

Aus Poliklinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Endodontologie

Direktor: Univ.- Prof. Dr. Wolfgang H. M. Raab

**Untersuchung zur Dichtigkeit eines experimentellen
Wurzelkanalfüllstifts**

Dissertation

**zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Zahnmedizin**

der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität

Düsseldorf

vorgelegt von

Sondos Gabris

2017

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. N. Klöcker

Referent: Prof. Dr. M. A. Ommerborn

Korreferent: Prof. Dr. P. Kienbaum

**In great gratitude dedicated to my parents
Nahla and Elias Gabris**

I. Zusammenfassung

Zu einer suffizienten Wurzelkanalbehandlung gehören die chemo-mechanische Aufbereitung sowie die Füllung des Wurzelkanals, wobei die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung grundlegende Bedingung für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung darstellt.

Das Ziel der vorliegenden Studie lag in dem Vergleich eines neuen Prototypen K-0142 mit anderen Füllmaterialien. Dazu sind fünf unterschiedliche Wurzelkanalfüllungen mittels des Glucosepenetrationstests auf ihre Dichtigkeit hin untersucht worden. Zu Beginn der Untersuchungen wurden 95 extrahierte menschliche Zähne in fünf verschiedene Gruppen aufgeteilt. Die zu vergleichenden Gruppen: Laterale Kondensation mit Guttapercha-, K-0142 (Prototyp)-, Thermafil[®]- AH Plus[™], Resilon[®]/Epiphany[®]SE[™] und GuttaFlow. Hier zu kamen eine positive und eine negative Kontrollgruppe mit jeweils zehn Zähnen.

In den Gruppen laterale Kondensation, Thermafil[®] und K-0142, die in Kombination mit AH Plus[™] verwendet wurden, kam es zu einer stärkeren Glucosepenetration, als in der Resilon[®]/Epiphany[®]SE[™] - und der GuttaFlow[®] Gruppe. Der Vergleich der drei Gruppen mit AH Plus[™] untereinander zeigte bei den Dichtigkeitsmessungen ähnliche Werte.

Diese Ergebnisse stimmen teilweise mit den in der Literatur zu findenden Werten überein. So wird insbesondere dem Resilon[®]/Epiphany[®]SE[™] eine hohe Dichtigkeit auch von anderen Autoren bescheinigt. Es existieren jedoch auch Studien, die keinen Unterschied bezüglich der Dichtigkeit einer Resilon[®]/Epiphany[®]SE[™] Wurzelfüllung sowie anderer Wurzelkanalfüllmaterialien feststellen konnten bzw. die Guttapercha als das dichtere Wurzelkanalfüllmaterial ansehen, so dass weitere Studien für eine abschließende Bewertung notwendig erscheinen.

Der hier getestete Prototyp K-0142 war einfach handhabbar und benötigte in seiner Verwendung nur einen geringen Zeitaufwand, die Dichtigkeit konnte jedoch nicht überzeugen. Es ist aber anzunehmen, dass die Verwendung zusätzlicher Stifte oder Stifte unterschiedlicher Konizitäten zur Abdichtung, sowie die Kombination mit anderen Sealern zu besseren Ergebnissen führen könnten. Hier ist Anlass für weiterführende Untersuchungen gegeben.

II. Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Anatomische Besonderheit der Wurzelkanalsystems	5
1.2 Funktion der Wurzelkanalspülungen	5
1.3 Funktion der medikamentösen Einlage	6
1.4 Funktion der Wurzelkanalfüllung	8
1.5 Funktion der Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)	11
1.6 Wurzelkanalfüllmethoden	12
1.7 Dichtigkeitsmessung/ Glucosepenetrationstest	15
1.8 Ziel	19
2. Material und Methode	20
2.1 Instrumentierung und Füllung der Wurzelkanäle	20
2.2 Wurzelkanalaufbereitungen der zu untersuchenden Zähne	21
2.3 Wurzelkanalfüllungen der zu untersuchenden Zähne	23
2.4 Lagerung	27
2.5 Aufbau des Glucosepenetrationstests	27
2.6 Probenentnahme	28
2.7 Statistische Auswertung	31
3. Ergebnisse	33
4. Diskussion	39
4.1 Anwendung und Handhabung der unterschiedlichen Wurzelfüllmaterialien	40
4.2 Aufbau des Glucosepenetrationstests	43
4.3 Ergebnisse	45
4.4 Schlussfolgerung	52
5. Literaturverzeichnis	53

1. Einleitung1

Betrachtet man zahnärztliche Notdienste und Notfälle wird deutlich, dass der größte Teil der zahnärztlichen Schmerzpatienten in den Bereich der endodontologischen Behandlung fällt. Studien zufolge betreffen etwa 60 Prozent aller Schmerzsituationen in der zahnärztlichen Praxis die Endodontologie (Zipprich 2010). Dabei wird unter der Endodontologie das Fachgebiet der Zahnmedizin verstanden, das sich sowohl mit der Vorbeugung und Ätiologie, als auch mit der Diagnostik und Behandlung periapikaler sowie pulpaler Erkrankungen befasst (Hotz 1989).

Eine Erkrankung des Endodonts wird in 95 Prozent der Fälle durch Noxen - wie z. B. Kariesbakterien - verursacht (Schäfer 2001). Als weitere auslösende Faktoren gelten physikalische, chemische oder mechanische Irritationen, die traumatisch oder iatrogen bedingt sein können (Hannig 2012). Auch eine parodontologische Läsion ist in der Lage, eine Endodonteerkrankung hervorzurufen (Eickholz 2001). Ebenso kann eine allgemeine Erkrankung ursächlich sein, wobei das Gleichgewicht zwischen Immunsystem und pulpaler bzw. periapikaler Läsion gestört ist, so dass letztere in einen akuten Zustand überführt werden kann (Schäfer 2013).

In den Untersuchungen von *Kakehashi et al.* (1965) wird bewiesen, dass Keime bzw. ihre infektiös-toxischen Stoffwechselprodukte hauptsächlich an bleibenden Schäden der Pulpa beteiligt sind. Hierbei hat man gnotobiotisch gezüchteten Ratten Zahnschäden zugefügt, wodurch deren Pulpagewebe ungeschützt der Mundhöhle ausgesetzt war. Bei den keimfrei gehaltenen Ratten konnte im Gebiet der Zahnschäden die Bildung einer neuen Zahnhartsubstanz beobachtet werden. Im Gegensatz dazu entwickelten sich bei einer nicht keimfreien Kontrollgruppe Nekrosen im Bereich der Pulpa sowie der apikalen Parodontopathien.(Kakehashi et al. 1965). Somit wird deutlich, dass Keime eine wichtige Rolle bei pathologischen Prozessen der Mundhöhle spielen. So beträgt z. B. die Anzahl pathogener Mikroorganismen in einem infizierten Wurzelkanal bis zu 10^8 koloniebildende Einheiten (Cachovan 2003; Sobottka et al. 2002; Sundqvist et al. 1989), wobei bei einer primären endodontischen Entzündung in der Regel eine

Keimmischflora zu finden ist (Bystrom and Sundqvist 1981; Le Goff et al. 1997; Sjogren et al. 1997).

Generell ist der Erhalt eines endodontologisch erkrankten Zahnes von der Behandlung des Endodonts abhängig. Im Falle einer erfolglosen endodontischen Therapie würde dies den Verlust des Zahnes bedeuten und demzufolge eine ästhetische und funktionelle Beeinträchtigung des Kauorgans nach sich ziehen (Thiele 2003).

Daher ist eine stetige Weiterentwicklung und Verbesserung im Bereich der Endodontie erforderlich, sei es an Behandlungsmethoden, -materialien oder Medikamenten.

Die Auswertung der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung (KZBV) aus dem Jahr 2012 ergab einen permanenten Anstieg der Wurzelkanalbehandlungen in Deutschland im Verlauf der letzten Jahre. Laut der *KZBV* wurden in Deutschland (alte und neue Bundesländer zusammen) im Jahr 2009 7.480 Mio. Wurzelkanalfüllungen durchgeführt. Im Vergleich zum Jahr 1991 (6.910 Mio. Wurzelkanalfüllungen) wurde somit innerhalb von 18 Jahren ein 8,5-prozentiger Anstieg der endodontischen Behandlungen verzeichnet (Jahrbuch 2014). Durch diese Zahlen wurde die zunehmende Bedeutung und Weiterentwicklung der Wurzelkanalfüllungen belegt, deren Ursachen auch in den sich stetig verbessernden technischen Voraussetzungen der Zahnerhaltungskunde zu finden sind. So können beispielweise in der heutigen Zeit weitaus mehr Zähne durch endodontische Verfahren erhalten werden, die sonst in der Vergangenheit hätten extrahiert werden müssen. Der Rückgang von extrahierten Zähnen wurde auch in dem *KZBV* Jahrbuch 2012 belegt. Um die ständige Weiterentwicklung im Bereich der Wurzelkanalfüllungen aufrecht zu erhalten, sind weitere wissenschaftliche Forschungen auf diesem Gebiet erforderlich.

Folgende Faktoren sollten für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung beachtet werden.

- die vollständige Entfernung des infizierten Gewebes
- die Keimfreiheit der Wurzelkanäle
- die Formgebung der Wurzelkanäle, um die Grundlage für einen dichten und wandständigen Verschluss zu schaffen (Saunders and Saunders 1994).

Somit ist der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung in hohem Maße von der vorherigen Aufbereitung und Desinfektion abhängig (Hülsmann 2008). Zusammenfassend muss bei einer suffizienten, endodontischen Behandlung sowohl nekrotisches als auch vitales Pulpagewebe aus dem Wurzelkanal entfernt werden, wobei darauf zu achten ist, den ursprünglichen Kanalverlauf beizubehalten (Saunders and Saunders 1994). Als am besten geeignet zeigt sich hier die Kombination chemischer sowie mechanischer Aufbereitungsmöglichkeiten (Bystrom and Sundqvist 1983).

Das Hauptproblem einer endodontischen Behandlung liegt in der Beseitigung der in einem infizierten Wurzelkanal befindlichen Mikroorganismen. Das Ziel einer adäquaten Wurzelkanalfüllung ist es daher, das gesamte Kanalsystem auf Dauer hermetisch zu verschließen, um das Eindringen von Mikroorganismen, Noxen oder Flüssigkeiten aus Mundhöhle oder Parodontium zu verhindern (Kiefner 2010). Wie schon erwähnt, besitzen unterschiedliche Noxen vielfältige Auswirkungen auf die Pulpa und das Wurzelkanalsystem. Für die Eliminierung pathogener Mikroorganismen ist es sinnvoll, die möglichen Eintrittspforten dieser Keime in das Wurzelkanalsystem zu finden.

Im Jahr 1984 gelang es *Miller* die Existenz von Bakterien im Wurzelkanalsystem nachzuweisen (Miller 1894). Dabei dienen die Pulpavenen als Transportwege für bakterielle und toxische Abbau- und Stoffwechselprodukte des involvierten Pulpagewebes (Lin et al. 1984).

Bei einem mit Mikroorganismen befallenen Wurzelkanalsystem besteht das Problem der Keimeliminierung. Hierbei wird mittels unterschiedlicher Maßnahmen, wie Aufbereitung, Desinfektion und medikamentöser Applikationen, versucht, die Keimzahl idealerweise bis auf null zu reduzieren. Allerdings muss immer davon ausgegangen werden, dass in schwer zugänglichen oder unerreichbaren Kanalabschnitten, Seitenkanälchen oder Dentintubuli allen verfügbaren

Maßnahmen zum Trotz noch Keime vorhanden sind (Law and Messer 2004; Sathorn et al. 2007). Eine letzte Möglichkeit, diese Mikroorganismen am weiteren Vordringen in die periapikalen Gewebe zu hindern, liegt in einem möglichst hermetischen Verschluss des Wurzelkanalsystems. Hier spricht man von einem festen Einzementieren verbliebener Keime (Schmalz 1984).

Derzeit sind auf dem Markt etliche unterschiedliche Wurzelkanalfüllungsarten und -materialien erhältlich. Der bisherige Goldstandard ist nach wie vor die Wurzelkanalfüllung mittels Guttapercha (Thonemann 2007), welche bereits seit 140 Jahren in der Zahnmedizin verwendet wird (Beer 2006). Um die dabei entstehenden kleinsten Hohlräume zwischen Guttapercha und Wurzelkanalwand zu minimieren und abzudichten, wird ein Sealer verwendet (Beer 2006). Dabei ist es jedoch problematisch, einen sowohl chemischen als auch mechanischen Verbund zwischen den Guttapercha-Stiften und dem Sealer zu schaffen. Daher konnten sich neue Versiegelungssysteme auf dem Markt etablieren, die einen besseren Verbund zwischen Versiegelung und Sealer ermöglichen sollten (Beer 2006). Ein möglicher Lösungsansatz liegt in dem GuttaFlow[®] System (Roeko, Langenau, Deutschland). Hier besteht der Sealer nur zum Teil aus Guttapercha. Mit dem System Resilon[®]/Epiphany[®]SE[™] (Pentron Clinical, USA) wurde ein anderer Weg beschritten. Hier werden elastische Kunststoffstifte statt Guttapercha-Stiften verwendet, die mit einem speziell darauf abgestimmten Kunststoff-Sealer eine Verbindung eingehen. Dieser Sealer hat zusätzlich selbst-ätzende (selfetching) Eigenschaften, die einen festen mikromechanischen Verbund mit dem Dentin zur Folge haben sollen.

1.1 Anatomische Besonderheit des Wurzelkanalsystems

Das Wurzelkanalsystem stellt ein komplexes System dar. Es besteht aus einem Hauptkanal bzw. mehreren Hauptkanälen und der Summe der Verzweigungen und Verästelungen.

Es liegen verschiedene Studien vor, die das Vorkommen von Seitenkanälen und Verzweigungen des Wurzelkanalsystems nachweisen. *Meyer* konnte bereits im Jahr 1970 anhand histologisch untersuchter Serien von Zahnschnitten zeigen, dass diese zu über 70 Prozent Seitenkanäle besitzen (*Meyer* 1970). *Wrbas et al.* fanden im Jahr 1990 bei 60 Prozent aller Zahnschnitte Seitenkanäle (*Wrbas* 1999). Im Rahmen einer stereomikroskopischen Untersuchung von *Green* aus dem Jahr 1956 konnten hingegen lediglich in 12 Prozent aller Fälle Seitenkanäle gefunden werden (*Green* 1956).

Die korrekte Darstellung dieses komplexen Systems ist wichtig, da im Fall einer Erkrankung der Pulpa die Zerfallsprodukte und die beteiligten Bakterien nicht nur über den Hauptkanal, sondern auch über die Seitenkanäle in die periapikale Region gelangen können. Bei pathologischen Veränderungen ist es über die Seitenkanäle möglich, dass sich diese wechselwirkend zwischen Parodontium und Pulpa ausbreiten (*Kuttler* 1979). Eine adäquate Behandlung des Wurzelkanals und eine suffiziente Wurzelkanalfüllung kann trotz nicht behandelter Seitenkanäle erfolgreich sein. So erzielte *Schmalz* in 71-96 Prozent Langzeiterfolge in der Behandlung eines infizierten Wurzelkanals durch Vitalexstirpation (*Schmalz* 1990). Auch im Fall einer infizierten Nekrose sind bei guten Behandlungsbedingungen Erfolge zu erreichen. So kann eine Osteolyse durch das Granulationsgewebe am Periapex resorbiert und bindegewebig bzw. knöchern ersetzt werden (*Seltzer* 1971).

1.2 Die Funktion der Wurzelkanalspülungen

Neben der mechanischen Bearbeitung des Wurzelkanalsystems kommt im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung die unverzichtbare chemische Reinigung durch Desinfektionsspülungen zum Tragen (*Bystrom and Sundqvist* 1981). Dabei sind die Bearbeitung und Reinigung des Wurzelkanals Voraussetzungen für eine

erfolgreiche Wurzelkanalfüllung. Mittels einer chemischen Reinigung können im Gegensatz zu einer rein mechanischen Reinigung weitere Abschnitte des Wurzelkanalsystems erreicht werden (Bystrom and Sundqvist 1985; Drukteinis and Balciuniene 2006). Ein weiterer Vorteil liegt in der Entfernung der durch die mechanische Aufbereitung produzierten Dentinspänen, so dass eine Wurzelkanalobstruktion vermieden wird (Sen et al. 1995). Außerdem neutralisieren und inhibieren Spüllösungen die im Wurzelkanal vorhandenen Mikroorganismen und dienen als Gleitmittel für zahnärztliche Instrumente (Hülsmann 2007; Zehnder 2006).

Manche Spüllösungen besitzen zusätzliche Eigenschaften. So wirkt z. B. Natriumhypochlorit (NaOCl) gewebssauflösend (Hand et al. 1978; Moorer and Wesselink 1982), bleichend und desinfizierend (Bystrom and Sundqvist 1983; Sanjiwan et al. 1990). Chelatverbindungen, wie beispielweise Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA), hingegen werden zur Entfernung des Smear layers verwandt (Violich and Chandler 2010). Die Kombination beider Spülungen ist jedoch umstritten, da sie sich bei direktem Kontakt gegenseitig hemmen (Klimm 2003). Bei Verwendung einer Kochsalzlösung als Zwischenspülung könnten Natriumhypochlorit und EDTA kombiniert werden, so dass die positiven Eigenschaften beider Spüllösungen zum Tragen kämen (Klimm 2003). Eine weitere Spülung, die sich unter bestimmten Voraussetzungen bewährt hat, ist Chlorhexidindigluconat (CHX). CHX ist biokompatibler als NaOCl und wirkt bei bestimmten Erregern, auf die NaOCl keinen Einfluss nimmt, wobei das Wirkspektrum des CHX insgesamt jedoch nur relativ schmal und stark spezifisch ist (Schirrmeyer 2007). Daher bleibt das NaOCl in der Endodontologie weiterhin der Goldstandard unter den Spüllösungen.

1.3 Die Funktion der medikamentösen Einlage

Medikamentöse Einlagen werden temporär in den aufbereiteten Wurzelkanal eingebracht. Sie haben verschiedenen Effekte, beispielweise eine desinfizierende und eine bakterizide Wirkung (Law and Messer 2004; Sathorn et al. 2007). Dabei existieren unterschiedliche Substanzen, die als medikamentöse Einlagen

verwendet werden können. Allerdings werden viele dieser Mittel wie z. B. Formaldehyd (FA) heutzutage nicht mehr genutzt, da sie sich als toxisch oder kanzerogen erwiesen haben. Bei der Studie von *Li et al* (2013) wurde die Reaktion von Formaldehyden am menschlichen Körper getestet, wobei die Reaktion der natürlichen Killerzellen (NK) beobachtet wurde. Die Ergebnisse dieser Studie haben gezeigt, dass die NK-Zellen sehr sensitiv auf FA reagieren (Li et al. 2013).

Einige in der heutigen Praxis angewandte Mittel sind z. B. Calciumhydroxid (Calxyl[®], Ca(OH)₂, OCO Präparate[®], Deutschland) oder kortikosteriodhaltige Substanzen wie z. B. Ledermix[®] (RIEMSER Pharma GmbH, Deutschland), eine Kombination aus einem Kortikoid und dem Breitbandantibiotikum Tetracyclin. Letztere dienen jedoch hauptsächlich zur Schmerzlinderung und besitzen keine Wirkung auf die Bakterienbekämpfung im Wurzelkanal. Calciumhydroxid ist ein stark alkalisches Medikament (pH-Wert = 12), das eine bakterizide Wirkung besitzt (Sjogren et al. 1997) und zudem gewebeverträglich ist (Hellwig 2009). *Demiryurek et al.* belegten 2010 in einer vergleichenden Studie die gute Wirkung und optimale Dichtigkeit des Calciumhydroxids (Demiryurek et al. 2010).

Im Jahr 1936 entdeckte Hermann erstmals die desinfizierenden und bakteriziden Eigenschaften sowie die gute Gewebekompatibilität des Ca(OH)₂ (Hermann 1936). Aufgrund dieser Eigenschaften gilt Calciumhydroxid auch heute noch als Goldstandard in der medikamentösen Therapie des Wurzelkanals. Um eine gleichbleibende Wirkung zu sichern, sollte Calciumhydroxid in Abständen von sieben Tagen gewechselt werden

Einer Studie von *Barthel et al.* aus dem Jahr 2000 zufolge gibt es keine signifikante Beeinträchtigung der Dichtigkeit einer Wurzelfüllung nach einer medikamentösen Einlage (Barthel et al. 2000). Eine Studie von *Kim et al.* hat allerdings gezeigt, dass die Benutzung von Calciumhydroxid als medikamentöse Einlage die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung mittels Guttapercha mit einem zinkoxidhaltigen Sealer beeinträchtigt (Kim and Kim 2002). Die vollständige Entfernung der medikamentösen Einlagen vom Wurzelkanal wird schon seit mehr als 20 Jahren diskutiert und stellt sich als schwierig dar. Die Art der Spülflüssigkeit und die Menge scheinen eine wichtige Rolle zu spielen. Dazu kommen die Möglichkeiten, die Spülflüssigkeiten im Wurzelkanal zu aktivieren oder thermisch

zu beeinflussen und dadurch ihre desinfizierende bzw. reinigende Eigenschaft zu verbessern. *Zorzin et al.* 2016 hat den Effekt unterschiedlicher Spülvolumina und Aktivierungsmethoden auf den Reinigungsgrad des Wurzelkanals nach einer medikamentösen Einlage getestet. In seiner Studie wurden die zu untersuchenden Materialien radioaktiv markiert. Dabei wurde festgestellt, dass die Aktivierung der Spülflüssigkeit eine Verbesserung aufwies, aber die Erhöhung der Spülflüssigkeitsmenge einen stärkeren Einfluss hatte. In der Studie wurde aber auch festgestellt, dass keine der Methoden eine vollständige Entfernung der Ca(OH)_2 vom Wurzelkanal erreicht hat (*Zorzin et al.* 2016).

1.4 Die Funktion der Wurzelkanalfüllung

Nach einer erfolgreichen Wurzelkanalaufbereitung und Wurzelkanaldesinfektion folgt die Wurzelkanalabdichtung mittels einer Wurzelkanalfüllung. Eine medikamentöse Einlage kann nur in Ausnahmefällen, wie z. B. bei Milchzähnen, als definitive Wurzelfüllung verwandt werden, da sie ihre Wirkung mit der Zeit verliert (*Barthel et al.* 2006). Eine Wurzelkanalbehandlung ohne abschließende Wurzelkanalfüllung ist nicht ausreichend, da trotz optimaler chemisch-mechanischer Bearbeitung keine Keimfreiheit eines Wurzelkanals erreicht werden kann (*Davis et al.* 1972). Es befinden sich sowohl im Wurzelkanalsystem als auch in den Dentinkanälchen Bakterien und deren Metabolite. Bei einer inadäquaten Wurzelkanalfüllung besteht die Gefahr, dass kontaminierte Flüssigkeiten sowohl in den als auch aus dem Wurzelkanal hinaussickern. Dabei gelangen über den Mundraum Keime, flüssige Speisereste oder Speichel in den Wurzelkanal. Die koronale Pforte des nicht sorgfältig gefüllten Wurzelkanals wird somit zur Eintrittsstelle (*Paschke* 2010; *Tidswell et al.* 1994; *Timpawat et al.* 2001). Folge davon kann eine Infektion sein. Die periapikalen Abbauprodukte und Gifte der Mikroorganismen sind dabei in der Lage, eine bereits abgeklungene Infektion in eine akute Phase zu überführen. Darüber hinaus befinden sich im Wurzelkanalsystem trotz suffizienter mechanischer Aufbereitung und chemischer Desinfektion stets persistierende Keime. Eine dichte Wurzelkanalfüllung hat die Funktion, die bislang persistenten Mikroorganismen von ihrer Umgebung zu isolieren. Wird der Wurzelkanal nicht bis zum Foramen physiologicum gefüllt, so

sind Eiweiße in der Lage, aus dem periapikalen Gewebe in den ungefüllten Kanalabschnitt einzudringen, in deren Folge die Endzündungsreaktion erneut aufflammen kann. Nach *Langeland et al.* besitzt auch unbearbeitetes Gewebe der infizierten Pulpa den gleichen Effekt (Langeland et al. 1985).

Ebenso wie die unzureichende Füllung ist auch eine Überfüllung des Wurzelkanals zu vermeiden, da dadurch eine Fremdkörperreaktion ausgelöst werden kann (Kerekes and Tronstad 1979). Eine Überfüllung des canalis mandibularis kann eine Parästhesie des nervus alveolaris inferior verursachen. Ebenso besteht ein Zusammenhang zwischen zinkoxidhaltigen Wurzelfüllpasten und der Ansiedlung von *Aspergillus* im sinus maxillaris (Khongkhunthian and Reichart 2001).

Das Wurzelfüllungsmaterial muss für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung bestimmte Charakteristika aufweisen. Bereits im Jahr 1940 listete *Grossmann* die Eigenschaften eines Wurzelkanalfüllungsmaterials auf (Grossmann 1940).

Dabei sollte das Wurzelkanalfüllungsmaterial folgende Voraussetzungen erfüllen:

- leicht und schnell sterilisierbar
- einfach in den Wurzelkanal einzubringen
- leicht im Rahmen einer Revision zu entfernen
- Verschluss des Wurzelkanals von vertikal und lateral
- keine Reizung des periapikalen Gewebes
- undurchlässig gegenüber Feuchtigkeit
- bakteriozid oder bakteriostatisch
- kein Schrumpfen
- kein Herbeiführen einer Zahnverfärbung
- radioopak

Aufgrund der hohen Erfordernisse, die an ein Wurzelkanalfüllmaterial gestellt werden, ist es erklärlich, dass bis heute kein auf dem Markt erhältliches Wurzelkanalfüllungsmaterial allen Anforderungen entspricht. *Schäfer* beschreibt

und bewertet die aktuell gebräuchlichen Wurzelkanalfüllmaterialien wie folgt (Schäfer 2000):

Silber- und Titanstifte wurden solange als Wurzelkanalfüllungsmaterialien genutzt bis erkannt wurde, dass diese keine Formschlüssigkeit zum Wurzelkanal aufwiesen. Ebenso gelang es mittels Silber- und Titanstiften nicht, den Kanal genügend gegen das periapikale Gewebe abzudichten, wie mit den flexiblen und formbaren Guttapercha-Stiften. Außerdem führte der Kontakt von Silberstiften mit der Gewebeflüssigkeit des periapikalen Gewebes zu einer Korrosion und dadurch zu toxischen Noxen (Schäfer 2000).

Der eingetrocknete Milchsaft des Guttaperchasbaumes weist chemisch gesehen unterschiedliche temperaturabhängige Formen bzw. Phasentypen auf. Das Guttapercha ist kautschukähnlich, aber im Gegensatz zu diesem ist es bei Raumtemperatur (β -Form) härter und bei ca. 50 °C knetbar (α -Form) (Paschke 2010). Guttapercha in seiner α -Form weist eine Fließfähigkeit, eine niedrige Viskosität und eine ausgeprägte Neigung zur Adhäsion auf. Daher gilt die α -Form als Grundlage des zahnärztlichen Gebrauches von Guttapercha-Stiften (Schäfer 2000).

Bisher wurden Wurzelkanalfüllungen in der Regel mit Guttapercha durchgeführt, wobei mögliche Lücken zwischen Guttapercha und Wurzelkanalwand durch Einsatz eines Sealers ausgefüllt werden sollten. Studien zufolge dichtet Guttapercha alleine ohne Sealer den Wurzelkanal nicht ab. In der Studie von *Demiryürek* aus dem Jahr 2010 wurden drei unterschiedliche Sealer verglichen, sowie bei Probanden einer als positiv geltenden Gruppe die Zähne nur mit Guttapercha ohne Sealer abgefüllt (Demiryurek et al. 2010). Dabei konnte gezeigt werden, dass die positive Gruppe (Wurzelkanalfüllung ohne Sealer) höchste Undichtigkeiten aufwies. Sealer besitzen folglich einen signifikanten Effekt auf die Wurzelkanalfüllungsdichtigkeit.

1.5 Funktion der Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)

Ein Sealer muss die folgenden unterschiedlichen Eigenschaften besitzen (Huang et al. 2002; Kardon et al. 2003; Pommel et al. 2003):

- schnelles Abbinden
- Biokompatibilität
- in Gewebeflüssigkeit nicht lösbar
- Volumenstabilität
- Adhäsivität

In der Zahnmedizin existiert eine Vielzahl unterschiedlicher Sealer, die oben aufgeführte Eigenschaften in unterschiedlicher Ausprägung besitzen. Manche Sealer wirken außerdem durch chemische Zusätze desinfizierend. Allerdings haben sich diese Mittel in der Wurzelkanalbehandlung nicht bewährt, da die chemischen Substanzen bei einem dauerhaften Verbleib im geschlossenen Wurzelkanal toxisch wirken sowie das umliegende Gewebe reizen können. Im direkten Vergleich besitzen diese Mittel gegenüber etablierten Sealern sogar signifikante Mängel (Cecchin et al. 2011).

Als bedeutend für Wurzelkanalbehandlungen hat sich das Abdichtungsvermögen eines Sealers erwiesen (Demiryurek et al. 2010), da aufgrund der Anatomie des Wurzelkanalsystems Guttapercha-Stifte allein keinen bakteriedichten Verschluss gewährleisten können. Bei einem mit Guttapercha gefüllten Wurzelkanal kommt es zu Unebenheiten und Inkongruenzen zwischen Hauptfüllmasse und Wurzelkanalwand. Durch einen Sealer ist es möglich, diese auszufüllen und auszugleichen. Ebenfalls muss gewährleistet sein, dass der genutzte Sealer keine Schrumpfungstendenzen zeigt, die letztendlich zu einem Eindringen von Mikroorganismen in den Wurzelkanal führen (Orstavik et al. 2001). Derzeit gilt der auf Epoxidharzbasis hergestellte Sealer AH Plus™ (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz) als Goldstandard in der Zahnmedizin. Dieser zeigt eine gute Fließfähigkeit, Unebenheiten und Inkongruenzen werden so aufgefüllt. Er weist außerdem eine initiale Abbindeexpansion, eine überdurchschnittliche Druckfestigkeit und ausgezeichnete Dichtigkeitswerte auf. Dies begründet sich in

seiner nur gering ausgeprägten Dimensionsänderung nach Verfüllen in den Wurzelkanal (Azar et al. 2000; De Almeida et al. 2000; Oztan et al. 2003; Schafer and Zandbiglari 2003). Im Vergleich zu seinem Vorgänger AH 26[®] (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz) wurde bei AH Plus[™] bei seiner Entwicklung auf den Inhaltstoff Hexamethylentetramin verzichtet, um geringfügige Formaldehydfreisetzungen zu vermeiden. Dadurch wurden die Nebenwirkungen von Formaldehyd vermieden (Li et al. 2013).

1.6 Wurzelkanalfüllmethoden

Zentralstifttechnik

Bei der Zentralstifttechnik handelt es sich um die Verwendung eines einzigen Guttapercha-Stifts (Masterpoint) als Wurzelkanalfüllung. Die Masterpoint ISO-Größe entspricht der ISO-Größe der finalen Feile. Diese Technik besitzt viele Vorteile für die Praxis, da für ihre Durchführung weder Erfahrung und Zeitaufwand noch unterschiedliche Materialien benötigt werden (Mayer 2005). Die Forderung nach apikaler Dichtigkeit ist im Rahmen der Zentralstifttechnik jedoch nicht gewährleistet. Da die Anatomie des Wurzelkanalsystems variable Formen aufweist, kann eine sichere kongruente Anpassung des rundlichen Querschnitts eines Guttapercha-Stiftes an den Wurzelkanalquerschnitt nicht garantiert werden (Robberecht et al. 2012).

Kalte laterale Kondensation von Guttapercha

Im Rahmen der kalten lateralen Kondensation kommt es zu einer Kondensierung der nebeneinander in den Wurzelkanal eingeführten Guttapercha-Stifte in Kombination mit einem Sealer. Diese Technik gilt Studien zufolge als Standardtechnik sowie als am besten geeignet für Wurzelkanalfüllungen (Ansari et al. 2012; Chu et al. 2005; Punia et al. 2011).

Thermoplastische Verarbeitung von Guttapercha

Die thermoplastische Verarbeitung von Guttapercha stellt eine der jüngsten Entwicklungen der Wurzelkanalfüllungstechniken dar. Sie wurde erstmals Anfang des 20. Jahrhunderts vorgenommen. Ziel war es, eine Wurzelkanalfülltechnik zu entwickeln, die mittels einer Erwärmung und Erweichung des Materials alle Freiräume und Seitenkanäle des Wurzelkanalsystems abdichten kann.

Durch das Erwärmen des Guttapercha-Materials können auch enge Wurzelabschnitte besser abgefüllt werden als mit einer starren, kalten Substanz. Auch das Abdichten von Verzweigungen und Krümmungen stellt somit kein Problem mehr dar (Beer 2006). Um die Schrumpfung des Materials nach dem Abkühlen zu vermindern, werden Abdichtungsinstrumente wie z. B. Plugger verwendet. Dadurch wird das erweichte Guttapercha in die kleinsten Räume gepresst (Arnold 2010). Die Auswirkung der Temperaturunterschiede auf die Verarbeitung des Materials sind in unterschiedlichen Studien getestet und kritisch beurteilt worden. So haben *Weller und Koch* die Temperaturänderung während der Behandlung mit einem thermoplastischen Wurzelkanalfüllmaterial gemessen und festgestellt, dass die erweichte Guttapercha bei der Wurzelkanalfüllung eine Temperaturerhöhung um 10 Grad Celsius im Wurzelkanalsystem und der Umgebung nicht überschreitet. Eine kritische Temperaturschwankung, die zu einer Beschädigung der parodontalen Ligamente und des periradikulären Gewebes führen könnte, ist somit nicht gegeben (Lipski 2004; Weller and Koch 1995). Allerdings spielt hier die Verwendung von Sealern eine bedeutende Rolle, denn der Verzicht auf Sealer verursacht einen höheren Temperaturanstieg und so auch die Gefahr der Schädigung des periradikulären Gewebes.

Die vertikale Kondensation nach *Schilder*

Bei der vertikalen Kondensationsmethode nach *Schilder* wird der mit Sealer beschichtete Wurzelkanal vertikal mit erwärmtem, nicht ISO-genormtem Guttapercha kondensiert. Die Ausführung dieser Technik erfolgt mit unterschiedlich erhitzten Instrumenten (Pluggern). Das Ergebnis ist eine dreidimensionale, dichte und gleichmäßige Wurzelkanalfüllung. Dieses Verfahren

erfordert eine entsprechende Erfahrung, Zeit und einen instrumentellen Aufwand. Aufgrund der schlechten Temperaturkontrolle der Plugger wurden verschiedene elektrisch beheizbare Instrumente entwickelt, wie z. B. Obtura I™ und II™ (Kerr, Canada) sowie das System B™ (Kerr, Canada) (Schilder 2006).

Thermafil®-Technik

Thermafil® erlaubt das Abfüllen des Wurzelkanals mittels erweichter Guttapercha-Masse, die durch einen harten Kunststoff-Kern (Träger) getragen wird. Eines der Ziele dieser Technik stellt die Vereinfachung des Ablaufs einer Wurzelkanalfüllung dar, da es die Thermafil®-Technik erlaubt, den Wurzelkanal in nur einem Arbeitsschritt abzufüllen. Ein weiteres Ziel stellt die Reduzierung der verwendeten Guttapercha-Masse bezüglich einer Wurzelkanalfüllung unter Berücksichtigung des Schrumpfungseffekts dar. Je mehr Guttapercha normalerweise für eine Wurzelkanalfüllung erhitzt und verwendet wird, desto höher fällt die Schrumpfung des Materials bei der Abkühlung aus (Brockmann 2008). Bei der Verwendung von Thermafil® bleibt dieser Effekt aus, da ein Träger aus Kunststoff ohne Schrumpfungstendenz genutzt wird.

GuttaFlow®

GuttaFlow® (Roeko, Langenau, Deutschland) stellt eine der neuen Entwicklungen der Wurzelkanalfüllmaterialsysteme dar, die zwei Produkte in einem vereinen. GuttaFlow® beinhaltet Guttapercha in Form von Pulver, wobei die Größe der Guttapercha-Kügelchen unter 30 µm liegt, sowie einen Sealer auf Silikonbasis. Das RoekoSeal besitzt eine hervorragende Fließfähigkeit, gute Abdichtungseigenschaften zu dem Guttapercha-Stift (Masterpoint) und zur Dentinwand sowie eine gute Biokompatibilität (Cobankara et al. 2002; Gencoglu 2003; Johnson 1978; Wu et al. 2002). Weil GuttaFlow® nicht erhitzt wird, tritt auch keine Schrumpfungsfahr auf. GuttaFlow wird kalt verarbeitet. Im Gegensatz zu den derzeit bekannten Sealern weist RoekoSeal eine leichte Abbindeexpansion von 0,2 Prozent auf. In einer Studie von Ørstavik et al. aus dem Jahr 2001 wurden unterschiedliche Sealer bezogen auf ihre Dimensionsveränderung verglichen. Hier

zeigte nur RoekoSeal eine leichte Expansion und eine Formstabilität nach der Expansion über die Zeit (Orstavik et al. 2001). Die anderen verglichenen Sealer expandierten entweder sehr stark oder wiesen keine Formstabilität auf. Zusätzlich ist RoekoSeal gegenüber Feuchtigkeit unlöslich. Diese Eigenschaft ermöglicht eine Abbindefähigkeit trotz feuchter Bedingungen. GuttaFlow® kombiniert damit die Vorteile der Kaltfülltechnik und der thermoplastischen Technik, wobei die Nachteile einer thermoplastischen wie thermischen Traumatisierung des periapikalen Gewebes sowie die Guttapercha-Schrumpfung nach Abkühlung nicht relevant sind.

1.7 Dichtigkeitsmessung/ Glucosepenetrationstest

Um die Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung in vitro zu beurteilen, liegen unterschiedliche Penetrationsverfahren und -methoden vor, wie z. B. der Farbstoff-(Gilhooly et al. 2000; Wu et al. 1993) und der Bakterien-Penetrationstest (Shipper et al. 2004; Shipper et al. 2005; Torabinejad et al. 1990). Eine weitere Methode wäre mittels eines Penetrationstests durch Flüssigkeitsfiltration (Wu et al. 1993), wie bei dem Glucosepenetrationstest (Xu et al. 2005). Eine dichte Wurzelkanalfüllung ist erst als solche zu bezeichnen, wenn keine der oben genannten Penetrationsindikatoren die Wurzelkanalfüllung passieren konnte.

Bakterien-Penetrationstest

Für dieses Verfahren werden Bakterien als Indikatoren verwendet. Der wurzelgefüllte Zahn ragt koronal in eine Bakterienlösung und apikal in ein Nährmedium. Bei einer Undichtigkeit penetrieren die Bakterien die Wurzelkanalfüllung. Bei einem Bakterienkontakt mit dem Nährmedium kommt es zu einer Eintrübung des Nährmediums. Diese Reaktion findet unabhängig von der Bakterienmenge bzw. -anzahl statt. Aus klinischer Sicht ist der Bakterien-Penetrationstest nicht aussagekräftig, da die penetrierten Bakterien in diesem Verfahren nicht quantifizierbar sind. Eine geringe Anzahl von penetrierten Bakterien muss in vivo periapikal nicht zwingend zu einer Infektion führen, da diese vom eigenen Immunsystem eliminiert werden können. Daher können die

Ergebnisse des Bakterien-Penetrationstests nicht mit klinischen Misserfolgen der Wurzelkanalfüllungen korrelieren (Shipper et al. 2004).

Aufgrund des Molekulargewichts von Bakterien, ist der Farbstoff-Penetrationstest vorzuziehen, da die Farbstoffe ein geringeres Molekulargewicht als Bakterien haben und dadurch Farbstoffe eine bessere Penetrationsfähigkeit besitzen.

Farbstoff-Penetrationstest

Beim Farbstoff-Penetrationstest werden unterschiedliche Farbstoffindikatoren verwendet. Am häufigsten wird der Farbstoff Methylenblau verwendet, aufgrund seines geringen Molekulargewichts im Vergleich zu anderen Farbstoffindikatoren, das verleiht ihm eine gute Penetrationsfähigkeit durch die Wurzelkanalfüllung. Dies haben *Ahlberg et al.* 1995 untersucht und konnten zeigen, dass das geringe Molekulargewicht des Methylenblaus diesem eine bessere und tiefere Penetrationsfähigkeit verleiht als schwarze Tusche, die ein größeres Molekulargewicht besitzt (Ahlberg et al. 1995).

Es liegen unterschiedliche Verfahren vor, um die Penetration der Indikatoren in den Wurzelkanal zu ermöglichen, z. B. passive Penetration (die Zähne liegen im Farbstoff) und Penetration der Farbstoffe unter konstantem Druck.

Die Beurteilung des Farbstoff-Penetrationstests wird durch ein Entkalkungsverfahren der Zähne durchgeführt, somit wird die Penetrationstiefe des Farbstoffes im Wurzelkanal visuell bewertet (Robertson et al. 1980). Eine andere Beurteilungsmöglichkeit ist die Volumenmessung des penetrierten Farbstoffes. Der Farbstoff wird durch Säure gelöst und anschließend spektrophotometrisch gemessen (Beatty et al. 1986).

Beide Verfahren vermitteln keine präzisen Ergebnisse, da das Verfahren von unterschiedlichen und unkontrollierbaren Faktoren beeinflusst werden kann. Bei dem Entkalkungsverfahren handelt es sich um eine visuelle Bewertung, dagegen ist das Volumenmessungsverfahren spektrophotometrisch messbar. Trotzdem könnten die Ergebnisse fehlerhaft erscheinen, da nicht nur die penetrierten Farbstoffe der Wurzelkanalfüllung gemessen werden, sondern auch die

penetrierten bzw. gelösten Farbstoffe auf der Zahnoberfläche und in den Dentintubulis. Nicht nur die ungenauen Messverfahren könnten zu falschen Ergebnissen führen, sondern auch die Durchführung des Testverfahrens an sich, z. B. vorhandene Luftblasen in der Wurzelkanalfüllung könnten die Penetration der Farbstoffe verhindern und aufgrund dessen die Messungen verfälschen und ein zu gutes Ergebnis liefern (Wu et al. 1993).

Einige Studien fanden heraus, dass die Ergebnisse des Farbstoff-Penetrationstests mit der Wurzelkanalfüllungsqualität korrelieren, aber sie vermittelt keine prognostische Aussage hinsichtlich der Entwicklung von periapikalen Aufhellungen (Oliver and Abbott 2001; Susini et al. 2006).

Penetrationstest durch Flüssigkeitsfiltration

Die Flüssigkeitsfiltration ist eine der ältesten Verfahren. Im Jahr 1986 wurde es von *Derkson et al.* entwickelt (Derkson et al. 1986) und später im Jahr 1993 von *Wu et al.* für die Wurzelkanalfüllungsuntersuchungen weiterentwickelt (Wu et al. 1993).

Bei der Flüssigkeitsfiltration handelt es sich um eine Flüssigkeitspenetration von koronal nach apikal, die unter 0,3 - 1,2 bar Druck getrieben wird. Die in einer Glaskapillare befindliche Luftblase stellt eine visuelle Darstellung der Flüssigkeitsbewegung dar, die durch den Wurzelkanal bzw. die Wurzelkanalfüllung fließt. Die Beurteilung erfolgt in festgelegten Intervallen. Je größer die Luftblasenbewegung ist, desto größer ist die Flüssigkeitspenetration durch die Wurzelkanalfüllung. Die Messungen geben Rückschlüsse über die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung (Miletic et al. 1999).

Ein Nachteil dieses Verfahrens ist die unpräzise Messung. Es handelt sich um eine visuelle Beurteilung und keine quantitative Messung (Shemesh et al. 2007). Der Flüssigkeitsfiltrationstest ist nicht geeignet für lang andauernde Untersuchungen. Nachteilig wirken die festgelegten Messintervalle.

Glucosepenetrationstest

Für diese Penetrationsmethode wird Glucose als Penetrationsindikator verwendet. Glucose zeigt zwei Vorteile im Vergleich zu anderen Indikatoren. Einerseits hat Glucose ein geringeres Molekulargewicht und ist somit als Penetrationsindikator gut geeignet, andererseits dient Glucose als Substrat für Bakterien. Wenn Glucose durch die Wurzelkanalfüllung penetrieren, besteht die Gefahr, dass sie weiterhin als Substrat für die Bakterien zu Verfügung stehen kann und das Wachstum der Bakterien unterstützen kann. (Xu et al. 2005).

Im Jahr 2005 wurde von *Xu et al.* der Glucosepenetrationstest als ein neues Penetrationsverfahren, basierend auf dem Penetrationstest durch Flüssigkeitsfiltration, entwickelt (Xu et al. 2005). Der Test wird wie folgt aufgebaut: Die Glucoselösung, die sich in einer Röhre koronal des Zahnes befindet, kann abhängig von der Dichtigkeit des jeweiligen im Wurzelkanal befindlichen Materials durch den Wurzelkanal hindurch penetrieren. Die Zahnschmelze ragt apikal in eine glucosefreie Flüssigkeit hinein. In regelmäßigen Intervallen werden Proben von dem glucosefreien Medium entnommen, um die von koronal aus penetrierende Glucose nachzuweisen. Anschließend werden die Proben mittels eines enzymatischen Verfahrens spektrophotometrisch gemessen. Die Ergebnisse ermöglichen es, Rückschlüsse auf die Wurzelkanalfüllung und ihre Dichtigkeit zu schließen.

In der vorliegenden Studie wurde der Glucose-Penetrationstest für die Beurteilung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung verwendet, da dieser für die kontinuierlich qualitative Messung geeignet ist (Shemesh et al. 2006) und als nicht destruktives Verfahren zur sensitiven Beurteilung der Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung angewendet werden kann (Kaya et al. 2007; Zou et al. 2007). Im Vergleich zu dem Flüssigkeitsfiltrationsverfahren ist die Durchführung von langdauernden Untersuchungen bei dem Glucose-Penetrationstest möglich und dabei sind zuverlässige Ergebnisse zu erwarten, was bei der Flüssigkeitsfiltration nicht der Fall ist (Shemesh et al. 2006).

1.8 Ziel

Ziel der vorliegenden Studie war es, ein bisher nicht im Handel erhältliches neues Wurzelkanalfüllsystem (K-0142) auf seine Dichtigkeit hin zu überprüfen und mit den auf dem Markt befindlichen Wurzelkanalfüllsystemen (Guttapercha/ Sealer, Resilon®/Epiphany®SE™, GuttaFlow® und Thermafil®) zu vergleichen.

2. Material und Methoden

2.1 Instrumentierung und Füllung der Wurzelkanäle

In der vorliegenden Untersuchung wurden 95 kariesfreie, einwurzelige, extrahierte Unterkiefer-Inzisiven verwandt. Unmittelbar nach der Extraktion erfolgte die Einlagerung der Zähne in 20%-igem Ethanol. Anschließend wurden die Zähne von parodontalen Ligamenten und Zahnstein befreit und mittels randomisierter Zuordnung auf fünf Gruppen zu je 15 Zähnen verteilt. Den Gruppen wurden folgende Wurzelfüllmethoden zugeordnet:

Gruppe 1: Wurzelkanalfüllung mittels AH Plus[™] und lateraler Kondensationstechnik von Guttapercha.

Gruppe 2: Wurzelkanalfüllung mittels AH Plus[™] und K-0142 (Prototyp).

Gruppe 3: Wurzelkanalfüllung mittels Resilon[®]/Epiphany[®] SE[™].

Gruppe 4: Wurzelkanalfüllung mittels GuttaFlow[®].

Gruppe 5: Wurzelkanalfüllung mittels Thermafil[®].

Zusätzlich wurden die folgenden zwei Kontrollgruppen zu je zehn Zähnen gebildet:

Gruppe 6: positive Kontrollgruppe: Wurzelkanalfüllung mittels eines zentralen Guttapercha-Stiftes Kondensation von einem Guttapercha-Point ohne Sealer.

Gruppe 7: negative Kontrollgruppe: Wurzelkanalfüllung entspricht Gruppe 1, zusätzlich vollständige Ummantelung der Zähne mittels Klebewachs.

Zur Überprüfung des Versuchsaufbaus erfolgte im Vorfeld eine Untersuchung mit je zehn Zähnen pro Gruppe. Um interindividuelle Varianten auszuschließen, erfolgten die Wurzelkanalaufbereitung, die Abfüllung und der Versuchsaufbau durch denselben trainierten Untersucher. Zum Standardisieren der Aufbereitungsprozedur durchlief dieser im Vorfeld ein Trainingsprotokoll. Vortests sowie der Hauptversuch wurden ebenfalls von ein und demselben Untersucher durchgeführt.

2.2 Wurzelkanalaufbereitungen der zu untersuchenden Zähne

Nach Reinigung und randomisierter Verteilung der Zähne auf die Gruppen wurden die Zähne koronal einheitlich auf 15 mm Länge mittels einer Trennscheibe waagrecht zur Zahnachse eingekürzt. Zur Längenbestimmung wurde der Zahn direkt vor der Kürzung an ein Lineal mit Millimeterskalierung angelegt. Die Suche der Kanaleingänge und die Entfernung der Pulpa erfolgten mit Hedströmfeilen unter Einsatz einer Lupenbrille. Die Durchgängigkeit der Wurzelkanäle wurde mit einer ISO 15 K-Flexofile[®] (Dentsply Maillefer, Schweiz) festgestellt. Da die Zähne einheitlich auf 15 mm gekürzt wurden, stand die Arbeitslänge für alle Zähne schon fest und betrug 14,5 mm. Die Arbeitslänge entspricht dem aufzubereitenden Wurzelkanalabschnitt, der anschließend mit einer Wurzelfüllung versehen werden sollte. Die Arbeitslänge geht bis zur engsten Stelle des Wurzelkanals, dem sogenannten physiologischen Foramen, das zwischen 0,5 - 1 mm vor dem anatomischen Apex liegt.

Die Darstellung und koronale Erweiterung der Kanaleingänge (intiale Crown-Down) erfolgten mit Gates-Glidden Bohrern in der Reihenfolge 4, 3 und 2. Die apikale Präparation wurde mittels K-Flexofiles[®] ISO 15 bis zur apikalen Masterfeile (AMF) ISO 45 durchgeführt. Nach Erreichen der apikalen Masterfeile (AMF) wurde erneut die Durchgängigkeit des Foramen apikale mit einer ISO 15 Hedströmfeile überprüft, um die Verstopfung des Foramen apikale durch Dentinspäne ausschließen zu können. Danach erfolgten mittels K-Flexofiles[®] drei Stepback Schritte bis zu einer finalen Feile (FF) der Größe ISO 60. Zum Glätten von möglichen Stufen der Wurzelkanalwände wurde mittels einer Hedströmfeile der Größe ISO 25 nachgearbeitet. Zum Schluss wurde die vollständige Durchgängigkeit des Kanals durch eine K-Feile ISO 15 über das Foramen physiologicum hinaus überprüft. Während der Aufbereitung sind die Kanäle mit NaOCl 3% (2 ml nach Benutzung jeder Feile bzw. jedes Gates-Glidden Bohrers) gespült worden. Die Zähne wurden immer in feuchten Mull-Läppchen aufbewahrt, um eine Austrocknung und Rissbildung zu vermeiden. Nach der Aufbereitung wurden die Kanäle mit 10 ml 15%-iger EDTA (pH 7,4) zur Entfernung des Smear layers gespült, im Anschluss mit 10 ml 3%-iger NaOCl Lösung gespült und abschließend in steriler Kochsalzlösung bis zur Obturation gelagert. Diese

manuelle Aufbereitungstechnik wurde bei allen Gruppen außer der Gruppe 5 angewandt.

Bei der Gruppe 5 wurde die maschinelle Aufbereitungstechnik mithilfe eines Endosteppers[®] (VDW, Deutschland) und ProFile[®] (Dentsply, Schweiz) durchgeführt. Die Kanäle wurden initial auf ihre apikale Durchgängigkeit mittels ISO 15 K-Flexofile[®] hin überprüft (katheterisiert). Danach erfolgte die Crown-Down-Phase in nachfolgender Reihenfolge mit folgenden Instrumenten:

- ProFile[®] Orifice Shaper 3 (ISO 40/Taper 0.06)
- ProFile[®] Orifice Shaper 2 (ISO 30/Taper 0.06)
- ProFile[®] (ISO 25/Taper 0.06)
- ProFile[®] (ISO 20/Taper 0.06)
- ProFile[®] (ISO 25/Taper 0.04)
- ProFile[®] (ISO 20/Taper 0.04)

Mit dem letzten Instrument sollte möglichst die Arbeitslänge erreicht werden. Falls dies nicht möglich war, wurde der Kanal mittels eines ISO 20/Taper 0.02 manuell bis auf die Arbeitslänge erweitert. Bei Gruppe 5 erfolgte kein Step-Back.

Während der Aufbereitung wurde nach jeder Feile mit 2 ml 3%-iger NaOCl gespült. Nach Abschluss der Aufbereitung wurden die Kanäle mit 10 ml 15%-iger EDTA-Lösung und danach mit 10 ml 3%-iger NaOCl Lösung gespült und anschließend bis zur Obturation in steriler Kochsalzlösung gelagert.

Unmittelbar vor der Obturation wurden die Kanäle mittels Papierspitzen getrocknet. Danach wurde gruppenbezogen das entsprechende Wurzelfüllmaterial verwandt.

Da das Ziel der vorliegenden Studie im Vergleich verschiedener Wurzelkanalfüllungen bestand, wurden nach Beendigung des Abfüllprozesses die zu untersuchenden Zähne, im Gegensatz zum klinischen Vorgang, bewusst nicht mit einem adhäsiven Verschluss versorgt.

2.3 Wurzelkanalfüllungen der zu untersuchenden Zähne

Vorgehen Gruppe 1

Wurzelfüllmaterial: AH Plus™ und laterale Kondensationstechnik von Guttapercha

Nach Trocknung des Kanals mit Papierspitzen wurde die Passung des Guttapercha-Masterpoints mittels "Tug Back" – apikale Friktion des Masterpoints, das äußert sich als leichter Widerstand beim Herausnehmen des Masterpoints - überprüft und bei zu schmalen Masterpoints gemäß der Lehre entsprechend gekürzt. Ein ISO-genormter, mit AH Plus™ benetzter Guttapercha-Stift wurde in den Wurzelkanal eingeführt. Dazu ist der mit Sealer benetzte Guttapercha-Stift mehrfach im Kanal auf und ab bewegt worden (Pumpbewegung), um die vollständige Benetzung der Wurzelkanalwände mit Sealer zu gewährleisten. Danach wurde der Guttapercha-Stift auf die Arbeitslänge, also 0,5 mm bis vor den anatomischen Apex geschoben. Mit Hilfe von Spreadern wurde die laterale Kondensation durchgeführt, um Platz für weitere genormte akzessorische Guttapercha-Stifte zu schaffen. Dieser Schritt wurde so häufig wiederholt, bis keine weiteren akzessorischen Guttapercha-Stifte inserierbar waren. Durch einen heißen Heidemann-Spatel wurden die koronal überragenden Überschüsse der Guttapercha-Stifte abgetrennt. Es folgte die vertikale Kondensation und Angleichen der Guttapercha am Kanalseingang mittels eines Pluggers. Zum Abschluss wurde die koronale Kavität gesäubert.

Vorgehen Gruppe 2

Wurzelfüllmaterial: AH Plus™ und K-0142

Zuerst wurde die Passung des K-0142 Stiftes (siehe Abb.1) überprüft. Dieser wurde im Anschluss mit AH Plus™ benetzt und in den Kanal eingeführt. Anschließend wurde der Stift mit einem heißen Instrument gekürzt und der Kanal mittels eines Thermo-Cut (Dentsply Maillefer, Schweiz) koronal abgedichtet.

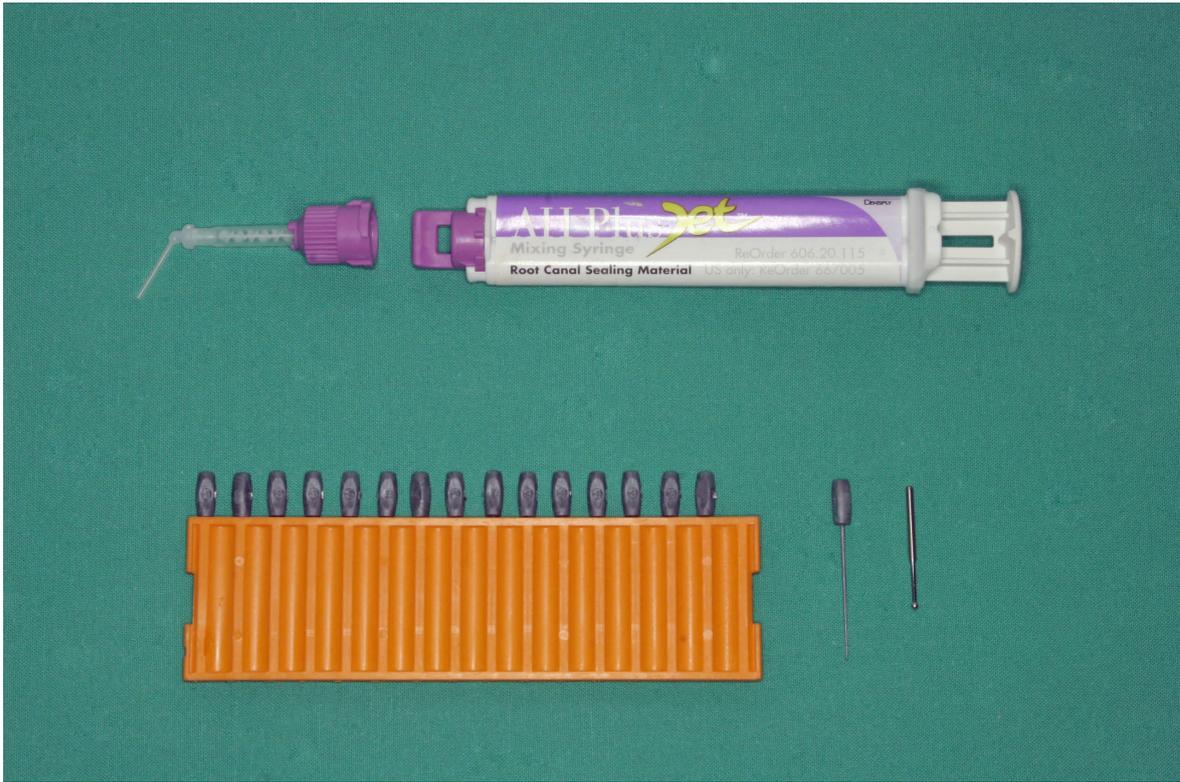


Abb. 1: Wurzelfüllmaterialen der Gruppe 2: AH Plus™ und K-0142 (Dentsply)

Vorgehen Gruppe 3

Wurzelfüllmaterial: Relison®/Epiphany®SE™

Nach der Aufbereitung wurden die Kanäle mit 10 ml EDTA zur Smear layer Entfernung gespült. Danach erfolgte eine Spülung mit 10 ml einer 3%-igen NaOCl Lösung und abschließend als Schlusspülung wurde 10 ml sterile NaCl-Lösung benutzt (nur in Gruppe 3).

Die Wurzelkanäle wurden mit zur Aufbereitungsgröße analoger Papierspitzen getrocknet. In der Folge wurden die Epiphany® Spitzen probeweise eingesetzt um sicherzustellen, dass die gewählten Spitzen die Arbeitslänge mit Tug Back erreichen. Auf einem Mischblock wurde der Epiphany®SE™ Selbstätz-Kunststoffversiegler verteilt. Mittels einer mit Versiegler beschichteten Papierspitze ist dieser auf die Kanalwände aufgetragen worden. Es folgten die Füllung der Kanäle mit Epiphany Spitzen sowie deren laterale Kondensierung, wobei jede Zusatzspitze mit dem Versiegler benetzt wurde. Der überschüssige Versiegler

wurde mit Alkohol vom Kammerboden entfernt. Zum Schluss wurde die Zugangskavität versiegelt und für 40 Sekunden mittels einer UV-Lampe lichtgehärtet.

Vorgehen Gruppe 4

Wurzelfüllmaterial: GuttaFlow®

Ein Masterpoint ISO 45 aus Guttapercha wurde auf die Arbeitslänge angepasst und in den Kanal eingesetzt. Zur Ermittlung der Füllungstiefe wurde die Arbeitslänge mittels eines Stoppers auf dem Canal Tip markiert. Der Canal Tip wurde vorsichtig bis zur Erreichung der Arbeitslänge in den Kanal eingebracht. Es wurde kontrolliert, ob die Markierung der Arbeitslänge entspricht. Danach erfolgte die Entfernung des Canal Tips aus dem Kanal. Der Stopper wurde 3 mm in Richtung der Austrittsöffnung des Canal Tips verschoben, um den Ausgangspunkt für die GuttaFlow® Füllungstiefe zu setzen.

Das Material ist durch Schieben der grünen Kappe über die Kapsel aktiviert worden. Danach erfolgte die Entfernung der Kappe und anschließend die Mischung der Kapsel für 30 Sekunden auf einem Triturator (Triturator-Schwingfrequenz 2.000-4.500/min). Im Anschluss wurde der grüne Verschlussstift aus der Kapsel entfernt und der mit Stopper versehene Canal Tip auf die Kapsel aufgeschraubt. Danach wurde die GuttaFlow® Kapsel in das Applikationsgerät eingebracht.

Zur Sichtkontrolle ist vorab etwas Material ausgetragen und mit der Farbskala auf der Step-by-Step Karte abgeglichen worden. Der Canal Tip wurde, bis zur voreingestellten Tiefe durch den Stopper, in den Kanal eingebracht. Etwas GuttaFlow® wurde vorsichtig in den Kanal eingeführt, bis das Material sichtbar wurde. Danach folgte die Entfernung des Canal Tips aus dem Kanal. Ein wenig GuttaFlow® wurde auf einen Anmischblock gebracht. Dann ist der Masterpoint mit GuttaFlow® benetzt und langsam in den Kanal eingeführt worden. Der verbleibende Teil des Kanals wurde mit GuttaFlow® aufgefüllt. Abschließend erfolgte die Einkürzung des Masterpoints mit einem heißen Instrument.

Vorgehen Gruppe 5

Wurzelfüllmaterial: Thermafil®

Die Gruppe 5 unterscheidet sich bei der Aufbereitung von den restlichen Gruppen dadurch, dass statt der manuellen Wurzelkanalaufbereitung eine maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mittels eines Endosteppers mit anschließender Füllung der Kanäle mit Thermafil® angewandt wurde.

Vor der Obturation mit Thermafil® wurden die Kanäle sorgfältig mittels Papierspitzen getrocknet. Danach wurde mit Hilfe einer Messlehre, dem sogenannten Verifier, die passende Thermafil®-Größe ermittelt. Es folgte die Einbringung einer kleinen Menge aus dem Sealer AH Plus Jet™ (Dentsply DeTrey, Konstanz) mit der Papierspitze in den Wurzelkanal. Danach wurde der Thermafil®-Obturator im Thermaprep Plus® Ofen für ca. 15 Sekunden erwärmt. Im Anschluss wurde der Thermafil®-Obturator ohne Drehen oder Schrauben mit festem Druck in Richtung Apex bis zur Arbeitslänge in den Kanal eingeführt. Der Griff des Thermafil®-Obturator wurde mit dem Therma-Cut (Dentsply, Schweiz) abgeschmolzen (Turbine 300.000 U/min). Es folgte die Entfernung der Guttapercha Überschüsse mittels eines Exkavators sowie die Kondensierung der weichen Guttapercha mit einem Stopfer.

Vorgehen Gruppe 6

Wurzelfüllmaterial: ein einziger Guttapercha-Stift ohne Sealer

Gruppe 6 bzw. die positive Kontrollgruppe wurde ohne die Anwendung von Sealer mit einem Guttapercha-Stift gefüllt. Dadurch wurde die Dichtigkeit der Wurzelfüllung vermindert. Daher gilt diese Gruppe als positive Kontrollgruppe.

Vorgehen Gruppe 7

Wurzelfüllmaterial: Klebewachs

Die Zähne der Gruppe 7 wurden komplett mit Klebewachs ummantelt. Nur der Kanaleingang wurde frei von Klebewachs gehalten. Dadurch wurde die apikale Dichtigkeit sichergestellt. Gruppe 7 gilt als negative Kontrollgruppe.

2.4 Lagerung

Die Zähne aller Gruppen wurden unmittelbar nach der Versorgung mit einer Wurzelfüllung für eine Woche in einem Inkubator (37°C und 100% Luftfeuchtigkeit) gelagert, um die definitive Härtung der Sealer zu erreichen.

Danach erfolgte die weitere Lagerung aller gefüllten Zähne für eine weitere Woche in einer 0,1%-igen Benzoesäure zur Keimreduzierung.

2.5 Aufbau des Glucosepenetrationstests

Die Eppendorf Tubes (1,5ml) und Eppendorf Pipetten wurden vorbereitet, indem die Spitzen mit einer Säge abgetrennt wurden. Die Enden der Eppendorf Pipetten mussten gekürzt werden, damit sie hinsichtlich Durchmesser und Länge in den Inkubator passten. Die Eppendorf Pipetten wurden - ebenso wie die jeweilige Zahnschmelzspitze im Eppendorf Tube - mit Sekundenkleber und Klebewachs an dem Zahn befestigt. Danach erfolgte die Befestigung der Eppendorf Tubes mit dem Rollrandglasdeckel mittels Klebewachs. Das Klebewachs hatte hierbei eine Abdichtungs- und Befestigungsfunktion. Um Stabilität zu schaffen, wurden die Aufbauten zusätzlich mittels Putty von Provil[®], einem A-Silikon (Heraeus Kulzer, Deutschland), stabilisiert (siehe Abb.2 und 3).

Die Eppendorf Pipette wurde mit 5 ml Glucoselösung und 0,1% Benzoesäure gefüllt. Das Rollrandglas, in das die jeweilige Zahnschmelzspitze hineinragte, wurde mit 1 ml 0,1%-iger Benzoesäure gefüllt. Zum Schluss wurden die Eppendorf Tubes mit dazu gehörigen Eppendorf-Deckeln verschlossen. Zur Verminderung der Verdunstung wurde der Aufbau zusätzlich mit Parafilm, einer Abdichtungsfolie, abgedichtet.

Zuletzt erfolgte die Beschriftung der Proben mit Gruppen-Nummer, Zahn-Nummer und Datum des Aufbaus.

Die Aufbauten wurden in einem Inkubator mit 100%-iger Luftfeuchtigkeit gelagert. Um eine optimale Luftfeuchtigkeit von 100% zu gewährleisten, wurden zusätzlich Gefäße mit Wasser in den Inkubator gestellt.

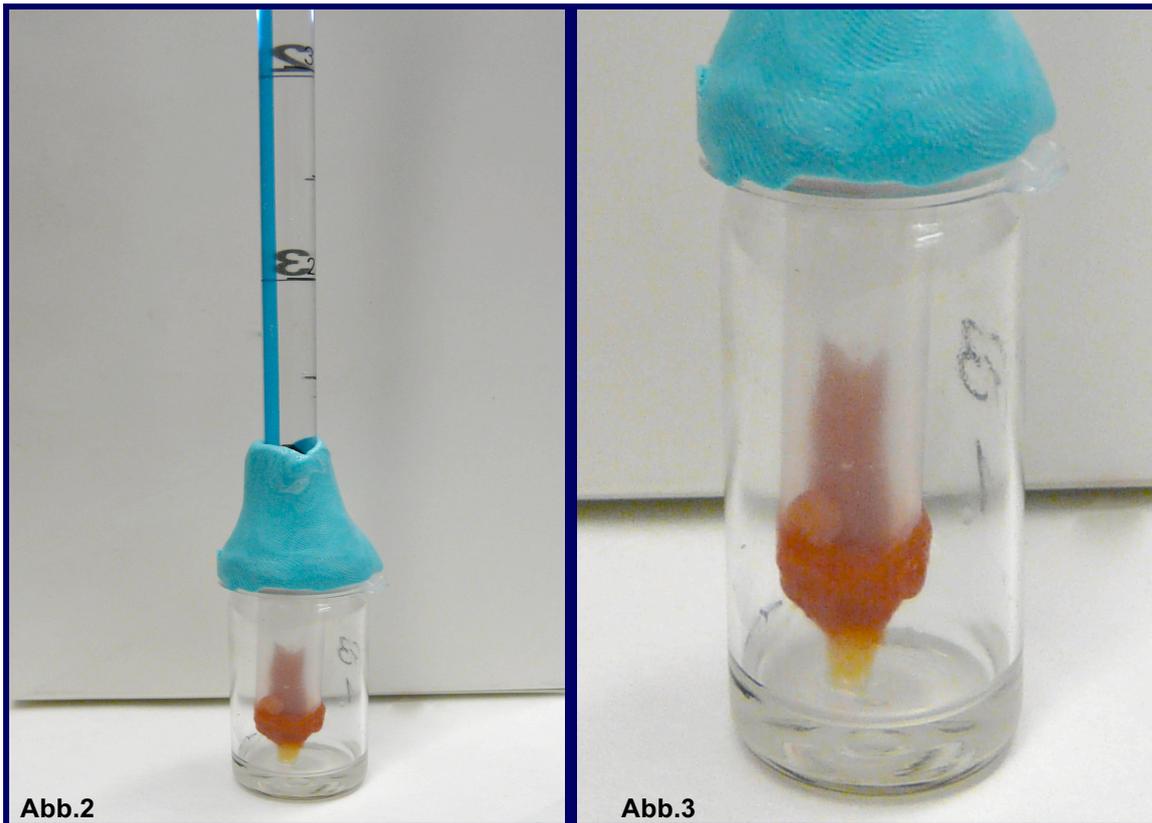


Abb.2: Übersichtaufnahme für den Glucosepenetrationstest.

Abb.3: Detailaufnahme für den Glucosepenetrationstest.

2.6 Probenentnahme

Die Probenentnahme aus dem Rollrandglas erfolgte mit einer Mikropipette in ein Eppendorf Tube. Es wurden Proben von 200 µl in festgelegten Messzeitpunkten von 0, 7, 14, 21 und 28 Tagen entnommen. Nach der Probenentnahme sind die entnommenen Flüssigkeitsmengen von 200 µl durch frische 0,1% Benzoesäure ersetzt worden, um die gleiche Flüssigkeitsmenge im Rollrandglas für die nächste Probenentnahme zu gewährleisten.

Die entnommenen Proben wurden in beschrifteten Eppendorf Tubes (Probennummer, Tag der Entnahme) aufbewahrt. Die Eppendorf Tubes mit den Proben wurden bis zur Testung mittels Enzyme-linked Immunosorbent Assay; (ELISA; Sigma[®], USA) bei minus 20°C tiefgefroren.

Nach jeder Probenentnahme wurde der Parafilm am Aufbau gewechselt, um eine Verdunstung zu vermeiden.

Lösungs-Vorbereitung für die Probenanalyse

Die Probenanalyse wurde mittels Glucose Assay Kit (Sigma[®], USA) mit der ELISA-Methode durchgeführt. Die einzelnen Proben von Messzeitpunkt Null wurden unverdünnt (pur) getestet, da davon auszugehen war, dass am Aufbau-tag keine Glucose im Rollrandglas vorhanden war. Erst ab Messzeitpunkt 1 wurden die einzelnen Proben verdünnt; dies erfolgte in Abhängigkeit von den Ergebnissen der vorherigen Messung.

Probenanalyse nach der ELISA-Methode

Es wurden 5 Eppendorf Tubes - Blank Reagent und Standard 1.4 - für die Standardkurve aufgestellt. Hinzu kamen die zu testenden Proben. Zu allen Proben wurde 190 µl destilliertes Wasser (Aquadest) zugefügt, so dass in allen Eppendorf Tubes insgesamt 200 µl Flüssigkeit enthalten waren.

Erstmals wurden zwei Reagenzien vorbereitet:

- Glucose Oxidase / Peroxidase Reagent: 500 Einheiten Glucose - Oxidase (*Aspergillus niger*), 100 Purpurogallin Einheiten von Peroxidase (horseradish) und Buffersalze, diese wurden mit 39,2 ml destilliertem Wasser angemischt
- o-Dianisidine Reagent: 5 mg o-Dianisidine dihydrochloride wurden mit 1 ml destilliertem Wasser angemischt.

Aus den o. g. Reagenzien wurde der Assay Reagent (AR) hergestellt. Hierzu erfolgte die Mischung von 0,8 ml o-Dianisidine Reagent mit 39,2 ml Glucose Oxidase/ Peroxidase Reagent.

Eppendorf Tubes:

Blank Reagent = 200 µl Aquadest+ 400 µl Assay Reagent (AR)

Standard 1 = 200 µl * + 400 µl AR

Standard 2 = 200 µl ** + 400 µl AR

Standard 3 = 200 µl *** + 400 µl AR

Standard 4 = 200 µl **** + 400 µl AR

Probe = 10 µl (Probe) + 190µl Aquadest + 400 µl AR

- * 200 µl einer Lösung aus 20 µl Glucose + 980 µl H₂O.
- ** 200 µl einer Lösung aus 40 µl Glucose + 960 µl H₂O.
- *** 200 µl einer Lösung aus 60 µl Glucose + 940 µl H₂O.
- **** 200 µl einer Lösung aus 80 µl Glucose + 920 µl H₂O.

Die Zugabe von AR zu den Proben bzw. zu den Standardreagenzien fand unter Zeitmessung statt. Die Zeitmessung zwischen jeder Addition von AR betrug dabei 30 bis 60 Sekunden. Sofort nach der AR-Zugabe wurden die Proben bzw. die Standardreagenzien für 30 Minuten bei 37°C in den Inkubator gestellt. Die Reaktion wurde mittels Zugabe von 400 µl H₂SO₄ gestoppt. Um 50 ml H₂SO₄-Lösung zu erhalten, sind 16,67 ml H₂SO₄ + 33,33 ml H₂O gemischt worden.

Verdünnungen

Die Proben von Zeitpunkt Null wurden pur ohne Verdünnungen gemessen. Weitere Proben wurden je nach Messergebnisse von Zeitpunkt Null und 1 verdünnt. Die Bestimmung des Verdünnungsfaktors erfolgte ebenso.

Wenn bspw. zum Zeitpunkt Null oder 1 bereits erhöhte Glucosewerte nachgewiesen werden konnten, mussten die Proben ab Zeitpunkt 2 verdünnt werden, um die Messbarkeit der Glucosemenge durch die Spektrophotometrie zu gewährleisten.

Spektrophotometrische Messung

Nach Reaktions-Stopp wurden die Proben bzw. die Standardreagenzien mittels Spektrophotometrie gemessen. Die Messung erfolgte bei einer Wellenlänge von 540 nm.

Der Inhalt jeder Probe wurde in einer Messungs-Küvette pipettiert. Daraufhin wurde die Probe bei 540 nm gemessen. Die Ergebnisse sind tabellarisch übertragen worden.

2.7 Statistische Auswertungen

Um statistische Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Glucosekonzentration zu ermitteln, wurden die Daten zunächst mit Kruskal-Wallis-Test analysiert. Als Nachtestung wurde der Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Um Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Anzahl undichter Proben festzustellen, wurde der Chi-Quadrat-Test verwendet. Wenn die Bedingungen für die Anwendung des Chi-Quadrat-Tests (wie beispielsweise $n < 5$ in einem Tabellenfeld) nicht erfüllt waren, wurde der exakte Test nach Fisher verwendet.

Für die Ermittlung von Gruppenunterschieden bezüglich der penetrierten Glucosemenge wurde zunächst der Kruskal-Wallis-Test angewendet. Dieser Test zeigte an, dass es zwischen den Gruppen signifikante Unterschiede gab, aber nicht zwischen welchen Gruppen. Um zu bestimmen, welche Gruppe sich voneinander statistisch signifikant unterscheiden, wurde eine paarweise Nachtestung mit dem Mann-Whitney-U-Test vorgenommen. Für den Messzeitpunkt „Tag 0“ wurden mittels des Kruskal-Wallis-Tests keine Signifikanzen ermittelt, weshalb hier auch keine Nachtestung erfolgte.

Das Flussdiagramm stellt den Ablauf der Studie dar (siehe Abb.4).

Für alle statistischen Angaben wurde eine α -Fehlerwahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ als statistisch signifikant festgelegt.

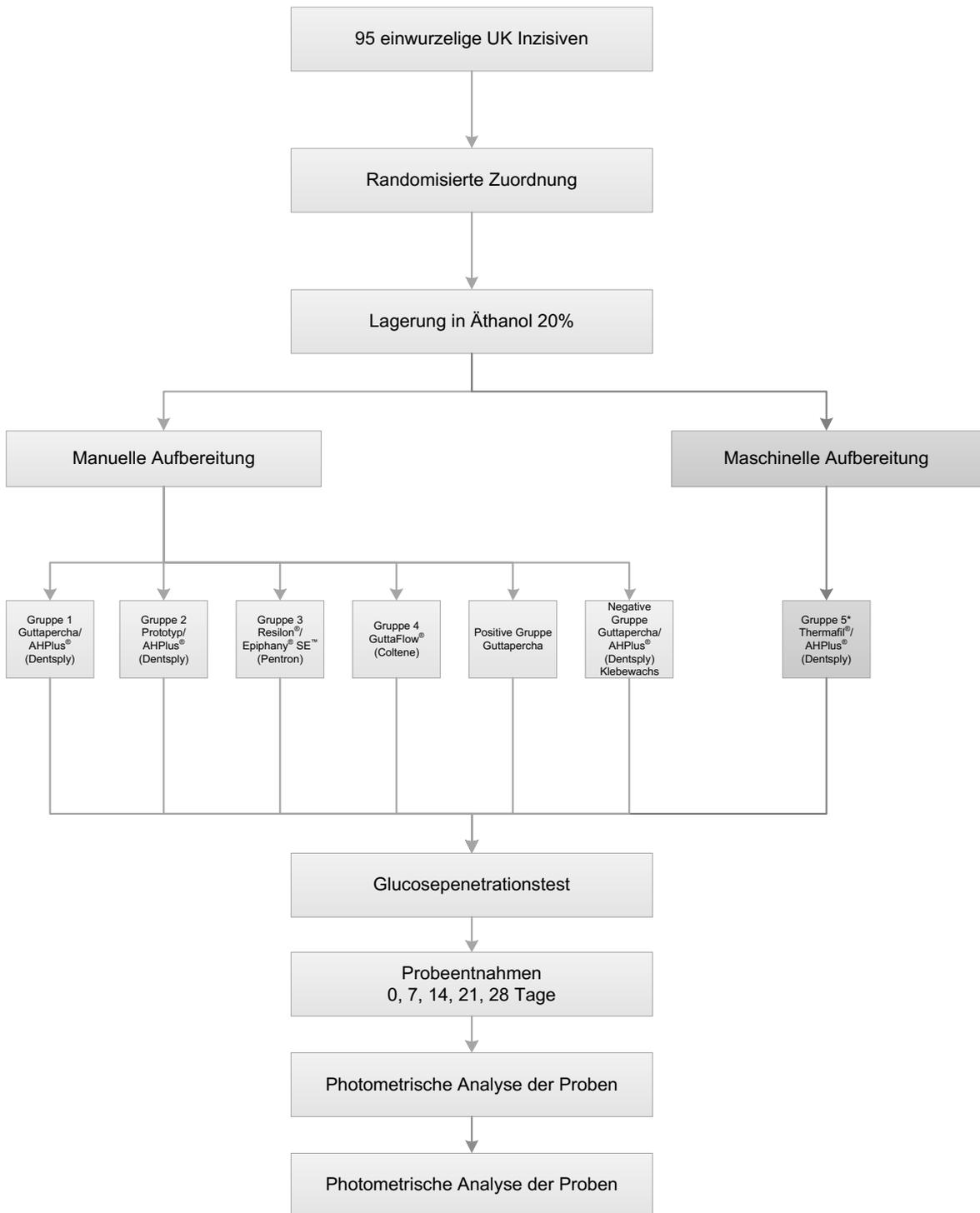


Abb. 4: Darstellung des Studienablaufs als Flussdiagramm.

3. Ergebnisse

Während der gesamten Dauer des Experiments waren alle Proben der negativen und positiven Gruppen undicht bzw. dicht und zu allen Messzeitpunkten statistisch signifikant unterschiedlich. Am ersten Tag penetrierte in allen Proben der positiven Kontrollgruppe die gesamte Flüssigkeitsmenge aus dem oberen Reservoir (5 ml) in das untere Reservoir. Zu allen Messzeitpunkten waren positive und negative Proben signifikant unterschiedlich.

Aus den Testgruppen mussten 7% der Proben aus diversen Gründen, die nachfolgend beschrieben sind, verworfen werden, z. B. bei Bruch der Versiegelung zwischen Plastikröhrchen und Zahn. Aus diesem Grund waren in der Gruppe 4 (GuttaFlow[®]) am letzten Messpunkt (Tag 28) nur noch 60% der Proben messbar, in der negativen Kontrollgruppe waren zum Schluss 90% der Proben messbar.

Am zweiten Messzeitpunkt (nach 7 Tagen) waren in der Guttapercha und AH Plus[™] Gruppe schon 53% undicht, bei Thermafil 46,7% und K-0142 60%. Dagegen war in der Testgruppe Relison[®]/Epiphany[®]SE[™] nur 6,7% undicht und hat zu diesem Zeitpunkt am besten abgeschnitten.

Bei der Testgruppe Relison[®]/Epiphany[®]SE[™] sind ab Messzeitpunkt 3 (nach 14 Tagen) 20% undicht und das blieb bis Ende der Studie unverändert. Bei der GuttaFlow[®] Gruppe konnte nach 7 Tagen eine 15,4% Undichtigkeit nachgewiesen werden, zu diesem Zeitpunkt mehr als bei Epiphany. Dagegen waren zu späteren Messzeitpunkten nur leichte Differenzen des Ergebnisses nachweisbar.

Am letzten Messtag waren in keiner der Testgruppen alle Proben undicht. In der Gruppe AH Plus[™] fiel auf, dass zum Abschluss des Experimentes 93% der Proben undicht waren. In der Gruppe K-0142 waren 80% und in der Gruppe Thermafil[®] 73% der Proben undicht. Besser schnitten die Gruppen Epiphany[®]SE[™] (23% der Proben undicht) und GuttaFlow[®] (11% der Proben undicht) bis zum Ende des Versuches ab.

Aus der ersten Grafik können die kumulativen Werte bezüglich der Menge undichter Proben ersehen werden (Abb5).

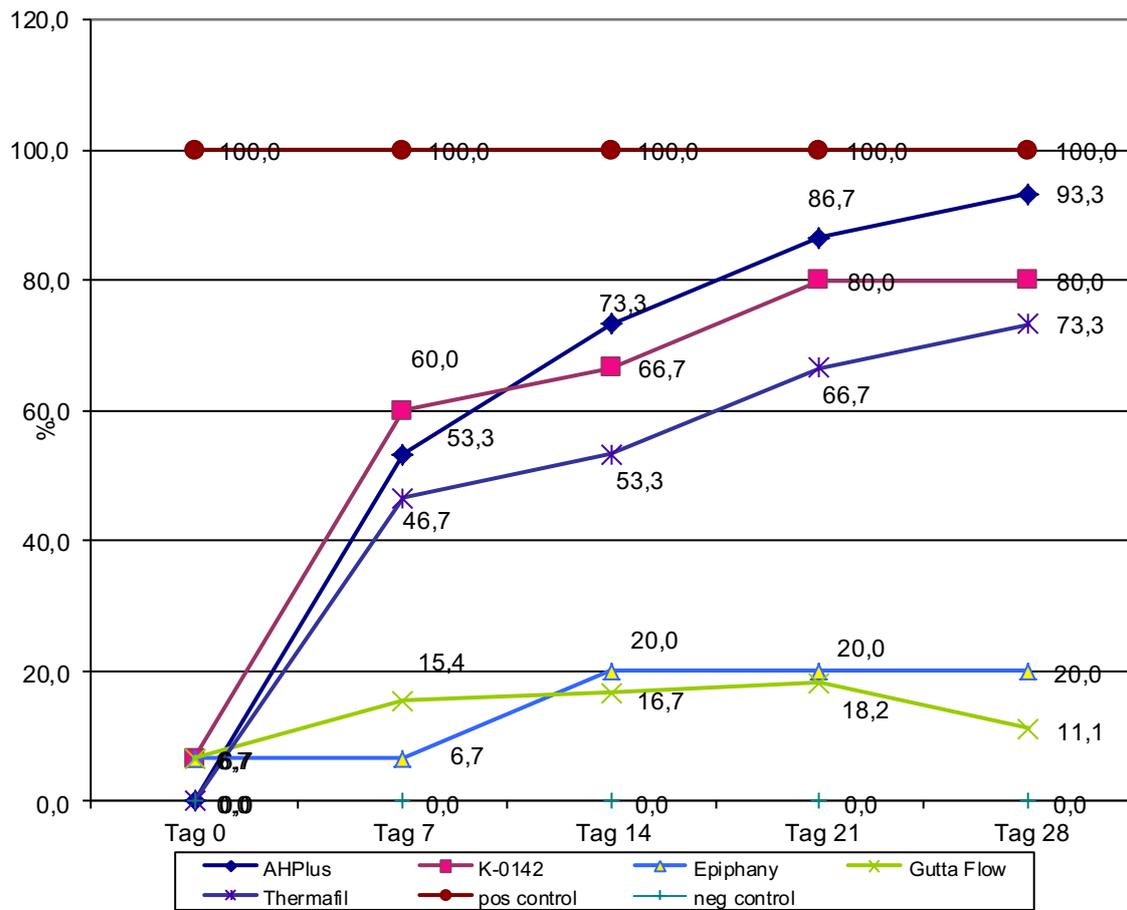


Abb.5: Prozentualer Anteil undichter Proben der jeweiligen Testgruppen zu allen fünf Messzeitpunkten.

In Tabelle 1 sind die Gruppen paarweise aufgeführt. Sie zeigt die signifikanten Unterschiede der undichten Proben zwischen den Gruppen zu allen vier Messzeitpunkten. Zeitpunkt Null wurde nicht berücksichtigt.

		Tag 7	Tag 14	Tag 21	Tag 28
AHPlus™	K-0142	(1)=0,14, p=0,71 ^a	(1)=0,16, p=1,00 ^b	(1)=0,24, p=1,00 ^b	(1)=1,15, p=0,60 ^b
AHPlus™	Epiphany®SE™	(1)=7,78, p=0,01^b	(1)=8,57, p=0,01^b	(1)=13,39, p=0,00^b	(1)=16,43, p=0,00^b
AHPlus™	GuttaFlow®	(1)=4,37, p=0,06 ^b	(1)=8,58, p=0,01^b	(1)=12,19, p=0,00^b	(1)=16,23, p=0,00^b
AHPlus™	Thermafil®	(1)=0,13, p=0,72 ^a	(1)=1,29, p=0,26 ^a	(1)=1,68, p=0,39 ^b	(1)=2,16, p=0,33 ^b
AHPlus™	Positive Gruppe	(1)=6,48, p=0,02^b	(1)=3,18, p=0,13 ^b	(1)=1,45, p=0,50 ^b	(1)=0,69, p=1,00 ^b
AHPlus™	Negative Gruppe	(1)=7,84, p=0,01^b	(1)=13,10, p=0,00^b	(1)=17,02, p=0,00^b	(1)=20,16, p=0,00^b
K-0142	Epiphany®SE™	(1)=9,60, p=0,01^b	(1)=6,65, p=0,03^b	(1)=10,80, P=0,00^b	(1)=10,80, p=0,00^b
K-0142	GuttaFlow®	(1)=5,81, p=0,02^b	(1)=6,75, p=0,02^b	(1)=9,76, p=0,00^b	(1)=10,75, p=0,00^b
K-0142	Thermafil®	(1)=0,54, p=0,46 ^a	(1)=0,56, p=0,46 ^a	(1)=0,68, p=0,68 ^b	(1)=0,19, p=1,00 ^b
K-0142	Positive Gruppe	(1)=5,26, p=0,05 ^b	(1)=4,17, p=0,06 ^b	(1)=2,27, p=0,25 ^b	(1)=2,27, p=0,25 ^b
K-0142	Negative Gruppe	(1)=9,38, p=0,00^b	(1)=11,11, p=0,00^b	(1)=14,40, p=0,00^b	(1)=14,40, p=0,00^b
Epiphany®SE™	GuttaFlow®	(1)=0,55, p=0,59 ^b	(1)=0,05, p=1,00 ^b	(1)=0,14, p=1,00 ^b	(1)=0,32, p=1,00 ^b
Epiphany®SE™	Thermafil®	(1)=6,14, p=0,04^b	(1)=3,59, p=0,13 ^b	(1)=6,65, p=0,03^b	(1)=8,57, p=0,01^b
Epiphany®SE™	Positive Gruppe	(1)=21,21, p=0,00^b	(1)=15,39, p=0,00^b	(1)=15,39, p=0,00^b	(1)=15,39, p=0,00^b
Epiphany®SE™	Negative Gruppe	(1)=0,69, p=1,00 ^b	(1)=2,27, p=0,25 ^b	(1)=2,06, p=0,27 ^b	(1)=2,06, p=0,27 ^b
GuttaFlow®	Thermafil®	(1)=3,13, p=0,11 ^b	(1)=3,84, p=0,11 ^b	(1)=6,00, p=0,02^b	(1)=8,71, p=0,01^b
GuttaFlow®	Positive Gruppe	(1)=16,22, p=0,00^b	(1)=15,28, p=0,00^b	(1)=14,32, p=0,00^b	(1)=15,35, p=0,00^b
GuttaFlow®	Negative Gruppe	(1)=1,69, p=0,49 ^b	(1)=1,83, p=0,48 ^b	(1)=1,82, p=0,48 ^b	(1)=1,06, p=1,00 ^b
Thermafil®	Positive Gruppe	(1)=7,84, p=0,01^b	(1)=6,48, p=0,02^b	(1)=4,17, p=0,06 ^b	(1)=3,18, p=0,13 ^b
Thermafil®	Negative Gruppe	(1)=6,48, p=0,02^b	(1)=7,84, p=0,01^b	(1)=10,29, p=0,00^b	(1)=12,19, p=0,00^b

Tabelle 1: Paarweise Gruppenvergleiche zu den vier Messzeitpunkten Tag 7, 14, 21, 28, die Baseline Messung wurde hierbei nicht berücksichtigt.

^a: Chi-Quadrat-Test. Signifikante Ergebnisse wurden fett markiert.

^b: Exakter Test nach Fisher. Signifikante Ergebnisse wurden fett markiert.

Interessant ist in Tabelle 1 der Vergleich zwischen der Standardtechnik mittels Guttapercha und AH Plus™ und der Neutechnik K-0142. Die Ergebnisse zeigen über die ganze Studiendauer keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den zwei Methoden. Dabei hat die AH Plus™ Gruppe den höchsten zeitlichen Aufwand im direkten Vergleich zur K-0142 Gruppe.

Alle Testgruppen hatten dauerhaft zu allen Messpunkten eine statistisch signifikant geringere Glucosepenetration als die positive Kontrollgruppe. Keine Gruppe erreichte während der Versuchsdauer die gleich hohe Menge an penetrierter Glucose wie die positive Kontrollgruppe.

Die drei Testgruppen, in denen AH Plus™ als Sealer verwendet wurde, Gruppe AH Plus, Gruppe K-0142 und die Thermafil®-Gruppe sowie die positive Kontrollgruppe wiesen zu allen Messzeitpunkten signifikant höhere Glucosekonzentrationen auf als die negative Kontrollgruppe. Bemerkenswert war auch, dass die Gruppe 4 (Epiphany®SE™) und Gruppe 5 (GuttaFlow®) über die 4 Wochen keinen statistisch signifikanten Unterschied aufwiesen. Beide Gruppen zeigten zusätzlich keine statistische Signifikanz zur negativen Kontrollgruppe.

Die Abb. 6 erläutert die Glucosekonzentrations-Mediane aller Gruppen zu den 4 Messentnahmepunkten in den Rollrandgläschen. Die Höhe der gemessenen Glucosekonzentration korreliert mit der Undichtigkeit der Füllung. Der Messzeitpunkt Null wurde in der Abb. 6 nicht berücksichtigt, da zu Beginn des Versuchsaufbaus alle Proben dicht waren und in der positiven Kontrollgruppe die komplette Flüssigkeit penetrierte.

Die positive Kontrollgruppe lag zu allen Messzeitpunkten bei 30273,57 mg/ml

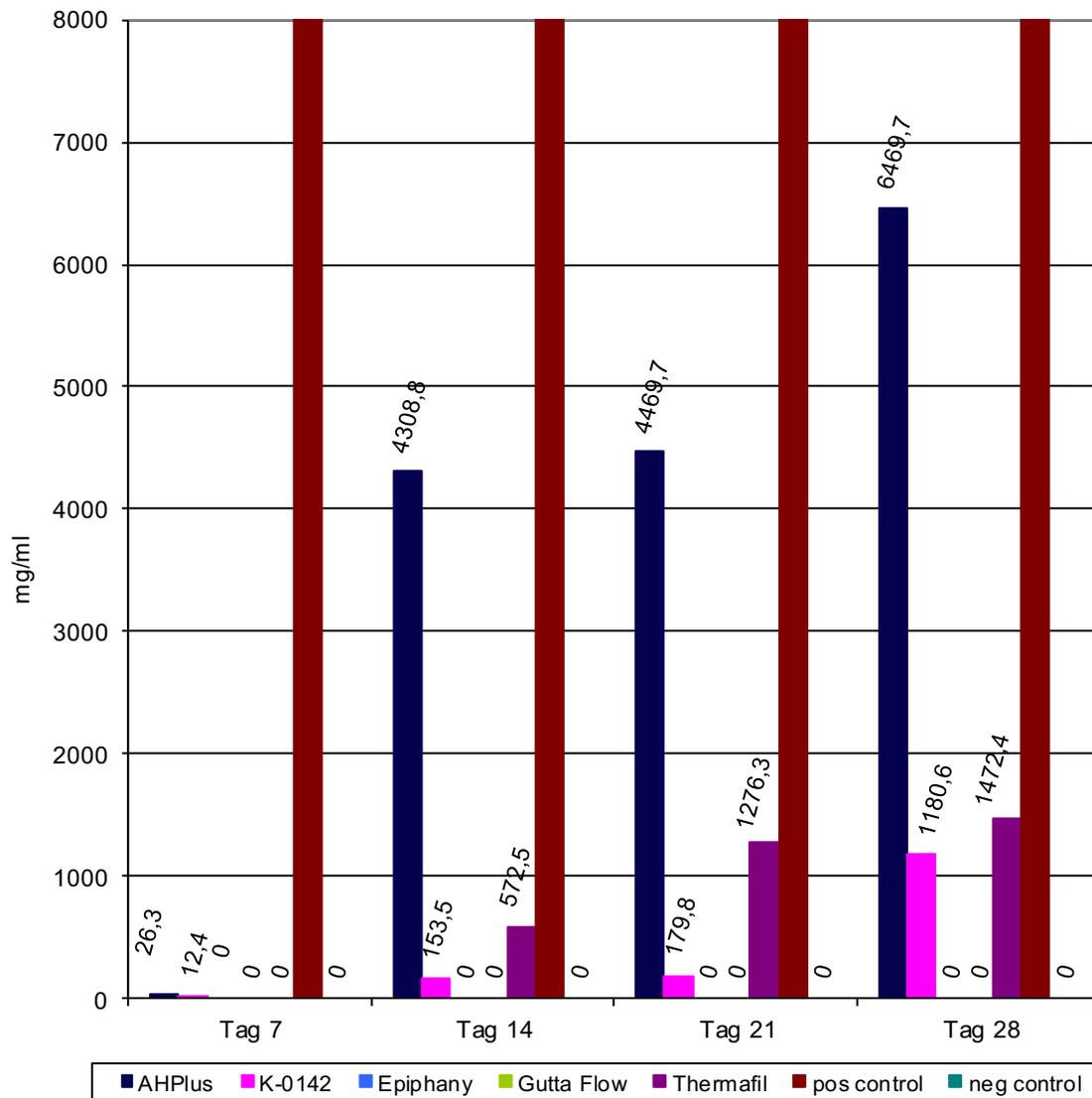


Abb. 6: Entwichene Glucosemenge (dargestellt als Mediane) für alle fünf Gruppen über alle Messzeitpunkte.

Tabelle 2 zeigt die durch Mann-Whitney-Test statistisch signifikanten Unterschiede der Glucosekonzentration zwischen den einzelnen Gruppen zu den jeweiligen Messzeitpunkten im Überblick.

		Tag 7	Tag 14	Tag 21	Tag 28
AHPlus™	K-0142	U=107,00, p=0,81	U=69,00, p=0,07	U=54,00, p=0,02	U=53,50, p=0,01
AHPlus™	Epiphany®SE™	U=62,00, p=0,01	U=46,00, p=0,00	U=32,00, p=0,00	U=29,00, p=0,00
AHPlus™	GuttaFlow®	U=63,50, p=0,07	U=32,00, p=0,00	U=27,00, p=0,00	U=8,00, p=0,00
AHPlus™	Thermafil®	U=103,00, p=0,67	U=80,00, p=0,17	U=66,00, p=0,05	U=59,00, p=0,04
AHPlus™	Positive Gruppe	U=0,00, p=0,00	U=2,00, p=0,00	U=3,00, p=0,00	U=4,00, p=0,00
AHPlus™	Negative Gruppe	U=35,00, p=0,01	U=20,00, p=0,00	U=9,00, p=0,00	U=4,50, p=0,00
K-0142	Epiphany®SE™	U=55,00, p=0,00	U=65,00, p=0,03	U=53,00, p=0,01	U=52,00, p=0,01
K-0142	GuttaFlow®	U=58,00, p=0,04	U=47,00, p=0,02	U=41,50, p=0,03	U=23,00, p=0,01
K-0142	Thermafil®	U=104,00, p=0,71	U=106,50, p=0,80	U=110,50, p=0,93	U=98,00, p=0,76
K-0142	Positive Gruppe	U=0,00, p=0,00	U=0,00, p=0,00	U=0,00, p=0,00	U=0,00, p=0,00
K-0142	Negative Gruppe	U=30,00, p=0,00	U=25,00, p=0,00	U=13,50, p=0,00	U=13,50, p=0,00
Epiphany®SE™	GuttaFlow®	U=90,00, p=0,52	U=86,00, p=0,77	U=82,00, p=0,97	U=61,00, p=0,55
Epiphany®SE™	Thermafil®	U=68,00, p=0,02	U=73,00, p=0,06	U=61,00, p=0,02	U=56,00, p=0,02
Epiphany®SE™	Positive Gruppe	U=0,00, p=0,00	U=0,00, p=0,00	U=10,00, p=0,00	U=0,00, p=0,00
Epiphany®SE™	Negative Gruppe	U=70,00, p=0,41	U=60,00, p=0,14	U=54,00, p=0,16	U=54,00, p=0,16
GuttaFlow®	Thermafil®	U=64,00, p=0,06	U=57,00, p=0,06	U=47,50, p=0,05	U=24,00, p=0,01
GuttaFlow®	Positive Gruppe	U=0,00, p=0,00	U=0,00, p=0,00	U=1,00, p=0,00	U=0,00, p=0,00
GuttaFlow®	Negative Gruppe	U=55,00, p=0,21	U=50,00, p=0,19	U=40,50, p=0,19	U=36,00, p=0,32
Thermafil®	Positive Gruppe	U=0,00, p=0,00	U=1,00, p=0,00	U=1,00, p=0,00	U=0,00, p=0,00
Thermafil®	Negative Gruppe	U=40,00, p=0,01	U=35,00, p=0,01	U=22,50, p=0,00	U=18,00, p=0,00

Tabelle 2: Unterschiede der Glucosekonzentration zwischen den einzelnen Gruppen zu den jeweiligen Messzeitpunkten. Signifikante Ergebnisse wurden fett markiert.

4. Diskussion

Jährlich werden in Deutschland im Rahmen einer endodontischen Behandlung etwa zehn Millionen Wurzelkanalbehandlungen durchgeführt. Ihr Ziel besteht in einer Noxen- und Keimelimination (Hülsmann 2008), in einer Entfernung bakterieller Stoffwechselprodukte sowie nekrotischen Materials und dient somit der Erhaltung des jeweiligen geschädigten Zahns (Kiefner 2010). Als Indikationen einer Wurzelkanalbehandlung gelten eine chronische Pulpitis oder aber eine Pulpanekrose. Eine suffiziente Wurzelkanalbehandlung erfordert eine mechanisch-chemische Wurzelkanalaufbereitung mit einer anschließenden Wurzelkanalfüllung, deren Dichtigkeit die Voraussetzung für den Erfolg dieses Verfahrens ist (Guelzow et al. 2005; Haapasalo et al. 2000; Hülsmann 2001; Klimm 2003). Das Ziel der Wurzelkanalfüllung liegt in einem dauerhaften flüssigkeits- und bakteriendichten Verschlusses des gesamten Wurzelkanalsystems mit unlöslichen biokompatiblen Materialien (Endodontologie 2006; Steier 2006). Eine dichte Wurzelkanalfüllung verhindert, dass die nach der Aufbereitung des Wurzelkanalsystems möglicherweise in der Wurzel verbliebenen Mikroorganismen einen Zugang zu Nährstoffen und Flüssigkeiten finden und induziert so das Absterben der restlichen Keime (Delivanis et al. 1983; Kersten and Moorer 1989; Wu and Wesselink 1993).

In der vorliegenden in vitro-Studie wurde die erzielte Dichtigkeit der auf unterschiedlichen Wurzelkanalfüllmaterialien und -methoden basierenden Wurzelkanalfüllungen von 95 extrahierten menschlichen Zähnen verglichen. So wurde in diesem Zusammenhang ein Vergleich von Ein-Stift-Systemen (Thermafil[®]- und K-0142), Injektionstechnik (GuttaFlow[®]), kalter lateraler Kondensations-Technik (Guttapercha-Stifte mit AHPlus[™] Sealer) und einer dazu vergleichbaren kunststoffbasierten Technik Resilon[®]/ Epiphany[®]SE[™] vorgenommen. In dieser Studie erzielten GuttaFlow[®] und Resilon[®]/ Epiphany[®]SE[™] bessere Ergebnisse als die restlichen untersuchten Gruppen.

Für diese Ergebnisse sollten die folgenden Aspekte berücksichtigt bzw. diskutiert werden.

4.1 Anwendung und Handhabung der unterschiedlichen Wurzelfüllmaterialien

Zeitaufwand

Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Wurzelkanalfüllungen sind mit einem unterschiedlichen zeitlichen Aufwand verbunden, wobei dieser Zeitaufwand für die Organisation der in einer Zahnarztpraxis anfallenden Behandlungen von großer Bedeutung ist.

In den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit war für die laterale Kondensation und die Fülltechnik des Epiphany®-Systems im Vergleich zu den anderen angewandten Techniken der größte zeitliche Aufwand erforderlich, gefolgt von der GuttaFlow®-Methode. Die Thermafil®-Technik sowie die Handhabung des K-0142-Systems benötigten für ihre Durchführung die geringste Zeit.

In der Literatur wird bezüglich eines geringen zeitlichen Aufwands auf die Methode des Zentralstiftes verwiesen, bei der Guttapercha-Stifte durch Lösungsmittel behandelt werden, um eine verbesserte Adaption der Stifte zu erreichen (Wong et al. 1982). Diese Methode erfüllt aber nicht die Voraussetzung der Biokompatibilität, so dass sie sich zwar als schnell durchführbar, jedoch für eine Wurzelkanalfüllung ungeeignet erwiesen hat (O'Neill et al. 1983; Russin et al. 1980). Als Verfahren, bei dessen Anwendung es zu einem dreidimensionalen, dichten und homogenen Verschluss des Wurzelkanals kommt, gilt die Einbringung von erwärmter Guttapercha in den Wurzelkanal mittels vertikaler Kondensation nach Schilder aus dem Jahr 1967 (Gencoglu et al. 2002; Jarrett et al. 2004; Schilder 1967; Wu et al. 2001). Allerdings erfordert diese Methode Erfahrung in der Anwendung sowie einen hohen Zeitaufwand (Suter 1986). Insbesondere die lange Dauer dieses Verfahrens führte in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts zur Entwicklung innovativer Methoden zur Erwärmung des Guttapercha (Johnson 1978). Verwendung findet diese Methode in dem Thermafil®-Verfahren (Beatty et al. 1989), das auch in der vorliegenden Arbeit untersucht worden ist und das sich als zeitlich schnell anwendbar erwiesen hat. Dummer et al. (1993) konnten zeigen, dass die Anwendung des Thermafil®-Verfahrens im Vergleich zur lateralen Kondensation deutlich weniger Zeit in

Anspruch nimmt (Dummer et al. 1993). Die erhebliche Zeitersparnis der ThermoFil®-Technik wird auch in der neueren Literatur beschrieben (Chu et al. 2005). In der Literatur finden sich ebenfalls bereits aus den 70er- und 80er-Jahren stammende Hinweise auf die Zeitintensität, der als Standardtechnik der Wurzelkanalfüllung geltenden, lateralen Kondensation (Schäfer 2000; Wiener and Schilder 1971). Diese konnte sich bereits über einen langen Zeitraum im klinischen Alltag bewähren (Kontakiotis et al. 2007; Seltzer 1988). Das Verfahren der lateralen Kondensation hat sich auch in der vorliegenden Studie im Vergleich zu den Ein-Stift-Systemen als äußerst zeitaufwendig dargestellt. In dieser Studie benötigte das K-0142-System im Vergleich zu allen anderen Methoden den geringsten Arbeitsaufwand. Etwas aufwändiger zeigte sich die Verarbeitung von GuttaFlow®, da der Sealer vorher jeweils in einem separaten Gerät angemischt werden musste, wie auch in der Literatur beschrieben (Kqiko 2010).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Ergebnisse dieser Arbeit, bezüglich des zeitlichen Aufwands der bekannten differenten Wurzelkanalfüllungsmethoden und –materialien, mit den in der Literatur zu findenden Darstellungen übereinstimmen.

Ausgehend von den in der vorliegenden Studie erhobenen Werten zur Dichtigkeit der differenten Wurzelkanalfüllungen wird deutlich, dass der Zeitaufwand nicht mit der Dichtigkeit der Materialien korreliert, denn die zeitintensiven Materialien besitzen ein unterschiedliches Abdichtungsvermögen. So weist Epiphany® eine sehr gute Dichtigkeit auf, die laterale Kondensation erzielt hingegen weniger gute Ergebnisse.

Handhabung

Neben dem zeitlichen Aufwand ist es ebenso wichtig, die Handhabung der unterschiedlichen Materialien zu beurteilen. Die Ein-Stift-Systeme erweisen sich in der vorliegenden Arbeit als einfacher in ihrer Handhabung als die anderen untersuchten Methoden. Insbesondere K-0142 lässt sich anwenderfreundlich und einfach verarbeiten. Zudem muss der Stift beim K-0142 System nicht wie bei anderen Ein-Stift-Systemen vor der Anwendung erwärmt werden. Daher kommt es

bei der Anwendung des K-0142 Systems zu einer deutlichen Zeitersparnis. Beim Thermafil® System ist nach der Erwärmung die erfolgende relativ schnelle Abkühlung der Guttapercha schwieriger in der Anwendung, da weniger Zeit für eine präzise Einbringung in den Wurzelkanal zur Verfügung steht. Auch stellt sich die Handhabung der benötigten Instrumente teilweise als schwierig heraus (Hellwig 2009). Diese Aspekte finden in der Literatur ebenfalls Erwähnung (von Schroeter 2009).

Wurden die extrahierten Zähne der unterschiedlichen Gruppen dieser Arbeit einer visuellen Inspektion unterzogen, ließ sich feststellen, dass sich im Rahmen der Wurzelfüllung nur der zentrale Kunststoffkern, nicht aber die Guttapercha über die komplette Arbeitslänge einbringen ließ. Die Thermafil® Benutzung erwies sich in der täglichen Anwendung durch unterschiedliche Benutzer als sehr anwenderabhängig. Um einen Bias infolge interindividueller Varianz zu vermeiden, führte in dieser Studie ein und derselbe Anwender alle Untersuchungen durch.

Bei der GuttaFlow® Methode war auffällig, dass häufig geringe Mengen des Sealers überpresst wurden, was an den extrahierten Zähnen leicht bemerkt werden konnte. Zudem ließen sich bei der Wurzelkanalfüllung mittels des K-0142 Systems makroskopisch erkennbare Randundichtigkeiten feststellen. Diese könnten sich über eine Inkompatibilität der mit Hilfe eines initialen Crown-Downs mit Gates-Glidden Bohrern aufbereiteten Zähnen und der K-0142 Stifte mit einer Konizität von 0,02 erklären. Angesichts der vorliegenden Ergebnisse könnte sich die Dichtigkeit des K-0142-Systems durch die Einbringung eines akzessorischen Stiftes verbessern lassen, so dass dadurch möglicherweise die Glucosepenetration noch weiter reduziert werden würde. Dieses Vorgehen würde aber die klinisch praktische und einfache Anwendbarkeit der Ein-Stift-Technik zu Nichte machen und ebenso die Zeitersparnis bei der Anwendung im Vergleich zu anderen Systemen reduzieren.

Alternativ könnte auch bei Verwendung von Aufbereitungssystemen mit definierten Konizitäten durch die Bereitstellung von K-0142 Stiften mit darauf abgestimmten unterschiedlichen Konizitäten von 0.04 oder 0.06 eine Optimierung der Dichtigkeit erreicht werden, ohne dabei die einfache Handhabung zu erschweren.

Beim Vergleich von Resilon®/Epiphany®SE™ mit der kalten lateralen Kondensation zeigte sich in dieser Studie ein vergleichbarer technischer und zeitlicher Aufwand, wobei die Studie von *Kjiko et al.* aus dem Jahr 2010 von einer einfacheren Handhabung bei einer Wurzelfüllung mit Resilon®/Epiphany®SE™ berichtet (Kjiko 2010).

Unabhängig von der technischen Handhabung und dem zeitlichen Aufwand unterscheiden sich die verschiedenen Methoden ebenfalls in den notwendigen Voraussetzungen, die für eine Wurzelkanalbehandlung geschaffen werden müssen. So sind für die Anwendung des K-0142-Systems, der lateralen Kondensation und Resilon®/Epiphany®SE™ keine zusätzlichen Anschaffungen von Gerätschaften erforderlich, während für die Thermafil®-Technik ein Ofen zur Stifterwärmung und bei GuttaFlow® ein Anmischgerät benötigt wird.

4.2. Aufbau des Glucosepenetrationstests

Dichtigkeitsuntersuchungen von Wurzelkanalfüllungen stellen einen bedeutenden Teil der endodontologischen Forschungen dar, denn die Korrelation von Misserfolgen in der endodontologischen Behandlung der Wurzelkanäle und einer insuffizienten Wurzelkanalfüllung sind hinreichend belegt (Adenubi and Rule 1976; Molven and Halse 1988). Als bedeutendste Verfahren zur Überprüfung der Dichtigkeit einer Wurzelfüllung gelten die Penetrationstests. Neben Farbstoff- (Gilhooly et al. 2000; Wu et al. 1993) und Bakterienpenetrationstestungen (Shipper et al. 2004; Shipper et al. 2005; Torabinejad et al. 1990) sowie der Dichtigkeitsuntersuchungen mittels einer Filtration penetrierter Flüssigkeiten (Wu and Wesselink 1993) wurde von *Xu* im Jahr 2005 ein neues Modell der Penetrationstests entwickelt, das eine Glucoselösung als Indikator verwendet (Xu et al. 2005). *Xu* testete mittels des Glucosepenetrationstests mehrere unterschiedliche Sealer und Wurzelfüllmaterialien auf ihre Dichtigkeit. Dieser Test stellt eine Weiterentwicklung des Verfahrens der Flüssigkeitsfiltration dar. In Studien aus den Jahren 2006 und 2007 erweist sich der Glucosepenetrationstest genauer als das Verfahren der Flüssigkeitsfiltration (Shemesh et al. 2007; Shemesh et al. 2006), da dieser Test kontinuierliche, qualitative Messungen

ermöglichte, die bei Anwendung der Flüssigkeitsfiltrationsmethode nur intervallartig durchgeführt werden konnten (Shemesh et al. 2006). Auch in weiteren Untersuchungen zeigte sich der innovative Glucosepenetrationstest als ein nicht-destruktives Verfahren zur sensitiven Beurteilung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen (Kaya et al. 2007; Zou et al. 2007). Daher hat der Glucosepenetrationstest auch in der vorliegenden Arbeit Anwendung gefunden.

Im Rahmen der vorliegenden Studie erwies sich der Aufbau des Glucosepenetrationstests zur Untersuchung einzelner Zähne als sehr aufwändig. Zudem forderte er ein hohes Maß an Präzision. Vor dem Beginn dieser Studie konnten anhand von Vortests Schwierigkeiten, den Aufbau betreffend, festgestellt werden, die sich in der Form von Undichtigkeiten zwischen Rollrandglas und Plastikröhre äußerten. Ebenso fand sich ein Hebeleffekt der langen Plastikröhre mit dem kleinen Rollrandglas. Dies führte häufig zum Abbruch der Versiegelung zwischen den beiden Gegenständen. Um dieses Problem zu vermeiden, wurde der von Xu vorgestellte Aufbau weiterentwickelt, in dem zur zusätzlichen Stabilisierung ein Putty von Provil[®] appliziert wurde, das den Hebeleffekt aufhob und zudem als Stabilisator diente. Diese Modifikation bewährte sich in den Vortests. Die Undichtigkeiten zwischen Rollrandglas und Deckel sowie Plastikröhrchen und Deckel wurden mit Parafilm abgedichtet, so dass unerwünschte Verdunstungen oder Verschüttungen vermieden werden konnten. Alle zu untersuchenden Zähne in der Studie wurden mit dem gleichen Aufbau versehen. Dementsprechend wurden alle Verbesserungen des Aufbaus bei allen Testgruppen angewandt.

Ein Problem der Konstruktion des Aufbaus des Glucosepenetrationstests bestand in der schwierigen Probenentnahme. Aufgrund der unterschiedlich zusammengefügte Elemente zeigten sich verschiedene Schwachstellen, die bei der Probenentnahme zur Undichtigkeit des Aufbaus geführt haben. Dadurch mussten 7% der Proben unterschiedlicher Testgruppen verworfen werden. Manche Testgruppen waren dabei mehr betroffen als andere, z.B. Gruppe 4 (GuttaFlow[®]) zum Messzeitpunkt 28 Tage waren nur noch 60% der Proben verwertbar. Ob diese unverwertbaren Proben möglicherweise einen Einfluss auf die Ergebnisse gehabt haben könnten, ist dabei unklar. Bei der Literaturrecherche

fanden sich keine ähnlichen Schwierigkeiten in der Anwendung des Glucosepenetrationstests. Dies könnte jedoch auf die zu dem Zeitpunkt der Versuchsdurchführung noch recht neuartige Methodik zurückzuführen sein.

4.3. Ergebnisse

Sowohl bezüglich der penetrierten Glucosemenge als auch bezüglich der Anzahl undichter Proben pro Gruppe zeigten sich die drei Gruppen, die mit AH Plus™ als Sealer eingesetzt wurden (AH Plus™, Thermafil®, K-0142) als signifikant weniger dicht als die beiden anderen Testgruppen (GuttaFlow®, Epiphany®SE™). Die Dichtigkeitsmessungen der vorliegenden Studie ergaben weiterhin vergleichbare Werte im Glucosepenetrationstest für das experimentelle Wurzelkanalfüllsystem K-0142 sowie für das Thermafil®-System und die laterale Kondensation als Standardfüllmethode mit dem Sealer AH Plus™.

In dieser Studie wurde die positive Kontrollgruppe mit Einzelstift Guttapercha ohne Sealer gefüllt. Hier war zu erkennen, dass die Glucosemenge bereits am ersten Tag nach der Wurzelkanalfüllung durch den Wurzelkanal penetriert war, so dass die Bedeutung bzw. Wirkung eines Sealers auf die Effizienz einer Wurzelkanalfüllung noch einmal belegt werden konnte. Insgesamt wurden in der positiven Kontrollgruppe, in der kein Sealer verwandt wurde und der negativen Kontrollgruppe, in der die Zähne mit Klebewachs zusätzlich vollständig ummantelt worden sind, zu jedem der Messzeitpunkte (nach 7, 14, 21 und 28 Tagen) statistisch signifikant unterschiedliche Ergebnisse erhoben. Dies belegt die prinzipielle Funktionstüchtigkeit der Dichtigkeitsmessung mittels Glucosepenetrationstest sowie dessen Genauigkeit.

Resilon®/Epiphany®SE™

Vergleicht man die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit der Literatur, so ist festzustellen, dass speziell für die Verwendung von Resilon®/Epiphany®SE™ heterogene Erkenntnisse vorliegen. So haben *Rouhani et. al.* (2013) in ihrer Studie die Resilon/Epiphany Sealer mit AH Plus™ verglichen. Dabei zeigte sich,

dass Resilon/Epiphany signifikant weniger Undichtigkeiten aufwies als AH Plus™ (Rouhani et al. 2013). In Studien von *Nawal et al.* (2011) wurde GuttaFlow® mit Resilon®/Epiphany®SE™ und AH Plus™ verglichen, wobei *Enterococcus faecalis* als Undichtigkeits-Marker verwendet wurde. Hier besaß AH Plus™ im Vergleich zu GuttaFlow® und den Resilon®/Epiphany®SE™-Sealern eine stärkere Undichtigkeit gegenüber Mikroorganismen (Nawal et al. 2011a; Nawal et al. 2011b). Auch in weiteren Studien konnte belegt werden, dass Resilon/Epiphany ein besseres Abdichtungsverhalten besitzt als andere herkömmliche Füllmaterialien (Aptekar and Ginnan 2006; Bodrumlu and Tunga 2006; 2007; Sagsen et al. 2006; Shipper et al. 2005; Stratton et al. 2006; Tunga and Bodrumlu 2006; Verissimo et al. 2007; von Fraunhofer et al. 2006). So wiesen *Shipper et al.* im Jahr 2004 nach, dass Resilon mit dem Resilon®/Epiphany®SE™-Sealer bei menschlichen Zähnen *in vitro* gegenüber Bakterien ein stärkeres Abdichtungsverhalten zeigte als Guttapercha mit dem Sealer AH Plus™ (Shipper et al. 2004) und verifizierten dies im Jahr 2005 an Zähnen von Hunden (Shipper et al. 2005).

In anderen Untersuchungen hingegen konnten keine Unterschiede im Vergleich von Resilon®/Epiphany®SE™ und den Standardmaterialien nachgewiesen werden (Baumgartner et al. 2007; Biggs et al. 2006; Pitout et al. 2006; Tay et al. 2005).

Shemesh et al. und *Onay et al.* fanden im Jahr 2006 und *Kaya et al.* im Jahr 2007 in ihren Studien eine bessere Abdichtung der Wurzelkanalfüllung bei der Verwendung von Guttapercha im Gegensatz zu Resilon®/Epiphany®SE™. Basierend auf diesen stark unterschiedlichen Ergebnissen, kamen Experten zu dem Schluss, dass Resilon®/Epiphany®SE™ gegenüber Guttapercha als Wurzelkanalfüllmaterial keine signifikanten Vorteile bietet (Bodrumlu and Tunga 2007; De-Deus et al. 2008; Fransen et al. 2008; Jack and Goodell 2008; Kaya et al. 2007). Eine Feststellung, die durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie nicht gestützt wird, da hier eine Überlegenheit bezüglich des Dichtigkeitsverhaltens von Resilon®/Epiphany®SE™ und auch GuttaFlow® nachgewiesen werden konnte.

Beim Betrachten der Literatur bezüglich Resilon®/Epiphany®SE™ muss jedoch festgehalten werden, dass unabhängig von der Methodik kein klares Bild erkennbar ist, ob AH Plus™ mit Guttapercha oder das Epiphany®SE™-System hinsichtlich des Abdichtungsverfahrens überlegen ist. In der folgenden Tabelle 3 wird eine Übersicht der wichtigsten Studien dargestellt.

Studie	Testverfahren	Ergebnis
Fransen et al.(2008) (Fransen, He et al. 2008)	Bakterienpenetration	AHPlus™ = Epiphany®SE™
De-Deus et al. (2008) (De-Deus, Namen et al. 2008)	Fluid Flow Modell	AHPlus™ signifikant besser als Epiphany®SE™ nach 14 Monaten
Bouillaquet et al.(2008) (Bouillaquet, Shaw et al. 2008)	Fluid Flow Modell	Epiphany®SE™ signifikant besser als AHPlus™ nach 12 Monate
Bodrumlu und Tunga(2006) (Bodrumlu and Tunga 2006)	Fluid Flow Modell	AHPlus™ = Epiphany®SE™
Kaya et al.(2007) (Kaya, Kececi et al. 2007)	Glucosepenetration	AHPlus™ = Epiphany®SE™
Raina et al. (2007) (Raina, Loushine et al. 2007)	Fluid Flow Modell	AHPlus™ = Epiphany®SE™
Verissimo et al. (2007) (Verissimo, do Vale et al. 2007)	Farbstoffpenetration	Epiphany®SE™ signifikant besser als AHPlus™
Paqué und Sirtes (2007) (Paque and Sirtes 2007)	Fluid Flow Modell	AHPlus™ signifikant besser als Epiphany®SE™ nach 16 Monaten
Baumgartner et al.(2007) (Baumgartner, Zehnder et al. 2007)	Bakterienpenetration	AHPlus™ = Epiphany®SE™
Onay et al.(2006) (Onay, Ungor et al. 2006)	Fluid Flow Modell	AHPlus™ = Epiphany®SE
Bodrumlu und Tunga (2006) (Bodrumlu and Tunga 2006)	Farbstoffpenetration	Epiphany®SE™ signifikant besser als AHPlus™
Stratton et al. (2006) (Stratton, Apicella et al. 2006)	Fluid Flow Modell	Epiphany®SE™ signifikant besser als AHPlus™
Tay et al. (2005) (Tay, Loushine et al. 2005)	Silbernitrat	Epiphany®SE™ = AHPlus™

Tabelle 3: Literaturvergleiche zum Abdichtungsverhalten von Resilon®/Epiphany®SE™ gegenüber Guttapercha.

GuttaFlow®

Im Gegensatz zu Resilon®/Epiphany®SE™ existiert über GuttaFlow® nicht sehr viel Literatur. *Bouillaquet et al.* kamen jedoch mit ihrem Fluid Flow Modell zu ähnlichen Ergebnissen wie in der vorliegenden Studie. Resilon®/Epiphany®SE™ und GuttaFlow® zeigten sich signifikant dichter als AH Plus™ u. a. (Bouillaquet et al. 2008). *Kontakiotis et al.* fanden heraus, dass GuttaFlow® in einem Fluid-Flow Modell initial ähnlich gut versiegelte wie die laterale oder vertikale Kondensation mit AH26®. Nach 12 Monaten zeigte sich jedoch, dass GuttaFlow® signifikant weniger Flüssigkeitstransport zuließ als die anderen beiden Techniken (Kontakiotis et al. 2007). *Roggendorf et al* legten im Jahr 2001 dar, dass sich GuttaFlow® im Rahmen der Zentralstifttechnik in seinem Dichtigkeitsverhalten ähnlich verhielt wie Guttapercha mit AH Plus™ in Kombination mit der vertikalen Kondensation (Roggendorf 2001). Auch *Brackett et al.* kamen 2006 zu dem gleichen Ergebnis wie *Roggendorf* 2001, zudem belegten sie ein akzeptables Abdichtungsverhalten von GuttaFlow® auch bei alleiniger Anwendung (Brackett et al. 2006). Dagegen schnitt GuttaFlow® in einer Studie von *Monticelli et al.* schlechter ab, als die warme vertikale Kondensation mit AH Plus™ (Monticelli et al. 2007a). Die Autoren wiesen bei der Anwendung von GuttaFlow® mit der Zentralstifttechnik lediglich eine mittlere Wirksamkeit gegen eine bakterielle Leakage nach. Auch zeigten *Monticelli et al.* 2007 in einer anderen Studie, dass bei der Verwendung von GuttaFlow® vermehrt Wurzelkanalundichtigkeiten im mittleren sowie im koronalen Drittel auftreten (Monticelli et al. 2007b). Ebenso schnitt GuttaFlow® in Studien von *Nawal et al.* schlechter ab als AH Plus (Nawal et al. 2011a; Nawal et al. 2011b). Um das Abdichtungsvermögen von GuttaFlow® korrekt bewerten zu können, ist es notwendig, weitere Studien durchzuführen.

Thermafil®

Thermafil® wurde als Wurzelkanalfüllmaterial erstmals im Jahr 1978 von *Johnson* beschrieben. Dieser hat erwärmte Guttapercha mit einem Stahlkern in einen Wurzelkanal appliziert (Johnson 1978). Studienergebnissen von *Chu et al.* aus dem Jahr 2005 zufolge ist es bezüglich seiner Dichtigkeit als

Wurzelkanalfüllmaterial mit der lateralen Kondensation vergleichbar (Chu et al. 2005). In anderen Untersuchungen wurden hingegen teilweise widersprüchliche Ergebnisse erzielt. So zeigten verschiedene Arbeitsgruppen ebenfalls, dass zwischen der lateralen Kondensation und Thermafil keine signifikanten Dichtigkeitsunterschiede auszumachen sind (De Moor and De Bruyne 2004; Fabra-Campos 1993; Gulabivala et al. 1998), was auch aus den Messungen zur Dichtigkeit der vorliegenden Studie hervorgeht. *Haikel et al.* wiesen nach, dass Thermafil am ersten Füllungstag die besten Dichtigkeitswerte erreicht, wohingegen Zähne, die mittels einer lateralen Kondensation verschlossen wurden, nach 28 Tagen die geringsten Undichtigkeiten aufwiesen (Haikel et al. 2000). Des Weiteren zeigten *Guigand et al.*, dass bei der Thermafil-Füllung im Gegensatz zur lateralen Kondensation im koronalen und mittleren Wurzelkanal Drittel nur wenig und im apikalen Drittel keine Hohlräume nachzuweisen sind (Guigand et al. 2005).

K-0142

Zu K-0142 gibt es bislang keine Studien. In der vorliegenden Untersuchung war dieses System bezüglich seines Dichtigkeitsverhaltens mit der Thermafil[®]-Technik und der lateralen Kondensation mit AH Plus[™] vergleichbar. Wie bereits oben diskutiert, wäre zu testen, ob es eine Verbesserung darstellt, K-0142 mit akzessorischen Stiften zu applizieren oder alternativ die Wurzelfüllungsstifte mit unterschiedlichen Konizitäten anzubieten. Des Weiteren könnte es möglich sein, dass K-0142 aufgrund der relativ starren Stifte im gekrümmten oder im engen Kanal wesentlich besser abschneidet als bei geraden Wurzelkanälen, die in der vorliegenden Arbeit verwandt wurden, da sich die Stifte besser platzieren lassen als die relativ weichen Guttaperchastifte. Diese Alternative würde den Vorteil der Zeitersparnis gegenüber der lateralen Kondensation jedoch zunichtemachen.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit und dem Vergleich mit anderen Studien ist die Überlegung, ob ein anderer Sealer mit K-0142 die Dichtigkeit des K-0142-Systems verbessert hätte. Dieser Hypothese konnte in der vorliegenden Studie nicht nachgegangen werden. Daher könnte möglicherweise eine Optimierung der K-0142-Technik sowohl in der Verwendung von zusätzlichen Stiften zur

Abdichtung als auch von anderen Sealern in Kombination mit dieser neuen Wurzelkanalfüllungs-Technik zu erreichen sein.

Ein anderer ebenfalls bedeutender Aspekt, der bei der Anwendung des K-0142-Systems berücksichtigt werden muss, liegt in der möglichen Entfernbarkeit des verfüllten K-0142 aus dem Wurzelkanal. Hier existieren ebenfalls keine weiteren Nachweise, die eine Entwicklung dieses neuen Materials nach längerer Zeit im Wurzelkanal beschreiben.

Dagegen liegen für die anderen in dieser Arbeit verwandten Materialien einige Studien vor, um die Revision einer Wurzelkanalfüllung zu testen. In der Studie von *Frajlich et al.* wurde Thermafil mit einem Metallträger, einem Plastikträger und mit lateraler Kondensation mittels Guttapercha und AH 26[®] bezüglich der Revisionseigenschaften verglichen. Die Studie zeigte, dass zwischen Thermafil[®] und der lateralen Kondensation bei der Revision keine statistisch signifikanten Unterschiede zu finden sind, obwohl die Gruppe, in der die laterale Kondensation durchgeführt wurde, die niedrigste Inzidenz der apikalen Extrusion bei der Reinstrumentierung zeigte (*Frajlich et al. 1998*). *Beasley et al.* fanden heraus, dass GuttaCore in gekrümmten Kanälen leichter entfernbar war als das ThermaFil-Material (*Beasley et al. 2013*). Im Vergleich der Revision zwischen Epiphany und Guttapercha mit AH 26 wurden in einer Studie von *de Oliveira et al.* zwei unterschiedliche Techniken für die Revision verwendet. Dabei ließ sich Epiphany mittels beider Techniken leichter entfernen als Guttapercha (*de Oliveira et al. 2006*).

Letztlich besitzen jedoch langfristige in vivo-Studien die stärkste Aussagekraft, die jedoch für die meisten anderen Wurzelkanalfüllmaterialien noch ausstehen, so dass in der zahnmedizinischen Forschung ein starker Bedarf an weiteren Studien besteht.

4.4. Schlussfolgerung

Das experimentelle Wurzelkanalfüllsystem K-0142 ist bezüglich der Dichtigkeit im Glucosepenetrationstest als ähnlich gut zu bewerten wie das Thermafil® System und die Standard-Fülltechnik der lateralen Kondensation mit Guttapercha und AH Plus™ als Sealer. Das Resilon®/Epiphany®SE™- und das GuttaFlow®-System zeigten sich als zum größten Teil signifikant dichter als die o. g. Gruppen. Diese Ergebnisse stimmen nur teilweise mit den Erkenntnissen in der Literatur überein. Daher erscheint es sinnvoll, die vorliegenden Daten mit weiteren Nachfolgestudien zu verifizieren, um klare Aussagen zum Verhalten der unterschiedlichen Wurzelkanalfüllungsmaterialien, sowie zu den einzelnen Techniken treffen zu können. Insbesondere beim K-0142-System ist die Testung mit unterschiedlichen Sealern vor einer abschließenden Beurteilung der Dichtigkeit dieses neuen Systems empfehlenswert.

Basierend auf den Versuchen der vorliegenden Arbeit kann dem K-0142-System eine einfache und zeitlich wenig aufwändige Handhabung bescheinigt werden.

5. Literaturverzeichnis

- Adenubi JO, Rule DC. 1976. Success rate for root fillings in young patients. A retrospective analysis of treated cases. *British dental journal*. 141(8):237-241.
- Ahlberg KM, Assavanop P, Tay WM. 1995. A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and india ink in root-filled teeth. *International endodontic journal*. 28(1):30-34.
- Ansari BB, Umer F, Khan FR. 2012. A clinical trial of cold lateral compaction with obtura ii technique in root canal obturation. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 15(2):156-160.
- Aptekar A, Ginnan K. 2006. Comparative analysis of microleakage and seal for 2 obturation materials: Resilon/epiphany and gutta-percha. *Journal (Canadian Dental Association)*. 72(3):245.
- Arnold M. 2010. Techniken zur wurzelkanalfüllung. Bewertung und praktische hinweise. *BZB*.60-65.
- Azar NG, Heidari M, Bahrami ZS, Shokri F. 2000. In vitro cytotoxicity of a new epoxy resin root canal sealer. *Journal of endodontics*. 26(8):462-465.
- Barthel CR, Zaritzki FF, Raab WH, Zimmer S. 2006. Bacterial leakage in roots filled with different medicaments and sealed with cavit. *Journal of endodontics*. 32(2):127-129.
- Barthel CR, Zimmer S, West G, Roulet JF. 2000. Bacterial leakage in obturated root canals following the use of different intracanal medicaments. *Endodontics & dental traumatology*. 16(6):282-286.
- Baumgartner G, Zehnder M, Paque F. 2007. Enterococcus faecalis type strain leakage through root canals filled with gutta-percha/ah plus or resilon/epiphany. *Journal of endodontics*. 33(1):45-47.
- Beasley RT, Williamson AE, Justman BC, Qian F. 2013. Time required to remove guttacore, thermafil plus, and thermoplasticized gutta-percha from moderately curved root canals with protaper files. *Journal of endodontics*. 39(1):125-128.

- Beatty RG, Baker PS, Haddix J, Hart F. 1989. The efficacy of four root canal obturation techniques in preventing apical dye penetration. *Journal of the American Dental Association* (1939). 119(5):633-637.
- Beatty RG, Vertucci FJ, Zakariasen KL. 1986. Apical sealing efficacy of endodontic obturation techniques. *International endodontic journal*. 19(5):237-241.
- Beer RS, L. 2006. Wurzelkanalfüllungen mit guttapercha. *ZWR*. 115:270-279.
- Biggs SG, Knowles KI, Ibarrola JL, Pashley DH. 2006. An in vitro assessment of the sealing ability of resilon/epiphany using fluid filtration. *Journal of endodontics*. 32(8):759-761.
- Bodrumlu E, Tunga U. 2006. Apical leakage of resilon obturation material. *The journal of contemporary dental practice*. 7(4):45-52.
- Bodrumlu E, Tunga U. 2007. The apical sealing ability of a new root canal filling material. *American journal of dentistry*. 20(5):295-298.
- Bouillaguet S, Shaw L, Barthelemy J, Krejci I, Wataha JC. 2008. Long-term sealing ability of pulp canal sealer, ah-plus, guttaflow and epiphany. *International endodontic journal*. 41(3):219-226.
- Brackett MG, Martin R, Sword J, Oxford C, Rueggeberg FA, Tay FR, Pashley DH. 2006. Comparison of seal after obturation techniques using a polydimethylsiloxane-based root canal sealer. *Journal of endodontics*. 32(12):1188-1190.
- Brockmann R. 2008. Der einfluss unterschiedlicher obturatorgrößen auf die apikale dichtigkeit von thermafil wurzelfüllungen - in vitro. *Zahnmed Diss Der Martin-Luther-Universität Halle*.
- Bystrom A, Sundqvist G. 1981. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scandinavian journal of dental research*. 89(4):321-328.
- Bystrom A, Sundqvist G. 1983. Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 55(3):307-312.

- Bystrom A, Sundqvist G. 1985. The antibacterial action of sodium hypochlorite and edta in 60 cases of endodontic therapy. *International endodontic journal*. 18(1):35-40.
- Cachovan GA, MO.; Platzer, U.; Mack, D.; Sobottka, I. 2003. Antimikrobielle empfindlichkeit parodontopathogener und anderer keime gegenüber moxiflocacin und anderen antibiotika. *Dtsch Zahnärztl Z*. 58:298-301.
- Cecchin D, Farina AP, Souza MA, Carlini-Junior B, Ferraz CC. 2011. Effect of root canal sealers on bond strength of fibreglass posts cemented with self-adhesive resin cements. *International endodontic journal*. 44(4):314-320.
- Chu CH, Lo EC, Cheung GS. 2005. Outcome of root canal treatment using thermafil and cold lateral condensation filling techniques. *International endodontic journal*. 38(3):179-185.
- Cobankara FK, Adanir N, Belli S, Pashley DH. 2002. A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers. *International endodontic journal*. 35(12):979-984.
- Davis SR, Brayton SM, Goldman M. 1972. The morphology of the prepared root canal: A study utilizing injectable silicone. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 34(4):642-648.
- De Almeida WA, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LA. 2000. Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers. *International endodontic journal*. 33(1):25-27.
- De Moor RJ, De Bruyne MA. 2004. The long-term sealing ability of ah 26 and ah plus used with three gutta-percha obturation techniques. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*. 35(4):326-331.
- de Oliveira DP, Barbizam JV, Trope M, Teixeira FB. 2006. Comparison between gutta-percha and resilon removal using two different techniques in endodontic retreatment. *Journal of endodontics*. 32(4):362-364.
- De-Deus G, Namen F, Galan J, Jr. 2008. Reduced long-term sealing ability of adhesive root fillings after water-storage stress. *Journal of endodontics*. 34(3):322-325.

- Delivanis PD, Mattison GD, Mendel RW. 1983. The survivability of f43 strain of streptococcus sanguis in root canals filled with gutta-percha and procosol cement. *Journal of endodontics*. 9(10):407-410.
- Demiryurek EO, Kulunk S, Yuksel G, Sarac D, Bulucu B. 2010. Effects of three canal sealers on bond strength of a fiber post. *Journal of endodontics*. 36(3):497-501.
- Derkson GD, Pashley DH, Derkson ME. 1986. Microleakage measurement of selected restorative materials: A new in vitro method. *The Journal of prosthetic dentistry*. 56(4):435-440.
- Drukteinis S, Balciuniene I. 2006. A scanning electron microscopic study of debris and smear layer remaining following use of aet instruments and k-flexofiles. *Stomatologija / issued by public institution "Odontologijos studija" [et al]*. 8(3):70-75.
- Dummer PM, Kelly T, Meghji A, Sheikh I, Vanitchai JT. 1993. An in vitro study of the quality of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or thermafil obturators. *International endodontic journal*. 26(2):99-105.
- Eickholz P. 2001. Glossar der grundbegriffe für die praxis – endoparodontale läsionen. *Parodontologie*. 1(71-76).
- Endodontologie EGf. 2006. Qualitätsrichtlinien endodontischer behandlungen. 15(4):387.
- Fabra-Campos H. 1993. Experimental apical sealing with a new canal obturation system. *Journal of endodontics*. 19(2):71-75.
- Frajlich SR, Goldberg F, Massone EJ, Cantarini C, Artaza LP. 1998. Comparative study of retreatment of thermafil and lateral condensation endodontic fillings. *International endodontic journal*. 31(5):354-357.
- Fransen JN, He J, Glickman GN, Rios A, Shulman JD, Honeyman A. 2008. Comparative assessment of activ gp/glass ionomer sealer, resilon/epiphany, and gutta-percha/ah plus obturation: A bacterial leakage study. *Journal of endodontics*. 34(6):725-727.
- Gencoglu N. 2003. Comparison of 6 different gutta-percha techniques (part ii): Thermafil, js quick-fill, soft core, microseal, system b, and lateral

- condensation. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 96(1):91-95.
- Gencoglu N, Garip Y, Bas M, Samani S. 2002. Comparison of different gutta-percha root filling techniques: Thermafil, quick-fill, system b, and lateral condensation. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 93(3):333-336.
- Gilhooly RM, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM. 2000. Comparison of cold lateral condensation and a warm multiphase gutta-percha technique for obturating curved root canals. *International endodontic journal*. 33(5):415-420.
- Green D. 1956. A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 9(11):1224-1232.
- Grossmann L. 1940. *Root canal therapy*. Lea & Febiger, Philadelphia. 189.
- Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM. 2005. Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *International endodontic journal*. 38(10):743-752.
- Guigand M, Glez D, Sibayan E, Cathelineau G, Vulcain JM. 2005. Comparative study of two canal obturation techniques by image analysis and eds microanalysis. *British dental journal*. 198(11):707-711, discussion 695.
- Gulabivala K, Holt R, Long B. 1998. An in vitro comparison of thermoplasticised gutta-percha obturation techniques with cold lateral condensation. *Endodontics & dental traumatology*. 14(6):262-269.
- Haapasalo HK, Siren EK, Waltimo TM, Orstavik D, Haapasalo MP. 2000. Inactivation of local root canal medicaments by dentine: An in vitro study. *International endodontic journal*. 33(2):126-131.
- Haikel Y, Freymann M, Fanti V, Claisse A, Poumier F, Watson M. 2000. Apical microleakage of radiolabeled lysozyme over time in three techniques of root canal obturation. *Journal of endodontics*. 26(3):148-152.
- Hand RE, Smith ML, Harrison JW. 1978. Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *Journal of endodontics*. 4(2):60-64.

- Hannig M. 2012. Die relevanz parodontopathogener keime bei endodontischen misserfolgen und deren synergismus in der biofilmformation. Zahnmed Diss, Medizinische Fakultät der Universität Hamburg.
- Hellwig EK, J.; Attin, T. 2009. Einführung in die zahnerhaltung: Prüfungswissen kariologie, endodontologie und parodontologie. 5 Auflage, Deutscher Zahnärzterverlag, Köln.
- Hermann B. 1936. Biologische wurzelkanalbehandlung. Frankfurt am Main: W Kramer.
- Hotz P. 1989. Endodontie – aktuelle fragen. Schweiz Monatsschr Zahnmed. 99:1063.
- Huang FM, Tai KW, Chou MY, Chang YC. 2002. Cytotoxicity of resin-, zinc oxide-eugenol-, and calcium hydroxide-based root canal sealers on human periodontal ligament cells and permanent v79 cells. International endodontic journal. 35(2):153-158.
- Hülsmann M. 2001. Die aufbereitung des wurzelkanals. in: Heidemann D (Hg): Endodontie, Urban & Fisscher, München•Jena.79-122.
- Hülsmann M. 2008. Endodontie - checkliste der zahnmedizin. 1 Auflage, Quintessenz, Berlin.
- Hülsmann MS, E.; Bargholz, C.; Barthels, C. 2007. Probleme in der endodontie - prävention, indikation und management. Auflage, Quintessenz, Berlin. 1.
- Jack RM, Goodell GG. 2008. In vitro comparison of coronal microleakage between resilon alone and gutta-percha with a glass-ionomer intraorifice barrier using a fluid filtration model. Journal of endodontics. 34(6):718-720.
- Jahrbuch K. 2014. Statistische basisdaten zur vertragszahnärztlichen versorgung. Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung.88-89.
- Jarrett IS, Marx D, Covey D, Karmazin M, Lavin M, Gound T. 2004. Percentage of canals filled in apical cross sections - an in vitro study of seven obturation techniques. International endodontic journal. 37(6):392-398.
- Johnson WB. 1978. A new gutta-percha technique. Journal of endodontics. 4(6):184-188.

- Takehashi S, Stanley HR, Fitzgerald RJ. 1965. The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 20:340-349.
- Kardon BP, Kuttler S, Hardigan P, Dorn SO. 2003. An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal-obturation system. *Journal of endodontics*. 29(10):658-661.
- Kaya BU, Kececi AD, Belli S. 2007. Evaluation of the sealing ability of gutta-percha and thermoplastic synthetic polymer-based systems along the root canals through the glucose penetration model. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 104(6):e66-73.
- Kerekes K, Tronstad L. 1979. Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique. *Journal of endodontics*. 5(3):83-90.
- Kersten HW, Moorer WR. 1989. Particles and molecules in endodontic leakage. *International endodontic journal*. 22(3):118-124.
- Khongkhunthian P, Reichart PA. 2001. Aspergillosis of the maxillary sinus as a complication of overfilling root canal material into the sinus: Report of two cases. *Journal of endodontics*. 27(7):476-478.
- Kiefner P. 2010. Der obliterierte wurzelkanal. Thieme Zahnmedizin Up2date.
- Kim SK, Kim YO. 2002. Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. *International endodontic journal*. 35(7):623-628.
- Klimm W. 2003. Endodontologie: Grundlagen und praxis. Dtsch Ärzteverlag Köln. 1.
- Kontakiotis EG, Tzanetakis GN, Loizides AL. 2007. A 12-month longitudinal in vitro leakage study on a new silicon-based root canal filling material (gutta-flow). *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 103(6):854-859.
- Kqiko LM, I.; Gruber, HJ.; Anic, I.; Städler, P. 2010. Dichtigkeit von wurzelkanalfüllungen mit guttaflow® und resilon™ im vergleich zur lateralen kondensation. *Wiener Medizinische Wochenschrift*. 160(9-10):230-234.
- Kuttler Y. 1979. Analysis and comparison of root canal filling techniques. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 48(2):153-159.

- Langeland K, Liao K, Pascon EA. 1985. Work-saving devices in endodontics: Efficacy of sonic and ultrasonic techniques. *Journal of endodontics*. 11(11):499-510.
- Law A, Messer H. 2004. An evidence-based analysis of the antibacterial effectiveness of intracanal medicaments. *Journal of endodontics*. 30(10):689-694.
- Le Goff A, Bunetel L, Mouton C, Bonnaure-Mallet M. 1997. Evaluation of root canal bacteria and their antimicrobial susceptibility in teeth with necrotic pulp. *Oral microbiology and immunology*. 12(5):318-322.
- Li Q, Mei Q, Huyan T, Xie L, Che S, Yang H, Zhang M, Huang Q. 2013. Effects of formaldehyde exposure on human nk cells in vitro. *Environmental toxicology and pharmacology*. 36(3):948-955.
- Lin L, Shovlin F, Skribner J, Langeland K. 1984. Pulp biopsies from the teeth associated with periapical radiolucency. *Journal of endodontics*. 10(9):436-448.
- Lipski M. 2004. Root surface temperature rises in vitro during root canal obturation with thermoplasticized gutta-percha on a carrier or by injection. *Journal of endodontics*. 30(6):441-443.
- Mayer T. 2005. *Kompromisse und grenzen in der endodontologie*. 1 Auflage, Spitta Verlag, Balingen. 119.
- Meyer W. 1970. Die anatomie der wurzelkanäle, dargestellt an mikroskopischen rekonstruktionsmodellen. *Dtsch Zahnärztl Z*. 25:1064-1077.
- Miletic I, Anic I, Pezelj-Ribaric S, Jukic S. 1999. Leakage of five root canal sealers. *International endodontic journal*. 32(5):415-418.
- Miller WD. 1894. An introduction to the study of the bacterio-pathology of the dental pulp. *Dent Cosmos*. 36:505-528.
- Molven O, Halse A. 1988. Success rates for gutta-percha and kloroperka n-0 root fillings made by undergraduate students: Radiographic findings after 10-17 years. *International endodontic journal*. 21(4):243-250.
- Monticelli F, Sadek FT, Schuster GS, Volkmann KR, Looney SW, Ferrari M, Toledano M, Pashley DH, Tay FR. 2007a. Efficacy of two contemporary

- single-cone filling techniques in preventing bacterial leakage. *Journal of endodontics*. 33(3):310-313.
- Monticelli F, Sword J, Martin RL, Schuster GS, Weller RN, Ferrari M, Pashley DH, Tay FR. 2007b. Sealing properties of two contemporary single-cone obturation systems. *International endodontic journal*. 40(5):374-385.
- Moorer WR, Wesselink PR. 1982. Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *International endodontic journal*. 15(4):187-196.
- Nawal RR, Parande M, Sehgal R, Naik A, Rao NR. 2011a. A comparative evaluation of antimicrobial efficacy and flow properties for epiphany, guttaflow and ah-plus sealer. *International endodontic journal*. 44(4):307-313.
- Nawal RR, Parande M, Sehgal R, Rao NR, Naik A. 2011b. A comparative evaluation of 3 root canal filling systems. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 111(3):387-393.
- O'Neill KJ, Pitts DL, Harrington GW. 1983. Evaluation of the apical seal produced by the mcspadding compactor and the lateral condensation with a chloroform-softened primary cone. *Journal of endodontics*. 9(5):190-197.
- Oliver CM, Abbott PV. 2001. Correlation between clinical success and apical dye penetration. *International endodontic journal*. 34(8):637-644.
- Orstavik D, Nordahl I, Tibballs JE. 2001. Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials*. 17(6):512-519.
- Oztan MD, Yilmaz S, Kalayci A, Zaimoglu L. 2003. A comparison of the in vitro cytotoxicity of two root canal sealers. *Journal of oral rehabilitation*. 30(4):426-429.
- Paschke A. 2010. Einfluss von flüssigkeitskontamination auf die verbundfestigkeit zweier wurzelkanalsealer in vitro: Epiphany und maxem. *Zahnmed Diss Der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg*.
- Pitout E, Oberholzer TG, Blignaut E, Molepo J. 2006. Coronal leakage of teeth root-filled with gutta-percha or resilon root canal filling material. *Journal of endodontics*. 32(9):879-881.

- Pommel L, About I, Pashley D, Camps J. 2003. Apical leakage of four endodontic sealers. *Journal of endodontics*. 29(3):208-210.
- Punia SK, Nadig P, Punia V. 2011. An in vitro assessment of apical microleakage in root canals obturated with gutta-flow, resilon, thermafil and lateral condensation: A stereomicroscopic study. *Journal of conservative dentistry: JCD*. 14(2):173-177.
- Robberecht L, Colard T, Claisse-Crinquette A. 2012. Qualitative evaluation of two endodontic obturation techniques: Tapered single-cone method versus warm vertical condensation and injection system: An in vitro study. *Journal of oral science*. 54(1):99-104.
- Robertson D, Leeb IJ, McKee M, Brewer E. 1980. A clearing technique for the study of root canal systems. *Journal of endodontics*. 6(1):421-424.
- Roggendorf ME, J.; Petschelt, A. 2001. Microleakage of a new gutta-percha root canal filling material. The 10th Biennial Congress ESE 4-6 October, Munich *Int Endod J*. 35:79-119.
- Rouhani A, Ghoddusi J, Naghavi N, Ebadzadeh Z, Akbari M. 2013. The sealing ability of resilon and gutta-percha in severely curved root canals: An in vitro study. *Journal of dentistry (Tehran, Iran)*. 10(2):141-146.
- Russin TP, Zardiackas LD, Reader A, Menke RA. 1980. Apical seals obtained with laterally condensed, chloroform-softened gutta-percha and laterally condensed gutta-percha and grossman's sealer. *Journal of endodontics*. 6(8):678-682.
- Sagsen B, Er O, Kahraman Y, Orucoglu H. 2006. Evaluation of microleakage of roots filled with different techniques with a computerized fluid filtration technique. *Journal of endodontics*. 32(12):1168-1170.
- Sanjiwan R, Chandra S, Jaiswal JN, Mastan. 1990. The effect of metronidazole on the anaerobic microorganisms of the root canal--a clinical study. *Federation of operative dentistry*. 1(2):30-36.
- Sathorn C, Parashos P, Messer H. 2007. Antibacterial efficacy of calcium hydroxide intracanal dressing: A systematic review and meta-analysis. *International endodontic journal*. 40(1):2-10.

- Saunders WP, Saunders EM. 1994. Influence of smear layer on the coronal leakage of thermofil and laterally condensed gutta-percha root fillings with a glass ionomer sealer. *Journal of endodontics*. 20(4):155-158.
- Schäfer E. 2000. Wurzelkanalfüllmaterialien. *Dtsch Zahnärztl Z*. 55:15-25.
- Schäfer E. 2001. Struktur der pulpa und ihre erkrankungsformen. In Heidemann D (Hrsg): *Endodontie Urban & Fischer, München • Jena*. 1-24.
- Schäfer E. 2013. Wechselwirkungen zwischen endodontie und allgemeinerkrankungen. Vortrag mit Diskussion, Bergischer Zahnärzterverein.
- Schafer E, Zandbiglari T. 2003. Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *International endodontic journal*. 36(10):660-669.
- Schilder H. 1967. Filling root canals in three dimensions. *Dental clinics of North America*. 723-744.
- Schilder H. 2006. Filling root canals in three dimensions. 1967. *Journal of endodontics*. 32(4):281-290.
- Schirrmeister J. 2007. Von der spüllösung bis zur wurzelkanalfüllung - endodontie zwischen wirksamkeit und sicherheit. *ZBW*. 2:34-39.
- Schmalz G. 1984. Die klinische bedeutung endodontischer werkstoffe. urn:nbn:de:bvb:355-epub-124560
- Schmalz G. 1990. [root canal therapy--clinical results]. *Dtsch Zahnärztl Z*. 45(5):251-256.
- Seltzer S. 1971. *Endodontology; biologic considerations in endodontic procedures*. New York: McGraw-Hill.
- Seltzer SK, P. 1988. *Endodontology: Biologic considerations in endodontic procedures*. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Sen BH, Wesselink PR, Turkun M. 1995. The smear layer: A phenomenon in root canal therapy. *International endodontic journal*. 28(3):141-148.
- Shemesh H, van den Bos M, Wu MK, Wesselink PR. 2007. Glucose penetration and fluid transport through coronal root structure and filled root canals. *International endodontic journal*. 40(11):866-872.

- Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR. 2006. Leakage along apical root fillings with and without smear layer using two different leakage models: A two-month longitudinal ex vivo study. *International endodontic journal*. 39(12):968-976.
- Shipper G, Orstavik D, Teixeira FB, Trope M. 2004. An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (resilon). *Journal of endodontics*. 30(5):342-347.
- Shipper G, Teixeira FB, Arnold RR, Trope M. 2005. Periapical inflammation after coronal microbial inoculation of dog roots filled with gutta-percha or resilon. *Journal of endodontics*. 31(2):91-96.
- Sjogren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G. 1997. Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *International endodontic journal*. 30(5):297-306.
- Sobottka I, Cachovan G, Sturenburg E, Ahlers MO, Laufs R, Platzer U, Mack D. 2002. In vitro activity of moxifloxacin against bacteria isolated from odontogenic abscesses. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 46(12):4019-4021.
- Steier LB, R. 2006. Neue alternativen zu guttapercha. *DZ*. 02:60-63.
- Stratton RK, Apicella MJ, Mines P. 2006. A fluid filtration comparison of gutta-percha versus resilon, a new soft resin endodontic obturation system. *Journal of endodontics*. 32(7):642-645.
- Sundqvist G, Johansson E, Sjogren U. 1989. Prevalence of black-pigmented bacteroides species in root canal infections. *Journal of endodontics*. 15(1):13-19.
- Susini G, Pommel L, About I, Camps J. 2006. Lack of correlation between ex vivo apical dye penetration and presence of apical radiolucencies. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 102(3):e19-23.
- Suter BL, A.; Hotz, P.;. 1986. Die wurzelkanalaufbereitung mit schnellschwingenden instrumenten. *Schweiz Mschr Zahnmed*. 96:919.
- Tay FR, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Pashley DH, Mak YF, Lai CN, Raina R, Williams MC. 2005. Ultrastructural evaluation of the apical seal in

- roots filled with a polycaprolactone-based root canal filling material. *Journal of endodontics*. 31(7):514-519.
- Thiele LH, R.; Folwaczny, M.;. 2003. Der endodontische misserfolg. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 58(3):144-150.
- Thonemann BF, B.; Schmalz, G. 2007. Die adhäsive wurzelkanalfüllung - ende der guttapercha? *BZB*.29-32.
- Tidswell HE, Saunders EM, Saunders WP. 1994. Assessment of coronal leakage in teeth root filled with gutta-percha and a glass of ionomer root canal sealer. *International endodontic journal*. 27(4):208-212.
- Timpawat S, Amornchat C, Trisuwan WR. 2001. Bacterial coronal leakage after obturation with three root canal sealers. *Journal of endodontics*. 27(1):36-39.
- Torabinejad M, Ung B, Kettering JD. 1990. In vitro bacterial penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. *Journal of endodontics*. 16(12):566-569.
- Tunga U, Bodrumlu E. 2006. Assessment of the sealing ability of a new root canal obturation material. *Journal of endodontics*. 32(9):876-878.
- Verissimo DM, do Vale MS, Monteiro AJ. 2007. Comparison of apical leakage between canals filled with gutta-percha/ah-plus and the resilon/epiphany system, when submitted to two filling techniques. *Journal of endodontics*. 33(3):291-294.
- Violich DR, Chandler NP. 2010. The smear layer in endodontics - a review. *International endodontic journal*. 43(1):2-15.
- von Fraunhofer JA, Kurtzman GM, Norby CE. 2006. Resin-based sealing of root canals in endodontic therapy. *General dentistry*. 54(4):243-246.
- von Schroeter C. 2009. Wurzelkanalobturation mit der thermafaltechnik - eine übersicht. *Endodontie*. 18(82):119-120.
- Weller RN, Koch KA. 1995. In vitro radicular temperatures produced by injectable thermoplasticized gutta-percha. *International endodontic journal*. 28(2):86-90.

- Wiener BH, Schilder H. 1971. A comparative study of important physical properties of various root canal sealers. II. Evaluation of dimensional changes. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 32(6):928-937.
- Wong M, Peters DD, Lorton L, Bernier WE. 1982. Comparison of gutta-percha filling techniques: Three chloroform--gutta-percha filling techniques, part 2. *Journal of endodontics*. 8(1):4-9.
- Wrbas K-TK, AM.; Hellwig, E. 1999. Histologische untersuchungen der wurzelspitzenbereich wurzelbehandelter zähne mit parodontitis apicalis. *Dtsch Zahnärztl Z*. 54:240-244.
- Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR, Moorer WR. 1993. Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings. *International endodontic journal*. 26(4):203-208.
- Wu MK, Kast'akova A, Wesselink PR. 2001. Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars. *International endodontic journal*. 34(6):485-491.
- Wu MK, Tigos E, Wesselink PR. 2002. An 18-month longitudinal study on a new silicon-based sealer, rsa roekoseal: A leakage study in vitro. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 94(4):499-502.
- Wu MK, Wesselink PR. 1993. Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *International endodontic journal*. 26(1):37-43.
- Xu Q, Fan MW, Fan B, Cheung GS, Hu HL. 2005. A new quantitative method using glucose for analysis of endodontic leakage. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 99(1):107-111.
- Zehnder M. 2006. Root canal irrigants. *Journal of endodontics*. 32(5):389-398.
- Zipprich DV, S.; Tulus, G. 2010. Der endodontische notfall. *Zahn Prax*. 13:100-112.
- Zorzin J, Wiessner J, Wiessner T, Lohbauer U, Petschelt A, Ebert J. 2016. Removal of radioactively marked calcium hydroxide from the root canal: Influence of volume of irrigation and activation. *Journal of endodontics*. 42(4):637-640.

Zou L, Liu J, Yin SH, Tan J, Wang FM, Li W, Xue J. 2007. Effect of placement of calcium sulphate when used for the repair of furcation perforations on the seal produced by a resin-based material. *International endodontic journal*. 40(2):100-105.

Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Claudia Barthel-Zimmer für das Überlassen des Themas und für die gute Zusammenarbeit.

Außerdem möchte ich meiner Doktormutter, Frau Prof. Dr. M. A. Ommerborn für ihre außerordentliche hervorragende wissenschaftliche Anregung, Motivation und Betreuung, sowie ihre stetige Diskussionsbereitschaft bei Fragen und Schwierigkeiten danken.

In besonderem Maße möchte ich mich ebenfalls bei Prof. Dr. W.H.-M. Raab für die zur Verfügung gestellten Räumlichkeiten, Geräte und Materialien danken.

Weiterhin danken möchte ich Frau Dr. Monika Herten und Frau Brigitte Hartig für die besondere und tatkräftige Unterstützung im Labor.

Besonders hervorheben möchte ich meine lieben Eltern, Nahla Khamis Gabris und Elias Gabris, ohne euch all' dies so nicht möglich gewesen. Danke für Eure Liebe und Euren unendlichen Glauben an mich.

Ganz herzlich möchte ich mich bei meinen Geschwistern, Nassrin, Yousif und Nassim bedanken, die mir trotz der großen räumlichen Distanz immer den Rücken gestärkt haben.

Ich möchte mich ausdrücklich bei meinen lieben Freunden, insbesondere Frau Dr. Nadja Mey, bedanken, die mich in den schwierigen Zeiten ausgehalten haben und immer für mich da waren.

Eidesstattliche Versicherung

Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt worden ist und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist.

Datum, Vor- und Nachname

Unterschrift