiterer Kanäle oder ein nicht durchgängiger Kanal führten zum Ausschluss aus der Studie.

4.2 Vorbereitung und Präparation der Wurzelkanäle

Für eine standardisierte Untersuchung war eine identische Länge der Zähne von großer Bedeutung, deswegen erfolgte die Kürzung aller Zähne mit Hilfe einer Bandsägemaschine (EXAKT Apparatebau, Norderstedt, Deutschland, Abb. 5 und 6) und einer digitalen Messlehre (Mitutoyo, Neuss, Deutschland) auf eine einheitliche Gesamtlänge von 20 mm. Da die Zähne später bis auf einen Millimeter vor dem Apex präpariert wurden, ergab sich hieraus eine Arbeitslänge von 19 mm.

Abb. 5 und 6: Zuschneiden der Präparate mit der Bandsäge

Die Präparation der ausgewählten Zähne erfolgte maschinell mit FlexMaster® Nickel-Titan-Instrumenten (VDW, München, Deutschland) in einer Crown-down-Technik. Vorher wurden die Zähne von einer unabhängigen Person zufällig auf zwei Gruppen mit jeweils 75 Zähnen aufgeteilt. In Gruppe eins erfolgte die Präparation aller Zähne bis zur ISO-Größe 35, in Gruppe zwei bis zur ISO-Größe 45. Nach jeder Instrumentengröße fanden eine Spülung mit 2 ml 3% NaOCl sowie eine nochmalige Überprüfung der Durchgängigkeit des Kanals mit einem Reamer der ISO-Größe 10 statt. Nach der Präparation mussten 10 Zähne wegen nicht mehr vorhandener Durchgängigkeit des Kanals oder des Auffindens eines zweiten Kanals aus der Studie ausgeschlossen werden. Die apikale Konstriktion sollte während der

Präparation nicht zerstört oder erweitert werden, da es in diesem Falle zur Sealerextrusion gekommen wäre. Die Abschlussspülung sah wie folgt aus:

5 ml 3% NaOCl, danach 5 ml EDTA, zuletzt eine Minute passive Ultraschallspülung mit 1% NaOCl.

Um die Zähne später der Länge nach spalten zu können, wurden bei jedem Zahn von der Krone bis zum Apex mit einer diamantierten Trennscheibe (Renfert, Hilzingen, Deutschland, Abb. 7) zwei gegenüberliegende Rillen gefräst, ohne das Kanallumen zu eröffnen. Für die weitere Verarbeitung wurden die Zähne mit Hilfe eines Abformmaterials auf Silikonbasis (Silaplast; Dentax, Ettlingen, Deutschland) in Plastikröhrchen von 25 – 30 mm Länge eingebettet. Das Plastikröhrchen und die Silikonmasse hatten hierbei die Funktion der Stabilitätserhöhung. Diese Methode hatte sich auch schon in einer Studie von RÖDIG et al. (2010c) bewährt. Danach wurden die Zähne aus der nun erhärteten Silikonmasse entnommen und mit Hilfe eines Wachsmessers (Aesculap, Tuttlingen, Deutschland) in Längsrichtung in zwei identische Hälften gebrochen. Danach konnten sie wieder spaltfrei in ihre Hohlform reponiert werden (Abb. 8 und 9). Die Proben, die nicht wieder spaltfrei zusammengesetzt werden konnten, wurden verworfen. Es mussten nach diesem Schritt 20 Zähne aus der Studie genommen werden, weil sie nicht wie gewünscht auseinandergebrochen waren.

Abb. 7 -9: Trennscheibe, Silikonform und Zahnhälften. Es ist zu beachten, dass sich die zur Erleichterung des Spaltungsvorgangs angelegten Rillen nicht bis zum Kanallumen erstreckten (mittleres Bild).

Um den Versuchsaufbau so realitätsnah wie möglich zu gestalten, wurden wie schon zuerst bei LEE et al. (2004) und später auch bei RÖDIG et al. (2010b, 2010c)

standardisierte Gruben präpariert, die unter sich gehende, nicht instrumentierbare Bereiche innerhalb von Wurzelkanälen simulieren sollten.

Die Spitze eines Fingerspreaders der Größe *medium* (Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland) wurde mit einer diamantierten Trennscheibe (Renfert, Hilzingen, Deutschland) auf 0,2 mm Breite reduziert und danach der Handgriff abgetrennt. Der so präparierte Fingerspreader wurde in den Nadelhalter eines Ultraschallgerätes (Piezon Master- 400, EMS, Nyon, Schweiz) eingespannt (Abb. 10 und 11).

Abb. 10: Spitze des präparierten Fingerspreaders bei 30-facher Vergrößerung. In 0,5 mm Entfernung von der Spitze beträgt die Breite 0,2 mm (RÖDIG et al. 2010c).
Abb. 11: Dieser präparierte Fingerspreader ist in den Nadelhalter des Ultraschallgerätes eingespannt (RÖDIG et al. 2010c).

Mit Hilfe dieses Instrumentes wurde bei niedriger Einstellung der Schwingungsintensität des Ultraschallgerätes eine 4 mm lange, 0,2 mm breite und 0,5 mm tiefe Kavität in die Kanalwand jeweils einer Zahnhälfte pro Probe präpariert (Abb. 13).

Diese standardisierten Kavitäten sollten uninstrumentierte Ausbuchtungen innerhalb von Wurzelkanälen simulieren (Abb. 12). Es ist schwierig, diese Bereiche vollständig mit Sealer zu füllen.

Abb. 12: Aufsicht auf einen präparierten Wurzelkanal mit ovalem Querschnitt. Die unbearbeiteten Ausläufer (Pfeile) des Wurzelkanals sind deutlich zu erkennen (RÖDIG et al. 2010c).

Abb. 13: Präparierte Kavität unter dem Auflichtmikroskop in 20-facher Vergrößerung
In einer Wurzelhälfte wurde die Kavität von 2 mm bis 6 mm Entfernung vom Apex präpariert.

Abb. 14: Schematische Darstellung der Kavitätenpräparation (RÖDIG et al. 2010c).

Die Ausmaße der präparierten Kavität entsprechen den Bereichen, die bei der mechanischen Aufbereitung nicht erfasst werden (WU et al. 2000c). Sie wurden in einer der beiden Wurzelhälften im apikalen Wurzel Drittel in einer Entfernung von 2 mm bis 6 mm zum Apex präpariert (Abb. 13 und 14). Durch die Kavitätenpräparation entstand Debris, der mit einer Zahnbürste gründlich entfernt wurde.

4.3 Einbringen des Sealers

In die so vorbereiteten Zahnhälften konnte nun der Sealer eingebracht werden. In der vorliegenden Studie wurde dafür wie bei BARTHEL et al. (1994), GUIMARÃES et al. (2014), MILETIC et al. (1999) und ZHANG und PENG. (2009) AH Plus™ (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) verwendet. Die verwendete Menge an Sealer wurde aus den zwei Komponenten Base und Katalysator in Pastenform portionsweise frisch angemischt. Danach wurde der Sealer in eine Einmalspritze gefüllt um die Menge für etwa 5 Proben abmessen zu können. Für jede einzelne Probe wurden ca. 15-20 Mikroliter verwendet. Die Präparate wurden vor Einbringen und nach Einbringen des Sealers mit Hilfe einer Laborwaage (Sartorius, Berlin, Deutschland) gewogen und aus den Differenzen wurde die durchschnittliche Sealermenge errechnet, die in jede einzelne Probe verteilt wurde. Die durchschnittliche Sealermenge betrug 17 µg.

Die jeweils 60 präparierten Zähne beider Gruppen wurden zuvor in Untergruppen von je 20 Zähnen pro Methode der Sealerapplikation zufällig von einer unabhängigen Person aufgeteilt.

Drei unterschiedliche Methoden der Sealerapplikation kamen in der Untersuchung zur Anwendung: CanalBrush™ (Coltene/Whaledent, Langenau, Deutschland),

ultraschallaktivierte Feile (Endosonore File: Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) und Lentulo (VDW, München, Deutschland), jeweils zu sehen in Abb. 15 -17. Alle drei Methoden wurden 10 Sekunden lang nach Herstellerangaben angewendet.

Gruppe I: CanalBrush

Die CanalBrush™ besteht aus Polypropylen und ist in drei verschiedenen Größen (S, M und L), abgestimmt auf die unterschiedlich präparierten Wurzelkanäle, verfügbar. Verwendet wurde im vorliegenden Versuch die Größe M für die ISO-Größe 35. Dafür soll nach Herstellerangaben mindestens bis zur ISO-Größe 30 präpariert werden. Für die ISO-Größe 45 wurde die Größe L benutzt. Die CanalBrush™ wurde bei 300 Umdrehungen pro Minute (Umin^{-1}) benutzt. Dafür kam ein Endo IT professional-Motor mit dazugehörigem Winkelstück (VDW, München, Deutschland) zur Anwendung.

Es wurde folgende Arbeitsweise für die CanalBrush™ festgelegt: Nach Aufnahme des Sealers wurde sie locker und passiv bis auf Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingebracht und dann über das Winkelstück fünf Sekunden lang aktiviert. Anschließend wurde sie erneut mit Sealer beschickt, wieder passiv eingebracht und fünf Sekunden lang aktiviert. Die CanalBrush™ hatte insgesamt 10 Sekunden Kontakt mit der Kanalwand. Vor der Befestigung im Winkelstück wurde die Arbeitslänge mit einem wasserfesten Stift auf der CanalBrush™ markiert. Sobald das Bürstchen Kontakt mit der Kanalwand hatte, kam es in vereinzelten Fällen vor, dass sie sich verdrehte, in diesem Fall war sie verbraucht. Sie ist für den Einmalgebrauch am Patienten konzipiert und wurde auch in dieser Studie nur für jeweils einen Wurzelkanal verwendet.

Gruppe II: Lentulo

Der Lentulo, ein spiralförmiges Instrument aus medizinischem Edelstahl, ist ebenfalls in verschiedenen Größen entsprechend der ISO-Codierung verfügbar. Es wurden die ISO-Größen 25 und 30 verwendet, da der Hersteller die Benutzung einer Größe empfiehlt, die mindestens zwei Größen unter der Aufbereitungsgröße liegt. Er wurde gleichermaßen im Winkelstück bei 300 Umin^{-1} benutzt. Der Lentulo wurde locker und ohne Wandkontakt in den Kanal gebracht und über das Winkelstück fünf Sekunden

lang aktiviert. Damit es nicht zu einer Extrusion von Sealer über den Apex hinaus kommt, wurde der Lentulo während der Aktivierung langsam wieder aus dem Kanal herausbewegt. Dieser Vorgang geschah, wie bei der CanalBrush™, zweimal, d.h. der Lentulo wurde zweimal mit Sealer beschickt und befand sich ebenfalls insgesamt 10 Sekunden lang im Wurzelkanal.

In dieser Studie wurde der Lentulo für mehrere Präparate verwendet, insofern er sich nicht verbogen hatte oder frakturiert war. Das Risiko einer Fraktur war gering, da der Lentulo nur mit 300 Umdrehungen pro Minute benutzt wurde.

Gruppe III: Ultraschall

In der dritten Gruppe wurde eine ultraschallaktivierte Feile der ISO-Größe 15 benutzt, da bei größeren Durchmessern die Gefahr besteht, dass diese bei Wandkontakt präparierend an der Wurzelkanalwand arbeitet. Die ultraschallaktivierte Feile wurde in Kombination mit einem Ultraschallgerät (VDW-Ultra, VDW, München, Deutschland) angewandt. Vom Hersteller wird die niedrigste Einstellung empfohlen. Die niedrigste Einstellung entspricht bei diesem Gerät einer Schwingungsfrequenz von 28.000 Hz.

Wie in den beiden anderen Gruppen wurde die Feile passiv eingebracht und erst dann aktiviert. Diese Aktivierung dauerte ebenfalls fünf Sekunden. Danach wurde die ultraschallaktivierte Feile erneut mit Sealer beschickt, passiv in den Kanal gebracht und wieder für fünf Sekunden aktiviert.

Sowohl bei der Anwendung des Lentulo als auch bei der Anwendung der ultraschallaktivierten Feile wurde eine Markierung der Arbeitslänge mit Hilfe eines wasserfesten Stiftes vorgenommen. Ein Stopper aus Gummi hatte sich in einigen vorherigen Trainingsversuchen als ungenau erwiesen, da er verrutschen konnte.

Bei allen drei Methoden wurde das jeweilige Instrument immer gleichmäßig auf ganzer Länge mit Sealer benetzt (Abb. 15-17).

Damit eine unbewusste Bevorzugung einer der Methoden ausgeschlossen werden konnte, wurden immer fünf Zähne einer Untergruppe gefüllt und danach zur nächsten Methode gewechselt.

Nach Verteilen des Sealers in den Proben wurden diese für vier Wochen im Brutschrank bei 37 °C und 100% Luftfeuchtigkeit aufbewahrt.

Abb. 15: CanalBrush™ mit Sealer (Größe L)

Abb. 16: Lentulo mit Sealer (ISO-Größe 25)

Abb. 17: ultraschallaktivierte Feile mit Sealer

4.4 Auswertung

Die anschließende Bilderfassung erfolgte durch ein Auflichtmikroskop (MOTIC Ergonomic Trinokular Zoom Stereo Mikroskop, Motic, Wetzlar, Deutschland) bei 20x bzw. 40x Vergrößerung mit einer Digitalkamera (Moticam 1300, Motic, Wetzlar, Deutschland) mit einer Bildauflösung von 1,3 Megapixeln. Um alle Proben in der gleichen Position fotografieren zu können, wurde ein Silikonschlüssel aus Silaplast für jede Zahnhälfte angefertigt (Abb. 18 und 19). Während das Silikon aushärtete, konnten die Proben optimal unter dem Mikroskop ausgerichtet werden. Mit Hilfe dieser Silikonschlüssel wurden 360 Fotos erstellt, jeweils 120 Bilder der Zahnhälfte eins, der Zahnhälfte zwei und der vergrößerten Darstellung (40-fache Vergrößerung) der Gruben.

Die Fotos enthalten eine Einteilung in drei Bereiche. Diese Einteilung wurde mit Hilfe einer Millimeterskalierung und eines wasserfesten Stiftes auf einem Objektträger markiert. Der Objektträger wurde in der optimalen Position definitiv befestigt und die einzelnen Proben jeweils darunter geschoben, sodass alle Proben in der gleichen Position fotografiert werden konnten (Abb. 20).

Zur besseren Erkennung der Begrenzung des Wurzelkanals und der Gruben wurde später eine rote Markierung in die Bilder eingefügt.

Die Bilder der Proben wurden vor der Auswertung randomisiert, um eine mögliche Erkennung der Methode zu verhindern.

Abb. 18 und 19: Zahnhälften mit zugehörigem Silikonschlüssel zur Repositionierung unter dem Mikroskop

Abb. 20: Objektträger mit Millimeterskalierung (jeweils 3 mm) zur Positionierung der Proben unter dem Mikroskop

Die Bewertung erfolgte durch zwei kalibrierte Zahnärzte, angelehnt an Studien von RÖDIG et al. (2010c) und WIEMANN und WILCOX (1991). Die Kalibrierung der Untersucher auf das Scoresystem fand vor der Hauptuntersuchung statt. Hierfür wurden 20 Fotos bewertet und diskutiert. Nach zwei Wochen bewerteten die Untersucher erneut 20 Fotos und diskutierten wiederum abweichende Ergebnisse. Diese Bilder gehörten nicht zur Hauptuntersuchung, sondern wurden zur Erprobung der Methode in einem vorher gehenden Durchlauf erstellt. In der Hauptuntersuchung wurden mit Hilfe des Weighted Kappa Testes die „interindividuelle Übereinstimmung“ und die „intraindividuelle Reproduzierbarkeit“ berechnet (HÜLSMANN et al. 1996). Für die „interindividuelle Übereinstimmung“ wurde folgender Quotient gebildet:

Von beiden Untersuchern mit demselben Score bewertete Abschnitte in den Bildern geteilt durch die Gesamtprobenzahl. Das Ergebnis wurde in Prozent angegeben. Je höher die Prozentzahl des Ergebnisses war, desto mehr Proben wurden durch beide Untersucher mit demselben Score bewertet. Für die „intraindividuelle Reproduzierbarkeit“ wurde ein weiterer Quotient gebildet: Von einem Untersucher im ersten und zweiten Durchgang mit demselben Score bewertete Abschnitte in den Bildern geteilt durch die Gesamtprobenzahl. Das Ergebnis wurde wieder in Prozent angegeben. Je höher die Prozentzahl, desto mehr Proben wurden vom Untersucher in einem zweiten Durchgang erneut mit demselben Score bewertet wie im Durchgang zuvor. Diese Resultate erlauben eine Aussage über das Maß der Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit in der Bewertung der Bilder.

Die Wurzelbereiche der Zahnhälften wurden für die Auswertung mit Hilfe einer Millimeterskalierung unter dem Mikroskop in drei Bereiche eingeteilt: apikales Drittel,

mittleres Drittel und koronales Drittel. Diese Einteilung in drei Sektionen wurde schon von WIEMANN und WILCOX (1991) und von LAMBRIANIDIS et al. (2006) angewendet. Jedes Drittel betrug in der vorliegenden Studie drei Millimeter und wurde anhand der vier folgenden Scores (Abb. 21- 24) bewertet:

Abb. 21: Score 1: das Drittel ist zu 0-25% mit Sealer gefüllt

Abb. 22: Score 2: das Drittel ist zu 25-50% mit Sealer gefüllt

Abb. 23: Score 3: das Drittel ist zu 50-75% mit Sealer gefüllt

Abb. 24: Score 4: das Drittel ist zu 75-100% mit Sealer gefüllt

Des Weiteren wurde noch bewertet, ob und in welchem Ausmaß die Gruben mit Sealer gefüllt waren. Hierfür wurde ein Scoresystem (Abb. 25-28), angelehnt an RÖDIG et al. (2010c), benutzt:

Abb. 25: Score 1: die Grube ist leer

Abb. 26: Score 2: die Grube ist zu 1-50% mit Sealer gefüllt

Abb. 27: Score 3: die Grube ist zu 51-99% mit Sealer gefüllt

Abb. 28: Score 4: die Grube ist zu 100% mit Sealer gefüllt

Dies ergab für jede Probe insgesamt sieben Werte (pro Probe jeweils zwei Werte apikal, mittel und koronal sowie einen Wert pro Grube). Die statistische Analyse wurde mit Hilfe eines nicht parametrischen *repeated-measures*- ANOVA- Test durchgeführt. Es wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ gewählt.

5. ERGEBNISSE

Insgesamt wurden 345 Bilder unabhängig und zweizeitig von zwei kalibrierten Untersuchern bewertet. Von den insgesamt erstellten 360 Bildern wurden 15 Bilder (entsprechend fünf Proben) aussortiert, da diese Reste der CanalBrush-Borsten enthielten und so die Untersucher eindeutig auf die Methode bzw. die Gruppenzugehörigkeit hätten schließen können.

5.1 Untersucherübereinstimmung

In der vorliegenden Studie betrug die interindividuelle Übereinstimmung im ersten Durchgang bei Betrachtung der Gruben 85% und bei Betrachtung der Kanalwände 81%.

Im zweiten Durchgang lag die interindividuelle Übereinstimmung bei 87% für die Bewertung der Gruben und 81% bei der Bewertung der Kanalwände (Tab.1).

Die intraindividuelle Reproduzierbarkeit zwischen dem ersten und zweiten Durchgang betrug bei Untersucher 1 jeweils bei Wand- und Grubenabschnitten 93% (Tab. 2). Bei Untersucher 2 betrug die Reproduzierbarkeit bei Betrachtung der Gruben 96% und bei Betrachtung der Wurzelkanalwände 89% (Tab. 3).

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des *Weighted- Kappa*- Tests.

	Gruben	Kanalwand
1. Untersuchung	0,8460 = 85 %	0,8126 = 81 %
2. Untersuchung	0,8689 = 87 %	0,8123 = 81 %

Tab. 1: Interindividuelle Übereinstimmung

	Gruben	Kanalwand
Untersucher 1	0,9312 = 93 %	0,9289 = 93 %

Tab. 2: Intraindividuelle Reproduzierbarkeit Untersucher 1

	Gruben	Kanalwand
Untersucher 2	0,9618 = 96 %	0,8914 = 89 %

Tab. 3: Intraindividuelle Reproduzierbarkeit Untersucher 2

5.2 Ergebnisse des Versuches

Für die statistische Auswertung wurde ein nicht parametrisches *repeated-measures*-ANOVA-Modell verwendet. Die Studie zeigte signifikante Unterschiede zwischen den drei angewendeten Methoden und den zwei unterschiedlichen Präparationsgrößen sowie in der Betrachtung der Gruben und Kanalwände.

5.2.1 Benetzung der Kanalwände

5.2.1.1 Präparation bis ISO-Größe 35

In der Gruppe der Präparation bis zur ISO-Größe 35 erzielte die Applikationsmethode mit der CanalBrush in allen drei bewerteten Bereichen (apikal, mittel, koronal) signifikant bessere Ergebnisse (apikal: C vs. L $p=0,0017$, C vs. U $p<0,0001$, mittel: C vs. L und C vs. U $p<0,0001$, koronal: C vs. L und C vs. U $p<0,0001$) als die anderen beiden Methoden (U = ultraschallaktivierte Feile und L = Lentulo). Der Lentulo erreichte im apikalen und im mittleren Kanaldrittel eine signifikant bessere Sealerverteilung (apikal L vs. U $p=0,0009$, mittel L vs. U $p=0,0368$) als die ultraschallaktivierte Feile. Nur im koronalen Kanaldrittel schnitt umgekehrt die ultraschallaktivierte Feile signifikant besser ab (L vs. U $p=0,0196$) als der Lentulo (Abb. 29, Tab. 4).

5.2.1.2 Präparation bis ISO-Größe 45

In der Gruppe mit der Wurzelkanalpräparation bis zur ISO-Größe 45 erreichte die Methode CanalBrush ebenfalls im koronalen Abschnitt signifikant bessere Ergebnisse als die anderen Methoden (C vs. L $p=0,0039$, C vs. U $p=0,0002$), die Ergebnisse für Lentulo und ultraschallaktivierte Feile unterscheiden sich nicht signifikant ($p=0,3940$, Abb. 30, Tab. 5).

Im mittleren Kanaldrittel weist die Applikationsmethode CanalBrush erneut eine signifikant bessere Sealerverteilung (C vs. L $p=0,0453$, C vs. U $p<0,0001$) auf als die anderen beiden Methoden. Im apikalen Bereich unterscheiden sich die Methoden CanalBrush und Lentulo nicht signifikant ($p=0,4478$), aber erzielten beide bessere Ergebnisse als die ultraschallaktivierte Feile (C vs. U und L vs. U $p<0,0001$).

5.2.1.3 Zusammenfassende Bewertung der Benetzung der Kanalwände

Bei der Bewertung der Ergebnisse zur Benetzung der Kanalwände mit Sealer kann zusammenfassend festgestellt werden, dass die Applikation des Sealers mit der CanalBrush für beide Präparationsgrößen sowie in allen Kanalabschnitten signifikant die besten Ergebnisse bzw. einmal gleiche Ergebnisse wie der Lentulo erzielte. Die

Verwendung einer ultraschallaktivierten Feile ergab bis auf eine Ausnahme die schlechtesten Resultate.

Abb. 29: Gesamtauswertung der Scores für die Benetzung der Kanalwände nach Präparation bis zur ISO-Größe 35 (U=Ultraschall, L=Lentulo, C=CanalBrush).

Vergleich	Abschnitt	p- Werte	Schätzung
Methode C vs. Methode L	apikal	0,0017	C 1590,48
Methode C vs. Methode U	apikal	<0,0001	L 1081,00
Methode L vs. Methode U	apikal	0,0009	U 582,39
Methode C vs. Methode L	mittel	<0,0001	C 2237,90
Methode C vs. Methode U	mittel	<0,0001	L 1506,11
Methode L vs. Methode U	mittel	0,0368	U 1224,52
Methode C vs. Methode L	koronal	<0,0001	C 2439,15
Methode C vs. Methode U	koronal	<0,0001	L 1575,58
Methode L vs. Methode U	koronal	0,0196	U 1806,31

Tab. 4: p-Werte (alle signifikant) für den Vergleich der unterschiedlichen Applikationstechniken nach Präparation bis zur ISO-Größe 35 (Schätzung= Mittelwert aus den vorliegenden Daten)

Abb. 30: Gesamtauswertung der Scores für die Benetzung der Kanalwände nach Präparation bis zur ISO-Größe 45 (U=Ultraschall, L=Lentulo, C=CanalBrush).

Vergleich	Abschnitt	p- Werte	Schätzung
Methode C vs. Methode L	apikal	0,4478	C 1791,20
Methode C vs. Methode U	apikal	<0,0001	L 1663,28
Methode L vs. Methode U	apikal	<0,0001	U 790,68
Methode C vs. Methode L	mittel	0,0453	C 2362,18
Methode C vs. Methode U	mittel	<0,0001	L 2081,20
Methode L vs. Methode U	mittel	<0,0001	U 1351,62
Methode C vs. Methode L	koronal	0,0039	C 2373,49
Methode C vs. Methode U	koronal	0,0002	L 1965,97
Methode L vs. Methode U	koronal	0,3940	U 1846,13

Tab. 5: p-Werte für den Vergleich der unterschiedlichen Applikationstechniken nach Präparation bis zur ISO-Größe 45 (signifikante Werte blau markiert, Schätzung= Mittelwert aus den vorliegenden Daten)

Die Abb. 31–42 zeigen gute und unzureichende Resultate für die unterschiedlichen Applikationstechniken in den drei unterschiedlichen Kanalabschnitten:

Methode CanalBrush:

Präparationsgröße 35

Abb. 31: alle Kanalabschnitte sind gefüllt

Abb. 32: alle Kanalabschnitte sind unvollständig gefüllt

Präparationsgröße 45

Abb. 33: koronaler Abschnitt ist vollständig gefüllt, mittlerer und apikaler Abschnitt sind unvollständig gefüllt

Abb. 34: koronaler Abschnitt ist unvollständig gefüllt, mittlerer und apikaler Abschnitt sind vollständig gefüllt

Methode Lentulo:

Präparationsgröße 35

Abb. 35: koronaler Abschnitt ist vollständig gefüllt, mittlerer und apikaler Abschnitt sind unvollständig gefüllt

Abb. 36: koronaler Abschnitt ist unvollständig gefüllt, mittlerer und apikaler Abschnitt sind vollständig gefüllt

Präparationsgröße 45

Abb. 37: alle Kanalabschnitte sind gefüllt

Abb. 38: alle Kanalabschnitte sind nicht gefüllt

Methode Ultraschall:

Präparationsgröße 35

Abb. 39: koronaler, mittlerer Abschnitt sind vollständig gefüllt, apikaler Abschnitt teilweise gefüllt (bestes erzielttes Ergebnis)

Abb. 40: alle Kanalabschnitte sind nicht/ teilweise gefüllt

Präparationsgröße 45

Abb. 41: koronaler, mittlerer Abschnitt sind vollständig gefüllt, apikaler Abschnitt fast vollständig gefüllt (bestes erzielttes Ergebnis)

Abb. 42: alle Kanalabschnitte sind nicht gefüllt

5.2.2 Füllung der Gruben mit Sealer

5.2.2.1 Präparation bis ISO-Größe 35

In der Gruppe der Zähne mit Präparation bis zur ISO-Größe 35 schnitt die Applikation des Sealers mit der CanalBrush ebenfalls signifikant besser ab (C vs. L $p= 0,0003$, C vs. U $p= <0,0001$) als die beiden anderen Methoden. Der Lentulo erzielte signifikant bessere Ergebnisse (L vs. U $p= 0,0151$) als die Applikationstechnik mit der ultraschallaktivierten Feile (Abb. 43, Tab. 6).

5.2.2.2 Präparation bis ISO-Größe 45

In der zweiten Gruppe- die Wurzelkanäle waren bis zur ISO-Größe 45 präpariert- unterschieden sich die Ergebnisse für die CanalBrush und den Lentulo nicht signifikant (C vs. L $p= 0,9097$), beide Techniken erreichten aber eine signifikant bessere Sealerverteilung in den Gruben (C vs. U und L vs. U $p= <0,0001$) als die ultraschallaktivierte Feile (Abb. 44, Tab. 7).

5.2.2.3 Zusammenfassende Bewertung der Füllung der Gruben

Zusammenfassend kann bei Betrachtung der Füllung der Gruben festgestellt werden, dass die Applikationstechnik mit einer CanalBrush durchgängig signifikant bessere Ergebnisse als die ultraschallaktivierte Sealerverteilung erzielt bzw. die gleichen Ergebnisse wie der Lentulo erreicht.

Die ultraschallaktivierte Feile schnitt erneut signifikant schlechter ab als die beiden übrigen Techniken.

Abb. 43: Auswertung der Scores in den Gruben nach Präparation der Wurzelkanäle bis zur ISO-Größe 35 (U=Ultraschall, L=Lentulo, C=CanalBrush).

Vergleich	Abschnitt	p- Werte	Schätzung
Methode C vs. Methode L	Grube	0,0003	C 1667,22
Methode C vs. Methode U	Grube	<0,0001	L 1087,83
Methode L vs. Methode U	Grube	0,0151	U 729,11

Tab. 6: p-Werte bei Betrachtung der Gruben nach Präparation der Wurzelkanäle bis zur ISO-Größe 35 (signifikante Werte blau markiert, Schätzung= Mittelwert aus den vorliegenden Daten)

Abb. 44: Auswertung der Scores in den Gruben nach Präparation der Wurzelkanäle bis zur ISO-Größe 45 (U=Ultraschall, L=Lentulo, C=CanalBrush).

Vergleich	Abschnitt	p- Werte	Schätzung
Methode C vs. Methode L	Grube	0,9097	C 1672,51
Methode C vs. Methode U	Grube	<0,0001	L 1691,39
Methode L vs. Methode U	Grube	<0,0001	U 986,79

Tab. 7: p-Werte bei Betrachtung der Gruben nach Präparation der Wurzelkanäle bis zur ISO-Größe 45 (signifikante Werte blau markiert, Schätzung= Mittelwert aus den vorliegenden Daten)

Die Abb. 45 -56 zeigen gute und unzureichende Bilder der gefüllten Gruben:

Methode CanalBrush:

Präparationsgröße 35

Abb. 45: Grube gefüllt

Abb. 46: Grube nicht gefüllt

Präparationsgröße 45

Abb. 47: Grube gefüllt

Abb. 48: Grube nicht gefüllt

Methode Lentulo:

Präparationsgröße 35

Abb. 49: Grube gefüllt

Abb. 50: Grube nicht gefüllt

Präparationsgröße 45

Abb. 51: Grube gefüllt

Abb. 52: Grube nicht gefüllt

Methode Ultraschall:

Präparationsgröße 35

Abb. 53: Grube zum Teil gefüllt
(bestes erzielttes Ergebnis)

Abb. 54: Grube nicht gefüllt

Präparationsgröße 45

Abb. 55: Grube zum Teil gefüllt
(bestes erzielttes Ergebnis)

Abb. 56: Grube nicht gefüllt

5.2.3 Vergleich der ISO-Größen 35 und 45

Der Vergleich der beiden Gruppen zeigte Signifikanzen in den apikalen ($p = 0,0005$) und mittleren ($p = 0,0008$) Kanalabschnitten sowie in den Gruben ($p = 0,0021$). Im koronalen Kanaldrittel gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den zwei verschiedenen Präparationsgrößen ($p = 0,0941$).

Vergleich	Abschnitt	p-Werte	Schätzung
35 vs. 45	apikal	0,0005	35: 1084,62 45: 1415,05
35 vs. 45	mittel	0,0008	35: 1656,18 45: 1931,67
35 vs. 45	koronal	0,0941	35: 1940,35 45: 2061,86
35 vs. 45	Grube	0,0021	35: 1161,38 45: 1450,23

Tab. 8: p-Werte bei Betrachtung der ISO-Größen 35 und 45 (signifikante Werte blau markiert, Schätzung= Mittelwert aus den vorliegenden Daten)

5.3 Fehleranalyse

Es mussten 15 Bilder, entsprechend fünf Proben, aus der Auswertung genommen werden, da diese Reste der CanalBrush-Borsten enthielten (Abb. 59 und 60). Die beiden Auswerter hätten somit eindeutig auf die Methode schließen können. Bei der Rückverschlüsselung konnte festgestellt werden, dass die Verdrillungen der CanalBrush (Abb. 57 und 58) ausschließlich bei den Proben mit der Kanalbohrung der ISO-Größe 35 auftraten. Reste oder Frakturteile der beiden anderen Applikatoren (US-Feile, Lentulo) konnten nicht gefunden werden.

Abb. 57 und 58: verdrillte CanalBrush (Größe M)

Abb. 59 und 60: Probe mit und ohne Grube mit verdrillter und frakturierter CanalBrush unter dem Auflichtmikroskop (40- bzw. 20-fache Vergrößerung)

6. DISKUSSION

6.1 Diskussion der Methode

Die Auswahl und Anzahl der Proben erfolgte in Anlehnung an vergleichbare Studien (AGUIRRE et al. 1997, GUIMARÃES et al. 2014, HALL et al. 1996, HOEN et al. 1988, SOUZA et al. 2009, WEIS et al. 2004, WEST et al. 1989, WIEMANN und WILCOX 1991), die ebenfalls die Verteilung von Sealer auf der Kanalwand untersuchten. In diesen Studien wurden meist mittlere oder seitliche Frontzähne oder mesiale Wurzeln von Oberkiefermolaren genutzt. Grund dafür ist die gerade und runde Kanal Anatomie dieser Zähne, die eine zu große Variation in der Kanalform verhindert. In der vorliegenden Studie wurden ebenfalls extrahierte menschliche Wurzeln mit rundem Kanalquerschnitt und gerader Form verwendet (mittlere und seitliche Oberkieferfrontzähne, Eckzähne und Prämolaren mit rundem Querschnitt). Die vorliegenden Versuche erfolgten zwar *in vitro*, aber dennoch entsprach das Versuchsdesign den tatsächlichen klinischen Bedingungen während der Behandlung in der täglichen Praxis. KAHN et al. (1997) nutzten im Gegensatz dazu simulierte Kanäle aus Kunstharz. Nachteil hierbei ist aber das Fehlen natürlicher Unebenheiten in der Kanalwand und auch die Präparation der standardisierten Kavitäten hätte sich als schwierig erwiesen. Da Kunstharz aufgrund seiner anderen Struktur, vor allem des Fehlens von Dentintubuli, eine andere Sealerhaftung aufweist als Dentin, ist es sinnvoller, natürliche Kanalmodelle zu benutzen, um praxisnahe Resultate zu erreichen. Um ein möglichst aussagekräftiges und signifikantes Ergebnis zu erhalten, wurde eine große Probenzahl von 120 Proben, wie auch bei AGUIRRE et al. (1997) beschrieben, genutzt. Die ausgewählten Proben wurden maschinell mit FlexMaster Nickel-Titan-Instrumenten präpariert. Mit dieser Technik kann eine weitgehend gleichbleibende Konizität und Präparationsform für alle Wurzelkanäle garantiert und eine hohe Standardisierung erreicht werden.

Es wurden zwei verschiedene Präparationsgrößen zur Untersuchung verwendet und miteinander verglichen, um eventuelle Unterschiede der Kanalwandbenetzung bei unterschiedlichen Kanalgeometrien aufzuzeigen. Ähnliche Präparationsgrößen wurden auch angewandt bei RÖDIG et al. (2010a), WIEMANN und WILCOX (1991) und WU et al. (2000b). Hier wurde aber jeweils für alle Proben nur eine Aufbereitungsgröße gewählt und somit kein Vergleich zwischen zwei verschiedenen Präparationsgrößen vorgenommen.

Es wurde bereits mehrfach in der Literatur untersucht, ob und in welcher Weise die gleichmäßige Benetzung der Wurzelkanalwand mit Sealer Einfluss auf eine erfolgreiche Wurzelfüllung hat. Teilt man die Kanalwände in Drittel ein, kann eine annähernd gleiche Benetzung im koronalen und mittleren Drittel der Kanalwand beobachtet werden. Im apikalen Drittel ergeben sich jedoch gravierende Unterschiede (WIEMAN und WILCOX 1991). Das apikale Kanaldrittel stellt nachweisbar den schwierigsten Bereich bei der Sealerverteilung im Wurzelkanal dar (BARTHEL et al. 1994, DALAT und SPÄNGBERG 1994). In diesem Bereich findet man zum Beispiel häufiger Seitenkanäle als im koronalen oder mittleren Abschnitt (DE DEUS et al. 1975, GREEN 1955, SELTZER et al. 1963, VERTUCCI 1984). Es wird in der zuletzt genannten Studie (VERTUCCI 1984) sogar eine Häufigkeit von 90-93% für das Vorhandensein von Seitenkanälen im apikalen Wurzelkanaldrittel angegeben. Diese Seitenkanäle haben eine Verbindung zum Desmodont (DE DEUS 1975) und Undichtigkeiten in diesem Bereich führen dazu, dass sich Flüssigkeiten ansammeln können, es zu einer Vermehrung von Bakterien und infolgedessen zu einer Reinfektion kommt (SOLOMON et al. 1995). Neben Seitenkanälen findet man in 5 mm Entfernung zum Apex ovale Kanalformen (WU et al. 2000c). Aus dem koronal eher rund geformten Kanal wird apikalwärts unter Umständen eine ovale Kanalform, die schwierig zu erreichen und zu reinigen ist, ohne den Zahn dabei zu schwächen (WU et al. 2000c). Wenn diese Bereiche also schon schwierig zu reinigen sind, werden sie auch schwierig zu füllen sein. Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Untersuchung wie bei CAPAR et al. (2014), LEE et al. (2004), RÖDIG et al. (2010b, 2010c), VAN DER SLUIS et al. (2007b) und WEISE et al. (2007) standardisierte Gruben in das apikale Kanaldrittel präpariert. Diese Gruben simulieren nicht- instrumentierbare Kanalbezirke im apikalen Bereich. Bisher wurden die präparierten Gruben ausschließlich benutzt, um zu untersuchen, wie gut verschiedene Spülmethoden die Medikamenteneinlage Kalziumhydroxid (CAPAR et al. 2014, RÖDIG et al. 2010c, VAN DER SLUIS et al. 2007b) oder Smear Layer (RÖDIG et al. 2010b) aus ihnen entfernen können. Es findet sich keine Studie in der Literatur, die die Verteilung von Sealer im Wurzelkanal mit standardisierten künstlich angelegten Gruben untersucht. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass die präparierten Kavitäten einen klar abgegrenzten Bereich darstellen, der mit Hilfe von Scores gut beurteilt werden kann. Eine weitere Grube im koronalen Bereich wäre allerdings wenig sinnvoll gewesen, da dieser Kanalabschnitt vergleichsweise einfach

zu erreichen ist. Zusätzlich wurden in der vorliegenden Studie, im Unterschied zu anderen Untersuchungen mit präparierten Kavitäten, auch jeweils beide Kanalhälften gesondert zusätzlich zu den Gruben betrachtet. Die Einteilung der Kanalhälften in drei Sektionen (apikal, mittel, koronal) war an die Methode von WIEMANN und WILCOX (1991) angelehnt. Mit Hilfe dieser Einteilung ist es wesentlich einfacher, mit einem Scoresystem die gesamte Kanalwand zu beurteilen. Die Beurteilung der Proben mit Hilfe eines Mikroskops und die Anfertigung von Fotografien vereinfachte weiterhin die Auswertung. Die 40-fache Vergrößerung, die auch schon RÖDIG et al. (2010c) nutzten, erwies sich als optimal, um die präparierten Kavitäten auszuwerten. Hilfreich waren in der vorliegenden Untersuchung auch die angefertigten Silikonformen zur Ausrichtung und zur Reproduzierbarkeit der Proben. Diese Methode ist bisher in der Literatur nur bei RÖDIG et al. (2010c) zu finden. Angelehnt an die Studien von RÖDIG et al. (2010b, 2010c) und VAN DER SLUIS et al. (2007b) wurde ein Scoresystem mit vier Graden verwendet. Ein Scoresystem zur Auswertung der Proben ist dabei genauer als eine alleinige ja/nein-Entscheidung. Der Nachteil eines Scoresystems ist die eventuelle subjektive Wahrnehmung, deswegen erfolgte vorher eine genaue Kalibrierung der Untersucher.

Schwieriger zu standardisieren war die Menge an verwendetem Sealer, da diese nicht hundertprozentig genau abmessbar ist. In der Literatur findet man nur wenige Angaben zu Sealermengen in den verschiedenen Untersuchungen zur Sealerverteilung. AGUIRRE et al. (1997), HALL et al. (1996), WIEMANN und WILCOX (1991) und WU et al. (2000b) machen ähnliche Angaben zur verteilten Sealermenge. HALL et al. (1996) und WU et al. (2000) geben jeweils 0,05 ml Sealer an, WIEMANN und WILCOX (1991) verwenden 0,04 ml Sealer und AGUIRRE et al. (1997) geben 18-20 Mikroliter (entspricht 0,018- 0,02 ml) an. In der vorliegenden Studie wurde die Menge an Sealer mit einer Einmalspritze für 5 Proben abgemessen (ca. 100 Mikroliter, dementsprechend 15-20 Mikroliter pro Probe), die Proben vor und nach der Sealerverteilung zur Kontrolle gewogen und die durchschnittliche Sealermenge von 17 Mikrogramm berechnet. Dies entspricht 0,017 ml und ist vergleichbar der verwendeten Sealermenge bei AGUIRRE et al. (1997). Bei der Anwendung der drei Methoden wurde ebenfalls wie bei AGUIRRE et al. (1997) nach Bearbeitung von jeweils fünf Proben ein Wechsel der Methode durchgeführt, um zu verhindern, dass ein Übungseffekt nur in bestimmten Gruppen wirksam wird oder in

den letzten Gruppen Fehler eliminiert sind, die bei der Bearbeitung der ersten Gruppen noch auftraten.

Die bisher in der Literatur für die Verteilung von Sealer noch nicht eingesetzte Methode der Applikation mit der CanalBrush wurde mit zwei Methoden (Lentulo und Ultraschall) verglichen, die bisher bei der Sealerverteilung im Wurzelkanal die besten Ergebnisse erzielten bzw. schon als Standard gelten (GUIMARÃES et al. 2014, HALL et al. 1996, KAHN et al. 1997, WU et al. 2010b). Methoden, die in früheren Studien schlechtere Resultate erzielt hatten, wie die Applikation mit Papierspitzen, Guttaperchapoints und K-Feilen (WIEMANN und WILCOX 1991, HOEN et al. 1988, AGUIRRE et al. 1997, HALL et al. 1996, KAHN et al. 1997, GUIMARÃES et al. 2014) wurden nicht in die Studie aufgenommen. Die CanalBrush wurde in bisherigen Studien lediglich zur Reinigung des Wurzelkanals von Debris und Smear Layer benutzt (AL-ALI et al. 2012, GARIP et al. 2010, KAMEL und KATAIA 2014, RÖDIG et al. 2010a, SALMAN et al. 2010, TOPCUOGLU et al. 2014).

In der vorhandenen Literatur sind unterschiedliche Zeiten für die Verteilung von Sealer im Wurzelkanal zu finden. WIEMANN und WILCOX (1991) wendeten Lentulo und Ultraschall jeweils fünf Sekunden im Kanal an. HOEN et al. (1988) und WEST et al. (1989) setzten im Vergleich dazu K-Reamer und Ultraschall in ihren Untersuchungen jeweils 30 Sekunden ein. GUIMARÃES et al. (2014) benutzten einen ultraschallaktivierten Spreader sogar insgesamt 40 Sekunden. Bei AGUIRRE et al. (1997) und KAHN et al. (1997) befanden sich die verschiedenen Applikationshilfen je 10 Sekunden lang im Wurzelkanal. Zusammenfassend kamen die unterschiedlichen Methoden der Sealerverteilung 5-40 Sekunden zum Einsatz. HALL et al. (1996) und WU et al. (2000b) machten keine Zeitangaben. WU et al. (2000b) führten mit dem Lentulo stattdessen eine sechsmalige Auf- und Abbewegung durch. In der Studie von HALL et al. (1996) wurden K-Feile, Lentulo und Guttaperchastift in ähnlicher Weise fünf Mal auf und ab bewegt. Angelehnt an AGUIRRE et al. (1997) und KAHN et al. (1997) betrug die Arbeitszeit in der vorliegenden Studie für jede Technik der Sealerverteilung insgesamt 10 Sekunden (zwei Mal fünf Sekunden). Die Proben wurden, wie in vergleichbaren Studien, nach der Sealerapplikation bei 100% Luftfeuchtigkeit und 37 °C gelagert (AGUIRRE et al. 1997, GUIMARÃES et al. 2014, HALL et al. 1996, HOEN et al. 1988, KAHN et al. 1997, WEST et al. 1989, WIEMANN und WILCOX 1991, WU et al. 2000b), um die Verhältnisse im Mund nachzuempfinden. Die Verwendung von AH Plus als Sealer

war dabei von Vorteil, da AH Plus in Gewebeflüssigkeit kaum löslich ist, wie dies zum Beispiel bei den Kalziumhydroxidsealern Sealapex oder CRCS der Fall ist (SOARES et al. 1990, TAGGER et al. 1988, WU et al. 1995). Zum anderen besitzt AH Plus aber auch eine gute Fließfähigkeit (WEISMANN 1970) und eine optimale Korngröße. Der Sealer ist nicht zu dickflüssig, aus diesem Grund kann AH Plus besser in Unebenheiten gelangen, er ist dennoch nicht zu dünnflüssig, so besteht eine geringere Gefahr des Überpressens über die Wurzelspitze hinaus. Das Vorgängerpräparat AH 26 wurde in vielen Studien verwendet (AGUIRRE et al. 1997, GUIMARÃES et al. 2014, HALL et al. 1996, HOEN et al. 1988, KAHN et al. 1997, WEST et al. 1989, WIEMANN und WILCOX 1991, WU et al. 2000b), aber auch AH Plus wird oft schon als Standardmaterial benutzt (NAWAL et al. 2011)

Um die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit denen anderer Studien vergleichen zu können, wurde auch in dieser Studie AH Plus als Sealer verwendet.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Im Ergebnis der Untersuchung zeigten beide Auswerter jeweils für die interindividuelle Übereinstimmung als auch für die intraindividuelle Reproduzierbarkeit eine hohe Übereinstimmung von über 80%.

Die Fragestellungen dieser Untersuchung waren:

- Gibt es Unterschiede zwischen der CanalBrush, einem Lentulo und einer ultraschallaktivierten Feile bei der Sealerverteilung im Wurzelkanal?
- Gibt es Unterschiede zwischen den einzelnen Kanalabschnitten (apikal, mittel, koronal)?
- Gibt es signifikante Unterschiede bei der Verteilung von Sealer in simulierten unter sich gehenden Bereichen im schwierigen apikalen Kanaldrittel?

Bei der Betrachtung der Kanalwände nach Präparation bis zu einem Kanaldurchmesser der ISO-Größe 35 erzielte die CanalBrush im apikalen, mittleren und koronalen Abschnitt jeweils signifikant bessere Ergebnisse im Vergleich zu Ultraschall und Lentulo. Bei Behandlung von Wurzelkanälen mit einem Kanaldurchmesser der ISO-Größe 45 erzielte die CanalBrush auch bessere Ergebnisse als die beiden anderen Methoden. Im apikalen Bereich unterschieden

sich die Ergebnisse aber nicht signifikant von denen des Lentulos. Daraus lässt sich schließen, dass die CanalBrush gut geeignet ist zur Verteilung von Sealer in Wurzelkanälen, die bis zur ISO-Größe 35 oder 45 präpariert wurden. Besonders in Wurzelkanälen mit Präparation bis zur ISO- Größe 35 sind mit der CanalBrush bessere Ergebnisse zu erzielen als mit anderen Techniken. Bei Betrachtung der Sealerverteilung in den Gruben, die speziell zur Untersuchung der apikalen Region angefertigt wurden, erreichte die CanalBrush bei einer Präparationsgröße ISO 35 ebenfalls die besten Ergebnisse aller drei getesteten Methoden. Allerdings mussten in dieser Gruppe (Präparation bis ISO-Größe 35) fünf Proben aus der Untersuchung heraus genommen werden, da die Borsten der CanalBrush sich so verdrillten und in den Proben stecken blieben, dass die Auswerter dadurch auf die Methode hätten schließen können. Eine Erwähnung in ähnlicher Weise verdrillter und in Proben verloren gegangener CanalBrush- Borsten lässt sich bisher nur einmal in der Literatur finden (GRISCHKE 2011). Hier wurde allerdings die Entfernung von Sealer mit unterschiedlichen Spültechniken untersucht.

Bei den Proben mit der Präparationsgröße ISO 45 traten keine derartigen Verdrillungen der Borsten auf. In dieser Gruppe unterschieden sich die Ergebnisse bei Betrachtung der Sealerverteilung in den Gruben für die CanalBrush und den Lentulo nicht signifikant. CanalBrush und Lentulo erreichten hier jedoch eine signifikant bessere Sealerverteilung als die ultraschallaktivierte Feile. Die als Standard geltende oder oft als Vergleich eingesetzte Methode der Sealerapplikation mit dem Lentulo (HOEN et al. 1988, WEST et al. 1989, WU et al. 2000b) erreichte in der vorliegenden Studie die zweitbesten Ergebnisse bzw. in einigen Bereichen gleich gute Ergebnisse wie die Applikation mit der CanalBrush. In Wurzelkanälen mit der Präparationsgröße ISO 35 erzielt der Lentulo bei Betrachtung der Kanalwände und der Gruben nach der CanalBrush die zweitbesten Resultate. In Wurzelkanälen mit der Präparationsgröße ISO 45 erreichte der Lentulo im apikalen Kanaldrittel genauso gute Ergebnisse wie die CanalBrush. Es lagen keine signifikanten Unterschiede vor. Dies gilt bei der Präparationsgröße ISO 45 auch für die präparierten Gruben. Hier gibt es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen Lentulo und CanalBrush. Es ist anzunehmen, dass sich die Ergebnisse durch die Tatsache begründen, dass der Lentulo aus einer Metallspirale besteht. Durch die Verdrillung soll der Transport von Sealer nach apikal verbessert werden. Anscheinend ist dieser Effekt umso größer, je größer die Präparationsgröße des Wurzelkanals gewählt wurde. Jedoch

besteht bei zu langer Anwendung im Kanal die Gefahr des Überpressens von Sealer über den apikalen Bereich hinaus. Durch eine Limitation der Anwendung auf 10 Sekunden konnte in dieser Studie ein Überfüllen von Sealer vermieden werden. Bei Anfertigung der Fotografien der Proben konnte kein Überpressen von Sealer festgestellt werden. Die Metallspirale besitzt durch die leichte Verdrehung zudem eine größere Oberfläche als ein vergleichsweise gerades Metallinstrument. Jedoch entsteht bei der CanalBrush durch das Vorhandensein der Vielzahl an Borsten eine noch größere Oberfläche. An dieser kann vermutlich noch mehr Sealer haften bleiben als am Lentulo und dadurch besser nach apikal und gleichmäßiger im Kanal verteilt werden. Dass die häufigsten Variationen der Ergebnisse im apikalen Bereich entstehen, zeigen auch WIEMANN und WILCOX (1991). Im koronalen und mittleren Kanaldrittel kann scheinbar eine bessere Penetration von Sealer in offene Dentintubuli stattfinden als im apikalen Bereich (CHANDRA et al. 2012). WIEMANN und WILCOX (1991) begründen mit dem möglichen Vorhandensein von Restfeuchtigkeit im apikalen Kanalabschnitt die Variationen ihrer Ergebnisse in diesem Kanalbereich. In einer weiterführenden Studie konnten WILCOX und WIEMANN (1995) jedoch nachweisen, dass trotz der Anwendung von Alkohol zur Entfernung der Restfeuchtigkeit die beste Benetzung mit Sealer immer noch im koronalen Drittel erzielt wird und apikal keine besseren Ergebnisse erreicht werden konnten. GUIMARÃES et al. (2014) beschreiben, dass sich im apikalen Kanaldrittel weniger Dentintubuli befinden und die vorhandenen Dentintubuli möglicherweise verblockt sind, da Spüllösungen nur schwer den apikalen Kanalabschnitt erreichen und hier somit Smear Layer und Debris schlechter entfernt werden können.

Die Applikation mit der ultraschallaktivierten Feile erzielte in der vorliegenden Untersuchung oft schlechtere Ergebnisse als die beiden anderen Methoden. Im apikalen und mittleren Kanaldrittel in Wurzelkanälen mit der Präparationsgröße ISO 35 ist dies der Fall. Jedoch erzielte die ultraschallaktivierte Feile hier im koronalen Kanaldrittel bessere Ergebnisse als der Lentulo. Der gedreht geformte Lentulo ist vermutlich besser in der Lage, Sealer aufgrund seiner Form in Richtung des mittleren und apikalen Kanalabschnitts zu verteilen. Die ultraschallaktivierte Feile hingegen ist in der vorliegenden Studie nicht in der Lage, den Wurzelfüllzement in diesen Abschnitten optimal zu verteilen, sondern eher im koronalen Abschnitt. In Wurzelkanälen der Aufbereitungsgröße ISO 45 erreichte die ultraschallaktivierte Feile im koronalen Kanaldrittel die gleichen Ergebnisse wie der Lentulo, im mittleren

und im apikalen Kanalabschnitt aber die schlechtesten Ergebnisse aller drei Methoden. KAHN et al. (1997) stellten in ihrer Studie fest, dass der Lentulo neben dem Max-i-Probe-Delivery System besser geeignet ist, Sealer im Wurzelkanal zu verteilen als eine ultraschallaktivierte Feile. Jedoch in 4 mm Entfernung zum Apex konnten sie eine schlechtere Kanalwandbenetzung beobachten als 1 mm vom Apex entfernt. Sie vermuten, dass beim Herausziehen des Lentulos aus dem Wurzelkanal und aufgrund der verringerten bzw. fehlenden Rotation nach der Anwendung der Sealer wieder teilweise von der Kanalwand abgestreift wurde. 4 mm vom Apex entsprechen allerdings in der vorliegenden Studie dem Übergang vom apikalen zum mittleren Kanaldrittel. Diese Theorie könnte man trotzdem auf die hier gezeigte Studie übertragen. Im koronalen Kanaldrittel könnte der Lentulo in den kleiner präparierten Probendurchmessern (Präparationsgröße ISO 35) beim Herausziehen tatsächlich den Sealer wieder etwas von der Wand abgestreift haben. Die ultraschallaktivierte Feile hingegen nicht, da diese auch graziler ist und einen geringeren Durchmesser besitzt als der Lentulo. Dies erklärt vielleicht, warum die ultraschallaktivierte Feile, die in allen Bereichen die schlechteren Resultate zeigt, gerade im koronalen Bereich der Präparationsgröße ISO 35 besser abschneidet als der Lentulo. Auch in den simulierten unter sich gehenden Bereichen schnitten für beide Präparationsgrößen wieder die beiden anderen Methoden CanalBrush und Lentulo besser ab als die ultraschallaktivierte Feile.

Zusammenfassend ist ein Einbringen mit Hilfe einer ultraschallaktivierten Feile im Vergleich mit den beiden anderen Methoden also nicht so gut geeignet, Sealer in apikalen bzw. mittleren Kanalabschnitten und auch nicht in schwierigen unter sich gehenden Bereichen an der Kanalwand zu verteilen. Die Verteilung von Sealer im Wurzelkanal mit einer ultraschallaktivierten Feile wurde bereits mehrfach in der Literatur untersucht. AGUIRRE et al. (1997), GUIMARÃES et al. (2014), HOEN et al. (1988) und WEST et al. (1989) erreichten jeweils mit einer durch Ultraschall aktivierten Feile die besseren Ergebnisse. Dies steht zunächst im Widerspruch zu den Resultaten der vorliegenden Studie. Allerdings ist dieser Vergleich sehr problematisch, da HOEN et al. (1988) und WEST et al. (1989) als Vergleichsmethode eine Applikation mit einem manuell geführten K-Reamer benutzten. Auch AGUIRRE et al. (1997) verglichen eine per Hand angewendete Ultraschallfeile mit einer Ultraschallfeile, die hochfrequent schwingend aktiviert wurde. In diesen Untersuchungen wurde also eine Methode zum Vergleich benutzt,

die in anderen Studien (HALL et al. 1996, KAHN et al. 1997) gegenüber maschinell angewendeten Methoden wie z.B. dem Lentulo schlechtere Ergebnisse erzielte. Es ist demnach nicht überraschend, dass AGUIRRE et al. (1997), HOEN et al. (1988) und WEST et al. (1989) durch Ultraschallaktivierung bessere Ergebnisse erzielen konnten. In der Studie von AGUIRRE et al. (1997) wurde zusätzlich der Einfluss von Ultraschall auf drei verschiedene Sealerarten geprüft. Dabei konnte lediglich für den Wurzelkanalsealer CRCS ein signifikant besseres Ergebnis erreicht werden. Bei Anwendung der anderen beiden Sealer (einer davon: AH 26) gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen einer manuellen Methode (Ultraschallfeile ohne Aktivierung) und einer ultraschallaktivierten Feile. Durch die Verwendung mehrerer Sealer und auch die Tatsache, dass AGUIRRE et al. (1997) nur 2 Messstellen betrachten (3 mm und 7 mm vom Apex entfernt) lassen sich die Ergebnisse nur eingeschränkt mit der vorliegenden Studie vergleichen. HOEN et al. (1988) und WEST et al. (1989) verwendeten nur AH 26. GUIMARÃES et al. (2014), die auch vier verschiedene Sealerarten verwendeten, verteilten zunächst den Sealer mit einem Lentulo, bevor dieser bei der Hälfte der Proben über einen ultraschallaktivierten Spreader nochmals weiter verteilt wurde. Dies ist die einzige Studie, in der eine Ultraschallaktivierung mit einer anderen maschinellen Methode verglichen wurde und dabei bessere Ergebnisse erzielte. Aber auch hier erreichte nur einer der Sealer die besseren Ergebnisse. Im apikalen Kanaldrittel (2 mm vom Apex entfernt) konnten GUIMARÃES et al. (2014) eine bessere Benetzung der Kanalwand feststellen, wenn AH Plus mit einer ultraschallaktivierten Feile verteilt wurde. Sie vermuten eine bessere Adhäsion von AH Plus zur Kanalwand im Vergleich zu den anderen angewendeten Wurzelkanalsealern. Eine ultraschallaktivierte Feile soll durch Aktivierung die Flowrate erhöhen und somit den Sealer „verflüssigen“, um ihn besser in das apikale Kanaldrittel zu transportieren. HOEN et al. (1988) konnten jedoch in ihrer Studie beobachten, dass nach Anwendung von ultraschallaktivierten Feilen die Abbindezeit des verwendeten Sealers AH 26 drastisch verkürzt wurde. Einige Sekunden nach Entfernung der Ultraschallfeile aus dem Kanal begann AH 26, verursacht durch die Schwingungen und die damit erzeugte Wärme, zu erhärten. Eine solche Beobachtung konnte in der vorliegenden Studie nicht gemacht werden. Die Aktivierungszeit betrug zudem nur 10 Sekunden und nicht wie bei HOEN et al. (1988) 30 Sekunden. Auch muss bedacht werden, dass nach der Sealerverteilung meist eine Wurzelfüllung mit lateraler Kondensation oder einer anderen Fülltechnik

mit Guttapercha erfolgte (AGUIRRE et al. 1997, GUIMARÃES et al. 2014, HALL et al. 1996, WEST et al. 1989, WIEMANN und WILCOX 1991, WU et al. 2000b). Lediglich bei HOEN et al. (1988) und KAHN et al. (1997) erfolgte keine laterale Kondensation. In der vorliegenden Studie wurde nach der Sealerverteilung keine weitere Füllung des Kanalsystems vorgenommen.

WIEMANN und WILCOX (1991) und HALL et al. (1996) stellten nach der lateralen Kondensation keinen signifikanten Unterschied mehr zwischen den verschiedenen Methoden der Kanalwandbenetzung fest, HALL et al. (1996) konnten lediglich eine Tendenz zum besseren Abschneiden des Lentulos angeben. WU et al. (2000b) wiesen nach, dass in einigen Fällen durch die anschließende Fülltechnik mit Guttapercha Sealer wieder von der Kanalwand entfernt wird. Im Gegensatz dazu zeigten WEST et al. (1989), dass auch nach der lateralen Kondensation eine bessere Benetzung der Kanalwand mit Hilfe von Ultraschall erreicht werden kann als mit Handinstrumenten.

In einer weiterführenden Studie könnte untersucht werden, ob es Unterschiede in Abhängigkeit von der Fülltechnik gibt. Ebenso wünschenswert wäre eine Untersuchung zur Ursache der Verdrillung der CanalBrush-Borsten. In künstlichen Kanalmodellen (durchsichtige Plastikblöcke mit einem simulierten Kanal) könnte verfolgt werden, wie und warum sich die Borsten verdrillen.

Weiterhin wäre von Interesse, ob und inwieweit sich die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse zur Sealerverteilung auf gekrümmte Wurzelkanäle übertragen lassen.

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

1. Die CanalBrush ist besser zur Sealerverteilung im Wurzelkanal geeignet als die Applikation mit Ultraschall oder einem Lentulo.
2. Die CanalBrush ist in Kanälen mit kleineren Präparationsdurchmessern besser in der Lage, schwer erreichbare, unter sich gehende Stellen zu füllen, als die beiden anderen Methoden.
3. Der Lentulo ist besonders in Kanälen mit größeren Präparationsdurchmessern teilweise genauso gut geeignet wie die CanalBrush, Sealer im Wurzelkanal zu verteilen.
4. Die ultraschallaktivierte Feile ist im Vergleich mit den beiden anderen Methoden in Kanälen mit kleineren Präparationsdurchmessern und unter sich gehenden Bereichen nicht so gut geeignet, Sealer im Wurzelkanal zu verteilen.
5. In engen Wurzelkanälen scheint es ein erhöhtes Risiko der Verdrillung und Fraktur der Plastikborsten oder des Bürstkopfes der CanalBrush zu geben. Ob und wie einfach sich diese Borsten und Bürstenanteile wieder entfernen lassen, ist ungeklärt.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Studie: Ziel der Studie war es, drei verschiedene Methoden der Sealerverteilung in geraden Wurzelkanälen mit zwei unterschiedlichen Präparationsgrößen zu untersuchen und miteinander zu vergleichen. Darüber hinaus sollten die verschiedenen Kanaldrittel untersucht und besonders das apikale Kanaldrittel, in dem simulierte unter sich gehenden Bereiche angelegt worden waren, betrachtet werden.

Material und Methode: 150 extrahierte humane Frontzähne oder einwurzelige Prämolaren mit rundem Kanalquerschnitt wurden zufällig in zwei Gruppen aufgeteilt,

mit FlexMaster-Instrumenten bis zur ISO Größe 35 bzw. 45 präpariert und längs gespalten. Im apikalen Kanaldrittel wurde jeweils in einer der Wurzelkanalhälften eine definierte Kavität präpariert. Die Kanalhälften wurden wieder zusammengefügt und die zwei Gruppen (Präparationsgröße ISO 35 und 45) jeweils randomisiert in drei Gruppen à 20 Zähne unterteilt. Mit drei unterschiedlichen Methoden wurde der Sealer AH Plus in den Wurzelkanälen verteilt (Lentulo, ultraschallaktivierte Feile und CanalBrush). Nach Aufbewahrung der Proben im Brutschrank wurden die Kanalhälften für die Auswertung mit einem Scoresystem wieder getrennt. Hierfür wurde von jeder Kanalhälfte mit Hilfe eines Auflichtmikroskopes mit Digitalkamera ein 20-fach vergrößertes Foto der Kanalwände und zusätzlich von den definierten Kavitäten ein 40-fach vergrößertes Foto erstellt. Die statistische Analyse wurde mit Hilfe eines nicht parametrischen *repeated-measures*-ANOVA- Tests durchgeführt.

Ergebnisse: Die Studie zeigte signifikante Unterschiede zwischen den drei angewendeten Methoden und den zwei unterschiedlichen Präparationsgrößen sowie in der Betrachtung der Gruben und Kanalwände. Bei Betrachtung der Benetzung der Kanalwände zeigte die CanalBrush für beide Präparationsgrößen sowie in allen Kanalabschnitten signifikant die besten Ergebnisse bzw. einmal gleiche Ergebnisse wie der Lentulo. Die ultraschallaktivierte Feile erzielte bis auf eine Ausnahme die schlechtesten Resultate. Bei Betrachtung der Füllung der Gruben erreichte die CanalBrush durchgängig signifikant bessere Ergebnisse bzw. die gleichen Ergebnisse wie der Lentulo. Die ultaschallaktivierte Feile schnitt auch hier signifikant schlechter ab.

Schlussfolgerung: Die CanalBrush ist zur Sealerverteilung im geraden Wurzelkanal am besten geeignet, vor allem im apikalen Drittel von Kanälen mit kleiner präpariertem Kanaldurchmesser. Besonders in diesem Bereich verteilt die CanalBrush den Sealer auch in schwer zugänglichen unter sich gehenden Bereichen. Jedoch muss gleichzeitig gerade in engen Kanälen das Risiko der Verdrillung und des Verlustes der CanalBrush-Borsten im Wurzelkanal bedacht werden.

Die Nullhypothese konnte widerlegt werden.

9. LITERATURVERZEICHNIS

AGUIRRE AM, EL DEEB ME, AGUIRRE R (1997):

The Effect of Ultrasonics on Sealer Distribution and Sealing of Root Canals.

J Endod 23, 759-764.

AL-ALI M, SATHORN C, PARASHOS P (2012):

Root canal debridement efficacy of different final irrigation protocols.

Int Endod J 45, 898–906.

ALMEIDA JFA, GOMES BPFA, FERRAZ CCR, SOUZA-FILHO FJ, ZAIA AA (2007):

Filling of artificial lateral canals and microleakage and flow of five endodontic sealers.

Int Endod J 40, 692–699.

AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS (AAE):

Appropriateness of care and quality assurance guidelines. 3. Auflage;

Chicago 1998.

BADOLE GP, WARHADPANDE MM, MESHAM GK, BAHADURE RN, TAWANI SG, TAWANI G, BADOLE SG (2013):

A comparative evaluation of cytotoxicity of root canal sealers: an in vitro study.

Restor Dent Endod 38, 204-209.

BARTHEL CR, LÖSCHE GM, ZIMMER S, ROULET JF (1994):

Dye Penetration in Root Canals Filled with AH 26 in different Consistencies.

J Endod 20, 436–439.

BELTES P, KOULAOUZIDOU E, KOTOULA V, KORTSARIS AH (1995):

In vitro evaluation of the cytotoxicity of calcium hydroxide-based root canal sealers.

Endod Dent Traumatol 11, 245–249.

BERNARDES RA, DE AMORIM CAMPELO A, JUNIOR DSS, PEREIRA LO, DUARTE MAH, MORAES IG, BRAMANTE CM (2010):

Evaluation of the flow rate of 3 endodontic sealers: Sealer 26, AH Plus, and MTA Obtura.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 109, e47-e49.

BLACK GV:

Konservierende Zahnheilkunde. Band II: Die Technik des Zahnfüllens.

Hermann Meusser, Berlin 1914.

BLOCK RM, LEWIS RD, HIRSCH J, COFFEY J, LANGELAND K (1983):

Systemic Distribution of [¹⁴ C]-labeled Paraformaldehyde.

J Endod 9, 176–189.

BRISENO BM, WILLERSHAUSEN B (1991):

Root Canal Sealer Cytotoxicity on Human Gingival Fibroblasts: II. Silicone- and Resin-based Sealers.

J Endod 17, 537–540.

BRODIN P, ROED A, AARS H, ØRSTAVIK D (1982):

Neurotoxic effects of root canal filling materials on rat phrenic nerve in vitro.

J Dent Res 61, 1020-1023.

BUSSER H:

Untersuchungen über das Wurzelfüllmaterial Diaket.

Med. Diss. o.O. 1951.

BYSTRÖM A, GLAESSON R, SUNDQVIST G (1985):

The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals.

Endod Dent Traumatol 1, 170–175.

CAPAR ID, OZCAN E, ARSLAN H, ERTAS H, AYDINBELGE HA (2014):

Effect of different final irrigation methods on the removal of calcium hydroxide from an artificial standardized groove in the apical third of root canals.

J Endod 40, 451–454.

CHANDRA SS, SHANKAR P, INDIRA R (2012):

Depth of penetration of four resin sealers into radicular dentinal tubules: a confocal microscopic study.

J Endod 38, 1412-1416.

DA SILVA PT, PAPPEN FG, SOUZA EM, DIAS JE, BONETTI FILHO I, CARLOS IZ, LEONARDO RT (2008):

Cytotoxicity evaluation of four endodontic sealers.

Braz Dent J 19, 228–231.

DALAT DM, SPÅNGBERG LSW (1994):

Comparison of Apical Leakage in Root Canals Obturated with Various Gutta-percha Techniques Using a Dye Vacuum Tracing Method.

J Endod 20, 315–319.

DAVIS SR, BRAYTON SM, GOLDMANN M (1972):

The morphology of the prepared root canal: A study utilizing injectable silicone.

Oral Surg 34, 642–648.

DE DEUS QD (1975):

Frequency, location and direction of the lateral, secondary, and accessory canals.

J Endod 1, 361–366.

DE GEE AJ, WU MK, WESSELINK PR (1994):

Sealing properties of Ketac-Endo glass ionomer cement and AH26 root canal sealers.

Int Endod J 27, 239–244.

**DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERHEILKUNDE
(DGZMK) (1997):**

Anwendung aldehydfreisetzender zahnärztlicher Materialien.

Dtsch Zahnärztl Z 52, 772.

**DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERHEILKUNDE/
DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZAHNERHALTUNG (DGZMK/DGZ) (2000):**

Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte.

Dtsch Zahnärztl Z 55, 9.

**DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZAHN-, MUND- UND KIEFERHEILKUNDE/
DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZAHNERHALTUNG (DGZMK/DGZ) (2005):**

"Good clinical practice": Die Wurzelkanalbehandlung.

Dtsch Zahnärztl Z 60, 8.

EL AYOUTI A, CHU AL, KIMIONIS I, KLEIN C, WEIGER R, LÖST C (2008):

Efficacy of rotary instruments with greater taper in preparing oval root canals.

Int Endod J 41, 1088-1092.

EBERT J, PETSCHOLT A:

Sealing ability of a new silicone- based sealer under different conditions.

Posterpräsentation, ESE- Kongress, Göteborg Schweden 12. bis 14. Juni 1997.

EBERT J, LOEFFLER H, ZELS H, PETSCHOLT A:

Sealing ability of RoekoSeal-Automix under different conditions.

Posterpräsentation, IADR- Tagung, Vancouver Kanada, 12. März 1999.

EL DEEB ME (1985):

The Sealing Ability of Injection-molded Thermoplasticized Guttapercha.

J Endod 11, 84–86.

EUROPEAN SOCIETY OF ENDODONTOLOGY (ESE) (1994):

Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung: Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie.

Endodontie 3, 263-276.

EUROPEAN SOCIETY OF ENDODONTOLOGY (ESE) (2004):

Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung: Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie.

Endodontie 13, 278.

FEIGLIN B (1987):

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

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 63, 371–374.

GARIP Y, SAZAK H, GUNDY M, HATIPOGLU S (2010):

Evaluation of smear layer removal after use of a canal brush: an SEM study.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 110, e62-e66.

GERCKENS BM, HÜLSMANN M, KRÜGER W (1992):

Vergleichende Untersuchung verschiedener Wurzelfüllmaterialien auf Zytotoxizität.

Dtsch Zahnärztl Z 47, 194-197.

GEROSA R, BORIN M, MENEGAZZI G, PUTTINI M, CAVALLERI G (1996):

In Vitro Evaluation of the Cytotoxicity of Pure Eugenol.

J Endod 22, 532–534.

GETTLEMAN BH, MESSER HH, EL DEEB ME (1991):

Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer.

J Endod 17, 15.

GEURTSSEN W (2001):

Biocompatibility of Root Canal Filling Materials.

Aust Endod J 27, 12–21.

GRADE AC (1995):

Eugenol in Wurzelkanalzementen als mögliche Ursache für eine Urtikaria.
Endodontie 4, 121.

GREEN D (1955):

Morphology of the pulp cavity of the permanent teeth.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 8, 743–759.

GRISCHKE J:

Vergleichende Untersuchung der Effektivität vier verschiedener Spültechniken zur Entfernung eines Wurzelkanalsealers.
Med. Diss. Göttingen 2011.

GROSSMAN LI:

Endodontic Practice. 11 Auflage;
Lea & Febiger, Philadelphia 1988, 255 ff.

GROSSMAN LI, TATOIAN J (1978):

Paresthesia from N2.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 46, 700–701.

GUIMARÃES BM, AMOROSO-SILVA PA, ALCALDE MP, MARCIANO MA, BOMBARDA DE ANDRADE F, HUNGARO DUARTE MA (2014):

Influence of Ultrasonic Activation of 4 Root Canal Sealers on the Filling Quality.
J Endod 40, 964–968.

GULDNER PHA, LANGE LAND K:

Endodontologie-Diagnostik und Therapie.
Thieme, Stuttgart 1982.

HALL MC, CLEMENT DJ, DOVE SB, WALKER WA (1996):

A Comparison of Sealer Placement Techniques in Curved Canals.
J Endod 22, 638–642.

HATA G, KAWAZOE S, TODA T, WEINE FS (1992):

Sealing Ability of Thermafil with and without Sealer.

J Endod 18, 322–326.

HELLWIG E, KLIMEK J, ATTIN T:

Einführung in die Zahnerhaltung. 4. Auflage;

Urban & Fischer, München 2007, 295-341.

HENSTEN-PETTERSEN A, ØRSTAVIK D, WENNEBERG A (1985):

Allergenic potential of root canal sealers.

Endod Dent Traumatol 1, 61–65.

HESS W (1917):

Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apicale.

Schweiz Vjschr Zahnheilk 27, 1–53.

HOEN MM, LA BOUNTY GL, KELLER DL (1988):

Ultrasonic Endodontic Sealer Placement.

J Endod 14, 169–174.

HOOVER J, THOMA GW, MADDEN RM (1980):

The effect of endodontic sealers on bone.

J Endod 6, 586–590.

HÜLSMANN M (1991):

Die Wurzelkanalfüllung: Materialien und Techniken.

Zahnärztl Mitt 81, 872-877.

HÜLSMANN M:

Endodontie, Checklisten der Zahnmedizin.

Thieme, Stuttgart 2008.

HÜLSMANN M, FRANZ B. LORCH V (1996):

Reproduzierbarkeit des Periapical Probability Index (PRI).

Zahnärztl Welt 105, 366-372.

INGLE JI, BEVERIDGE EE, GLICK DH, WEICHMANN JA:

The Washington study.

In: Endodontics. 4. Auflage; hrsg.v. Ingle JI, Bakland LK

Williams & Wilkins, Baltimore 1994, 25.

INGLE JI, BAKLAND LK, BEVERIDGE EE, GLICK DH, HOSKINSON AE:

Modern Endodontic Therapy

In: Endodontics. 5. Auflage; hrsg.v. Ingle JI, Bakland LK

Williams & Wilkins, Baltimore 2002, 1.

KAHN FH, ROSENBERG PA, SCHERTZER L, KORTHALS G, NGUYEN PNT (1997):

An in-vitro evaluation of sealer placement methods.

Int Endod J 30, 181–186.

KAMEL WH, KATAIA EM (2014):

Comparison of the efficacy of smear clear with and without a canal brush in smear layer and debris removal from instrumented root canal using WaveOne versus ProTaper: a scanning electron microscopic study.

J Endod 40, 446–450.

KASAHARA E, YASUDA E, YAMAMOTO A, ANZAI M (1990):

Root canal system of the maxillary central incisor.

J Endod 16, 158–161.

KOCH A, HÜLSMANN M (1993):

Kieferhöhlenaspergillose und Wurzelkanalbehandlung.

Endodontie 3, 181-189.

LAMBRIANDIS T, KOSTI E, BOUTSIOUKIS C, MAZINIS M (2006):

Removal efficacy of various calcium hydroxide/chlorhexidine medicaments from the root canal.

Int Endod J 39, 55-61.

LANGELAND K (1974):

Root canal sealants and pastes

Dent Clin North Am 18, 309-327.

LEE SJ, WU MK, WESSELINK PR (2004):

The effectiveness of syringe irrigations and ultrasonic to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls.

Int Endod J 37, 672–678.

LEONARDO MR, SILVA LA, ALMEIDA WA, UTRILLA LS (1999):

Tissue response to an epoxy resin-based root canal sealer.

Endod Dent Traumatol 15, 28–32.

LEWIS BB, CHESTNER SB (1981):

Formaldehyde in dentistry: a review of mutagenic and carcinogenic potential.

J Am Dent Assoc 103, 429.

LEYHAUSEN G, HEIL J, REIFFERSCHIED G, WALDMANN P, GEURTSSEN W (1999):

Genotoxicity and Cytotoxicity of the Epoxy Resin-Based Root Canal Sealer AH Plus.

J Endod 25, 109–113.

LIMKANGWALMONGKOL S, BURTSCHER P, ABBOTT PV, SANDLER AB, BISHOP BM (1991):

A Comparative Study of the Apical Leakage of Four Root Canal Sealers and Laterally Condensed Guttapercha.

J Endod 17, 495–499.

LIMKANGWALMONGKOL S, ABBOTT PV, SANDLER AB (1992):

Apical Dye Penetration with Four Root Canal Sealers and Guttapercha Using Longitudinal Sectioning

J Endod 18, 535-539.

MAMOOTIL K, MESSER HH (2007):

Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo.

Int Endod J 40, 873–881.

MATSUMOTO K, INOUE K, MATSUMOTO A (1989):

The effect of newly developed root canal sealers on rat dental pulp cells in primary culture.

J Endod 15, 60–67.

MEYER, W (1970):

Die Anatomie der Wurzelkanäle, dargestellt an mikroskopischen Rekonstruktionsmodellen.

Dtsch Zahnärztl Z 25, 1064-1077.

MICHANOWICZ A, CZONSTKOWSKY M (1984):

Sealing Properties of an Injection-thermoplasticized Low-temperature (70°C) Guttapercha: A preliminary Study.

J Endod 10, 563–566.

MICHANOWICZ AE, CZONSTKOWSKY M, PIESCO NP (1986):

Low-temperature (70 degrees C) injection Gutta-percha: a scanning electron microscopic investigation.

J Endod 12, 64–67.

MICHEL K.:

Wurzelkanalbehandlung im Jahre 1990, Instrumente, Materialien und Methoden.

Med. Diss., Giessen 1993.

MILETIĆ I, ANIĆ I, PEZELJ-RIBARIĆ S, JUKIĆ S (1999):

Leakage of five root canal sealers.

Int Endod J 32, 415–418.

MILETIĆ I, PEZELJ-RIBARIĆ S, KARLOVIĆ Z, JUKIĆ S, BOŠNJAK A, ANIĆ I (2002):

Apical Leakage of Five Root Canal Sealers After One Year of Storage.

J Endod 28, 431–432.

MILETIĆ I, DEVČIĆ N, ANIĆ I, BORČIĆ J, KARLOVIĆ Z, OSMAK M (2005):

The Cytotoxicity of RoekoSeal and AH Plus Compared during Different Setting Periods.

J Endod 31, 307–309.

MORSE DR, MARTELL B, PIKE CG, FANTASIA J, ESPOSITO JV, FURST ML (1984):

A Comparative Tissue Toxicity of Guttapercha Root Canal Sealers. Part II. Forty-eight-Hour Findings.

J Endod 10, 484–486.

NAWAL RR, PARANDE M, SEHGAL R, RAO NR, NAIK A (2011):

A comparative evaluation of 3 root canal filling systems.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 111, 387-393.

O`NEILL KJO, PITTS DL, HARRINGTON GW (1983):

Evaluation of the Apical Seal Produced by the McSpadden Compactor and by Lateral Condensation with a Chloroform-softened Primary Cone.

J Endod 9, 190–197.

ØRSTAVIK D (1983):

Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water.

Scand J Dent Res 91, 316-319.

ØRSTAVIK D (2005):

Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing.

Endodontic Topics 12, 25–38.

ØRSTAVIK D, MJÖR IA (1988):

Histopathology and X-ray Microanalysis of the Subcutaneous Tissue Response to Endodontic Sealers.

J Endod 14, 13–23.

ØRSTAVIK D, KEREKES K, ERIKSEN HM (1987):

Clinical performance of three endodontic sealers.

Endod Dent Traumatol 3, 178–186.

ÖZOK AR, VAN DER SLUIS LWM, WU MK, WESSELINK PR (2008):

Sealing Ability of a New Polydimethylsiloxane-based Root Canal Filling Material.

J Endod 34, 204–207.

PAQUÉ F, BALMER M, ATTIN T, PETERS OA (2010):

Preparation of Oval-shaped Root Canals in Mandibular Molars Using Nickel-Titanium Rotary Instruments: A Micro-computed Tomography Study.

J Endod 36, 703–707.

PETSCHLT A, OBERSCHACHTSIEK H (1985):

Wandständigkeit verschiedener Wurzelfüllmaterialien bei Zentralstifttechnik (REM-Untersuchung).

Dtsch Zahnärztl Z 40, 308-311.

PETERS LB, WESSELINK PR, MOORER WR (1995):

The fate and the role of bacteria left in root dentinal tubules.

Int Endod J 28, 95-99.

PICHLER H (1930):

Die quantitative Seite des Problems der Wurzelkanalbehandlung.

Z Stomatol 28, 279.

RAY H, SELTZER S (1991):

A new glass ionomer root canal sealer.

J Endod 17, 598-603.

RÖDIG T, DÖLLMANN S, KONIETSCHKE F, DREBENSTEDT S, HÜLSMANN M (2010a):

Effectiveness of Different Irrigant Agitation Techniques on Debris and Smear Layer Removal in Curved Root Canals: A Scanning Electron Microscopy Study.

J Endod 36, 1983–1987.

RÖDIG T, SEDGHI M, KONIETSCHKE F, LANGE K, ZIEBOLZ D, HÜLSMANN M (2010b):

Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo® and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes.

Int Endod J 43, 581-589.

RÖDIG T, VOGEL S, ZAPF A, HÜLSMANN M (2010c):

Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals.

Int Endod J 43, 519–527.

SALMAN M I, BAUMANN MA, HELLMICH M, ROGGENDORF MJ, TERMAAT S (2010):

SEM evaluation of root canal debridement with Sonicare CanalBrush irrigation.

Int Endod J 43, 363–369.

SCHÄFER E (2000):

Wurzelkanalfüllmaterialien.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 110, 849–861.

SCHÄFER E, LOHMANN D (2002):

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

Int Endod J 35, 514–521.

SCHÄFER E, ZANDBIGLARI T (2003):

Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva.

Int Endod J 36, 660–669.

SCHMALZ G (1987):

Modifikation des Kaninchen-Implantations-Tests zur biologischen Prüfung von Wurzelkanalfüllmaterialien.

Zahnärztl Praxis 38, 366-368.

SCHOTT, H:

Die Chronik der Medizin.

Chronik Verlag, Dortmund 1993.

SCHROEDER A (1954):

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

Schweiz Monatsschr Zahnheilk 64, 921-931.

SCHWEIKL H, SCHMALZ G (1991):

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

J Mater Sci Mater Med 2, 183–185.

SELTZER S, BENDER I B, ZIONTZ M (1963):

The interrelationship of pulp and periodontal disease.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 16, 1474–1490.

SKINNER RL, HIMEL VT (1987):

The Sealing Ability of Injection-molded Thermoplasticized Gutta-percha with and without the Use of Sealers.

J Endod 13, 315–317.

SOARES I, GOLDBERG F, MASSONE EJ, SOARES IM (1990):

Periapical Tissue Response to Two Calcium Hydroxide- containing Endodontic Sealers.

J Endod 16: 166–169.

SOLOMON C, CHALFIN H, KELLERT M, WESELEY P (1995):

The endodontic-periodontal lesion: a rational approach to treatment.

J Am Dent Assoc 126, 473–479.

SOUZA EM, WU MK, VAN DER SLUIS LW, LEONARDO RT, BONETTI-FILHO I, WESSELINK PR (2009):

Effect of filling technique and root canal area on the percentage of gutta-percha in laterally compacted root fillings.

Int Endod J 42, 719-726.

SPÅNGBERG L, LANGELAND K (1973):

Biologic effects of dental materials.

Oral Surg 35, 402–414.

SPÅNGBERG LSW, BARBOSA SV, LAVIGNE GD (1993):

AH 26 Releases Formaldehyde.

J Endod 19, 596–598.

STAMOS DE, GUTMAN JL, GETTLEMAN BH (1995):

In Vivo Evaluation of Root Canal Sealer Distribution.

J Endod 21, 177–179.

TAGGER M, TAGGER E, KFIR A (1988):

Release of Calcium and Hydroxyl Ions from Set Endodontic Sealers Containing Calcium Hydroxide.

J Endod 14, 588–591.

TAGGER M, KATZ A, TAMSE A (1994):

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

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 78, 225–231.

TAKAHARA K, ONODERA A, MATSUMOTO K (1990):

Toxicity of root canal sealers on rat bone cells in primary culture.

Endod Dent Traumatol 6, 200–207.

TASDEMIR T, CELIK D, YILDIRIM KET, CEYHANLI KT, YESILYURT C (2011):

Efficacy of several techniques for the removal of calcium hydroxide medicament from root canals.

Int Endod J 44, 505–509 .

TEPEL J, DARWISCH M, HOPPE W (1994):

Reaction of inflamed periapical tissue to intracanal medicaments and root canal sealers.

Endod Dent Traumatol 10, 233–238.

TOELLNER R:

Illustrierte Geschichte der Medizin. Band 4

Andreas und Andreas, Salzburg 1990, 1987.

TOPCUOGLU HS, TUNCAY Ö, DEMIRBUGA S, DINCER AN, ARSLAN H (2014):

The effect of different final irrigant activation techniques on the bond strength of an epoxy resin-based endodontic sealer: a preliminary study.

J Endod 40, 862–866.

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES (1985):

Public Health Service: Forth annual report on cancerogens PB 85-134663.

VAN DER SLUIS LWM, SHEMESH H, WU MK, WESSELINK PR (2007a):

An evaluation of the influence of passive ultrasonic irrigation on the seal of root canal fillings.

Int Endod J 40, 356–361.

VAN DER SLUIS, LWM, WU MK, WESSELINK, PR (2007b):

The evaluation of removal of calcium hydroxide paste from an artificial standardized groove in the apical root canal using different irrigation methodologies.

Int Endod J 40, 52–57.

VERTUCCI FJ (1984):

Root canal anatomy of the human permanent teeth.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 58, 589-599.

VERTUCCI FJ, SEELING A, GILLIS R (1974):

Root canal morphology of the human maxillary second premolar.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 38, 456-464.

VON FRAUENHOFER, JA, BRANSTETTER J (1982):

The physical properties of four endodontic sealer cements.

J Endod 8 126–130.

WEIS M, PARASHOS P, MESSER HH (2004):

Effect of obturation technique on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration.

Int Endod J 37, 653-663.

WEISE M, ROGGENDORF MJ, EBERT J, PETSCHOLT A, FRANKENBERGER R (2007):

Four methods for cleaning simulated lateral extensions of curved root canals: a SEM evaluation.

Int Endod J 40, 991-992.

WEISMANN MI (1970):

A study of the flow rate of ten root canal sealers.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 29, 255–261.

WENNEBERG A, ØRSTAVIK D (1990):

Adhesion of root canal sealers to bovine dentine and gutta-percha.

Int Endod J 23, 13.

WESSELINK PR (1995):

Die Wurzelkanalfüllung (I).

Endodontie 4, 181.

WEST LA, LA BOUNTY GL, KELLER DL (1989):

Obturation Quality Utilizing Ultrasonic Cleaning and Sealer Placement followed by Lateral Condensation with Guttapercha.

J Endod 15, 507–511.

WIEMANN AH, WILCOX LR (1991):

In Vitro Evaluation of Four Methods of Sealer Placement.

J Endod 17, 444–447.

WILCOX LR, WIEMANN AH (1995):

Effect of a final alcohol rinse on sealer coverage of obturated root canals.

J Endod 21, 256-258.

WITHWORTH J (2005):

Methods of filling root canals: principles and practices.

Endodontic Topics 12, 2–24.

WONG M, PETERS DD, LORTON I, BERNIER WE (1982):

Comparison of gutta-percha filling techniques: three chloroform- gutta-percha filling techniques, part 2.

J Endod 8, 4–9.

WRBAS KT, KIELBASSA AM, HELLWIG E (1998):

Das Wasseraufnahmeverhalten verschiedener Wurzelkanalsealer.

Dtsch Zahnärztl Z 53, 146-151.

WU MK, DE GEE AJ, WESSELINK PR (1994):

Leakage of four root canal sealers at different thicknesses.

Int Endod J 27, 304.

WU MK, WESSELINK PR, BOERSMA J (1995):

A one-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thickness.

Int Endod J 28, 185-189.

WU MK, FAN B, WESSELINK PR (2000a):

Diminished leakage along root canals filled with gutta-percha without sealer over time: a laboratory study.

Int Endod J 33, 121–125.

WU MK, ÖZOK AR, WESSELINK PR (2000b):

Sealer distribution in root canals obturated by three techniques.

Int Endod J 33, 340–345.

WU MK, RORIS A, BARKIS D, WESSELINK PR (2000c):

Prevalence and extent of long oval canals in the apical third.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 89, 739–743.

WU MK, VAN DER SLUIS LWM, WESSELINK PR (2004):

Fluid transport along gutta-percha backfills with and without sealer.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 97, 257–262.

YESILSOY C, KOREN LZ, MORSE DR, KOBAYASHI C (1988):

A comparative tissue toxicity evaluation of established and newer root canal sealers.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 65, 459–467.

ZHANG W, PENG B (2009):

Assessment of a new root canal sealer's apical sealing ability.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 107, e79-e82.

ZIAS J, NUMEROFF K (1987):

Operative dentistry in the second century BCE.

J Am Dent Assoc 114, 665-666.

10. ANHANG

10.1 Materialliste

AH Plus™	Dentsply De Trey, Konstanz, Deutschland
Bandsägemaschine	EXACT Apparatebau, Norderstedt, Deutschland
CanalBrush™	Coltene Whaledent, Langenau, Deutschland
diamantierte Trennscheibe	Renfert, Hitzlingen, Deutschland
digitale Messlehre	Mitutoyo, Neuss, Deutschland
EDTA	Lege Artis Pharma GmbH & Co KG, Dettenhausen, Deutschland
Endo IT professional- Motor und Handstück	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
Fingerspreader (<i>medium</i>)	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
Flex-Master® Feilen	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
Reamer (ISO 10 und 30)	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
Laborwaage	Sartorius, Berlin, Deutschland
Lentulo	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
MOTIC Ergonomic Trinokular	Motic Deutschland GmbH, Wetzlar, Deutschland
Zoom Stereo Mikroskop	
Moticam 1300 Digitalkamera	Motic Deutschland GmbH, Wetzlar, Deutschland
Natriumhypochlorit (3% und 1%)	Universitätsapothek Göttingen
Piezon Master- 400-	EMS, Nyon, Schweiz
Ultraschallgerät	
Silaplast	Dentax, Ettlingen, Deutschland
ultraschallaktivierte Feile (Endosonore File)	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz
Ultraschallgerät	Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland
Wachsmesser	Aesculap, Tuttlingen, Deutschland

DANKSAGUNG

Großer Dank gebührt zu allererst Prof. Dr. med. dent. Michael Hülsmann für die Vergabe und Betreuung dieser Arbeit, für seine Anregungen, Ideengebung und Kritik und vor allem für seine unendliche Geduld. Er war mir der beste Doktorvater, den man sich wünschen kann.

Desweiteren danke ich Dr. med. dent. Christian Holscher für die Betreuung bei der Durchführung des experimentellen Teils und der Funktion als 2. Untersucher. Unsere Zusammenarbeit mit allen Hochs und Tiefs ließ ihn für mich zu einem guten Freund werden.

Ich möchte weiterhin David Ellenberger für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse danken. Er hatte immer ein offenes Ohr und leistete schnelle Hilfe bei Fragen und Problemen.

LEBENS LAUF

Ich, Antje Müller, wurde am 03.07.1984 in Arnstadt geboren und bin ledig. Ich besitze die deutsche Staatsbürgerschaft und wohne am Käthe-Kollwitz-Ufer 74 in 01307 Dresden.

Von 1991 bis 1994 besuchte ich die Grundschule 5 in Arnstadt und weiterführend von 1994 bis 2003 das Neideckgymnasium in Arnstadt. 2003 legte ich das Abitur ab und erhielt das kleine Latinum.

Von September 2003 bis Februar 2004 arbeitete ich als Helferin für Soziale Dienste an der Volkshochschule Arnstadt-Ilmenau.

Von Februar 2004 bis März 2004 nahm ich an einem Einführungskurs an der Georg-August- Universität Göttingen teil. Im April 2004 begann ich mein Zahnmedizinstudium an der Georg- August- Universität Göttingen, welches ich im Juni 2009 erfolgreich mit Erhalt des Staatsexamens abschloss. 2007 und 2008 wirkte ich jeweils als Helfer beim Göttinger Symposium der Zahnmedizin mit.

Von September 2009 bis September 2011 arbeitete ich als Assistenzärztin in der Praxis von Dr. med. dent. Kerstin Herrmann-Langl in Göttingen. Von September 2011 bis Mai 2014 arbeitete ich als angestellte Zahnärztin ebenfalls in der Praxis von Dr. med. dent. Kerstin Herrmann-Langl.

Im Juni 2014 folgte aus familiären Gründen ein Umzug nach Dresden, seit Juni 2014 bin ich als angestellte Zahnärztin im Zahnmedizinischen Zentrum Dr. Z in Dresden beschäftigt.