

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie  
Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. Reinhard Hickel

**Einsatz und Bewertung eines Wurzelfüllmaterials auf Harz-  
Komposit-Basis nach herkömmlicher sowie  
minimal-invasiver Wurzelkanaltherapie  
und unterstützendem Einsatz des Nd:YAG-Lasers –  
eine in vitro Untersuchung**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Anja Freimann  
aus Dresden  
2014

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Christoph Benz

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Michael Simmelmayr

Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter: Dr. Cornelius Haffner

Dekan: Herr Prof. Dr. med. Dr.h.c. Maximilian Reiser, FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 17.04.2014

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	5
2. Grundlagen.....	7
2.1. Einführung in das Thema .....	7
2.2. Ätiologie der Pulpaerkrankungen .....	9
2.3. Die Aufbereitung des Wurzelkanalsystems .....	10
2.4. Reduktion der Keime im Wurzelkanalsystem .....	12
2.5. Die Wurzelkanalfüllung.....	15
3. Fragestellung der Untersuchung und Ziel der Studie.....	16
4. Material und Methode .....	17
4.1. Auswahl der verwendeten Probenzähne .....	17
4.2. Versuchsaufbau .....	20
4.3. Lagerung der Zähne, Aufbereitung und Füllung der Wurzelkanäle .....	24
4.4. Aufbereitung der Wurzelkanäle .....	26
4.4.1. Maschinelle Aufbereitung mit ProTaper® .....	26
4.4.2. Nd:YAG-Laser.....	28
4.4.2.1. Einsatz des Nd:YAG-Lasers in der Zahnheilkunde.....	28
4.4.2.2. Aufbereitung der Proben mit dem Nd:YAG-Laser.....	31
4.5. Füllung des Wurzelkanals .....	33
4.5.1. Der Wurzelkanalfüllstoff Biocem .....	33
4.5.2. Wurzelkanalfüllung der Probenzähne .....	35
4.5.2.1. „single cone“-Technick.....	35
4.5.2.2. laterale Kondensationstechnik .....	35
4.6. Untersuchung der Wurzelkanaloberfläche im REM.....	36
4.7. Untersuchung der Dichtigkeit .....	37
4.8. Statistische Methoden: Klinische Bewertung nach USPHS-Kriterien .....	38

5. Ergebnisse.....	40
5.1. Untersuchung der Wurzelkanaloberfläche im Rasterelektronenmikroskop .....	40
5.2. Bewertung der Dichtigkeit nach Wurzelfüllung .....	43
5.3. Revision der Wurzelkanalfüllung .....	55
5.4. Graphische Darstellung der Ergebnisse .....	57
5.4.1. Bewertung der Dichtigkeit .....	57
5.4.2. Farbstoffpenetration zwischen dem Sealer (Biocem) und Dentin .....	60
5.4.3. Farbstoffpenetration zwischen dem Kernmaterial (Guttapercha) und dem Sealer (Biocem) .....	63
6. Diskussion .....	68
7. Zusammenfassung .....	80
8. Literaturverzeichnis.....	82
9. Anhang .....	91
9.1. Tabelle der Einzelmessungen .....	91
9.2. Danksagung .....	95

# 1. Einleitung

Ein Teilbereich der Zahnheilkunde ist die Endodontie, welche sich im Schwerpunkt mit der Behandlung des Zahninneren (griechisch: ἔνδον endon ‚innen‘ und δόντι dónti ‚Zahn‘) befasst. Dazu gehören neben dem Studium der Anatomie und Physiologie auch die Diagnostik und Therapie der Erkrankungen des Zahninneren, um den Zahn dauerhaft zu erhalten.

Indikationen für eine Wurzelkanalbehandlung ergeben sich aus akuten und chronischen Pulpitiden. Neben einer anatoformen und ausreichenden Trepanation unter Beachtung größtmöglicher Substanzschonung ist die Aufbereitung des Wurzelkanallumens der Startpunkt für eine erfolgreiche endodontische Behandlung. Den Herausforderungen der Wurzelkanalaufbereitung - insbesondere der Reinfektionsproblematik der periapikalen Strukturen durch unzureichende Aufbereitung und Desinfektion des Wurzelkanallumens - stellt sich die nachfolgende Studie im ersten Anteil. Die experimentelle Untersuchung befasst sich mit der Präparation des Wurzelkanallumens durch maschinelle Aufbereitung assistiert durch den Einsatz des Nd:YAG-Lasers als desinfizierende sowie gewebeauflösende Komponente.

Ein permanenter, vollständiger und bakteriendichter Verschluss des Wurzelkanals ist ein wichtiges Ziel in der Endodontie. Damit soll die Reinfektion periapikaler Strukturen vermieden und ein langfristiger Erhalt des natürlichen Zahnes generiert werden. Durch Materialien, die dies dauerhaft zuverlässig bewerkstelligen, kann die Misserfolgsrate nach endodontischer Therapie deutlich gesenkt werden. Für den Patienten bedeutet dies nicht zuletzt neben dem längeren Erhalt seiner eigenen Zähne auch den Vorteil, dass die Wahrscheinlichkeit zusätzlicher Behandlungssitzungen zur Revision der Wurzelkanalfüllung und erneuter Wurzelkanalbehandlung und/oder Wurzelspitzenresektion sinkt. Sollten auch diese Zahnerhaltungsmaßnahmen scheitern kann in Einzelfällen durch Hemi- oder Trisektion versucht werden, den Zahn anteilig zu erhalten bzw. sind der Verlust des Zahnes und sich daraus ergebende Folgebehandlungen unvermeidbar.

Zentrales Ziel dieser Studie war es nach der genormten Wurzelkanalaufbereitung den Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland), einen auf einer Harz-Komposit-Matrix basierenden selbsthärtenden Werkstoff, auf seine Eignung für die

orthograde Wurzelkanalfüllung zu testen. In der weiteren Untersuchung wurde die Eignung von Biocem als hermetisches Verschlussmaterial und die Revidierbarkeit der Wurzelkanalfüllung, nach Einsatz des Werkstoffes Biocem, überprüft.

Ziel dieser Arbeit war es zu überprüfen, ob die gestellten Anforderungen an eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung –eine solide Aufbereitung des Wurzelkanalsystems, eine adäquate, 3-dimensional-abdichtende Wurzelfüllung sowie die Möglichkeit der Revision – mit dem zur Verfügung gestellten Werkstoff zu erreichen waren.

## 2. Grundlagen

### 2.1. Einführung in das Thema

Die Endodontie ist „*das Fach, welches sich mit der Anatomie, Funktion, Gesundheit, Pathologie und Therapie von Pulpa und Dentin befasst*“. [Europäische Gesellschaft für Endodontologie (ESE). [2004] [72, 82]

Eine korrekte und differenzierte Diagnosestellung ist Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung. Eine möglichst exakte Diagnostik wird durch Zuhilfenahme objektiver und subjektiver Krankheitskriterien sowie diverser technischer Hilfsmittel möglich und erlaubt nach Befunderhebung eine individuell, auf den Patienten abgestimmte, gezielte Therapie.

Indikationen für die Behandlung des Endodonts sind unter anderem irreparable Schädigungen der Pulpa mit oder ohne Beteiligung periapikaler Strukturen, aber auch Hemi- bzw. Trisektion, Devitalisation aufgrund geplanter prothetischer Stiftverankerungen und die Wurzelbehandlung im Rahmen einer Wurzelspitzenresektionen. [16, 47, 54]

Kontraindikationen für eine Wurzelkanalbehandlung stellen Situationen dar, in denen die Zähne funktionell nicht wiederhergestellt werden können oder aufgrund massiver parodontaler Schädigung nicht erhaltungswürdig sind, tiefe Wurzel-Kronen-Frakturen, Wurzelkaries, ausgeprägte Wurzelresorptionen, ungünstige anatomische Voraussetzungen, nicht zu vergessen sind aber auch mangelnde Compliance des Patienten (u.a. geistig/ körperliche Behinderungen, Unwillen,...) oder Grunderkrankungen, die gegen eine solche Behandlungsmaßnahme sprechen (z.B. vor Radatio). [47, 82, 124, 134]

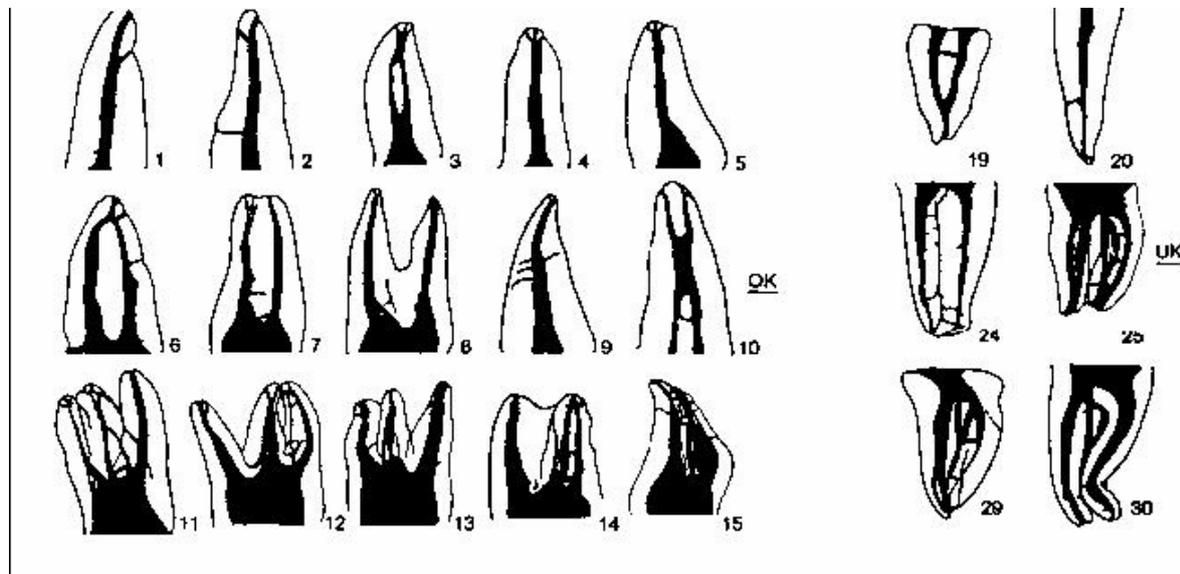
In den letzten Jahrzehnten ist durch wissenschaftliche und technische Fortschritte die endodontische Zahnbehandlung noch schneller, leichter und effizienter geworden. Die Erfolgsaussichten zum permanenten Zahnerhalt werden durch neue Verfahren und Materialien revolutioniert, damit wachsen aber auch die Ansprüche der Patienten ihre Zähne dauerhaft zu bewahren. Resultat ist ein hoher Standard der sich auch in der stetig erhöhenden Erfolgsrate widerspiegelt. Die Zahl der Wurzelkanal-

behandlungen nimmt weltweit stetig zu. Waren es deutschlandweit im Jahr 1970 3,165 Millionen endodontisch versorgte Zähne, so steigerte sich die Anzahl der Behandlungen auf 7,853 Millionen im Jahr 2003 (KZBV Jahrbuch 2003). Gleichzeitig verringert sich statistisch aber auch die Zahl der Extraktionen im Vergleich mit der Zahl an endodontischen Versorgungen. Kamen 1970 auf 5,4 Extraktionen nur eine Wurzelkanalbehandlung, so war im Jahr 2001 das Verhältnis 1,8: 1 (Weiger et al. 1997). C. Kockapan stellte 1998 die Theorie auf, dass der Anstieg zugunsten der Wurzelkanalbehandlungen durch steigende Nachfrage der Patienten, sowie der Zunahme der restaurativen Behandlungsmöglichkeiten bedingt ist. [72, 82, 128]

Maßstab für die Qualität einer endodontischen Behandlung ist die größtmögliche Keimfreiheit des Wurzelkanals - wobei bei Zähnen mit infizierter Pulpanekrose das Wurzelkanalwanddentin ebenfalls als belastet angesehen werden muss. D.h. für die Praxis, dass der Behandler dafür Sorge trägt, dass er bei der Wurzelkanalaufbereitung auf die vollständige Entfernung aller organischen vitalen und nekrotischen Gewebe, Aufbereitung in genormte Formen - von apikal nach koronal konisch – und die Erhaltung der natürlichen apikalen Konstriktion achtet. [16, 46, 47, 72]

Trotz modernster Systeme stellt sich der apikale Anteil des Wurzelkanalsystems als „konus knaxus“ dar. Er weist nach abgeschlossenem Wurzelwachstum viele anatomische Variationsmöglichkeiten auf. Diese können im ungünstigsten Fall sich verzweigende Seitenkanäle im Wurzelendbereich (apikales Delta), laterale Seitenkanälchen, intrakanaläre Aufzweigungen mit Wiedervereinigung vor Austritt aus dem Wurzelkanallumen, sowie scharfe Abknickungen sein (siehe Abbildung 1, S. 8). Damit stellt der apikale Anteil den diffizilsten Teil in der Diagnostik und Aufbereitung dar und ist bei ungünstiger anatomischer Variation auch mit Hilfe der modernsten Instrumentarien selten vollständig für eine komplette Aufbereitung zugänglich. Nach abgeschlossenem Wurzelwachstum (GAT-Stadium 5) sollte jedoch versucht werden, die erkrankte Pulpa immer vollständig zu entfernen und die Kanäle im Sinne einer definierten Wurzelkanalaufbereitung für die anschließende Füllung genormt zu bearbeiten. Laterale Strukturen die nicht mittels Instrumenten und durch antibakterielles Treatment redigiert wurden, bergen die Gefahr von verbliebenen infizierten Restgewebes sowie Bakterien, Stoffwechselprodukten und Toxinen. Diese können bei Persistenz über den Apex bzw. laterale Kanälchen hinaus diffundieren, Nachbarstrukturu-

ren reizen und infizieren sowie zu einer Reinfektion führen. Trotz dieser anatomischen Besonderheit und des damit nicht ausschließbaren Restrisikos liegt die Wahrscheinlichkeit einer langfristig erfolgreichen Wurzelkanaltherapie nach erstmaliger sorgfältiger Behandlung bei 80%. [16, 45, 46, 68, 72, 82, 91]



*Abbildung 1: Beispiele für die Komplexität des Wurzelkanalsystems*

Ziele einer erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung sind eine solide Aufbereitung des Wurzelkanals, eine bestmögliche Aufbereitung des Kanalsystems sowie eine adäquate, 3-dimensional-abdichtende Wurzelfüllung mit einem dichten koronalen Verschluss.

## 2.2. Ätiologie der Pulpaerkrankungen

Das Endodont besteht aus mineralisiertem (Dentin) und nichtmineralisierten (Pulpa) Anteilen. Das Dentin umfasst Odontoblasten und ihre Fortsätze, Dentintubuli, peritubuläres, intertubuläres und Manteldentin. Die Pulpa besteht neben Gefäßen sowie Nerven aus lockerem Bindegewebe mit Odontoblasten, Fibroblasten, Ersatz- und Abwehrzellen. [104]

Verschiedene Reize können zu einer Entzündung und Destruktion des Wurzelkanalgewebes führen.

Ätiologisch ist eine infektiös-toxische Genese am häufigsten ursächlich für eine Entzündung der Pulpa, diese wird vor allem durch kariöse Läsionen des Zahnes hervorgerufen. Die Reizeinwirkung im Schmelz und Dentin wird über die Dentinkanälchen auf die Pulpa übertragen. Als natürliche Abwehrreaktion erfolgt die Bildung von Reizdentin und Sklerosierung der Dentintubuli zum Schutz der Pulpa. Gelangen trotzdem irritierende, toxische Stoffe bis zum Wurzelkanalgewebe erfolgt eine Entzündungsreaktion mit den klassischen 5 Kardinalsymptomen: Tumor, Rubor, Calor, Dolor und functio laesa. Die reaktive Hyperämie (Rubor) mit der verbundenen Schwellung (Tumor) führen aufgrund der festen Begrenzung des Pulpencavums zu einem gestörten venösen Abfluss.

Neben der infektiös-toxischen Genese können aber auch parodontale Erkrankungen sekundär degenerative Veränderungen der Pulpa hervorrufen. Die Entzündung/ der Zerfall beginnt bei dieser Form apikal und breitet sich nach koronal aus.

[25, 47, 75]

Weiter sind iatrogene Ursachen wie sie bei der Kavitäten- und Kronenpräparation mit ungenügender Wasserkühlung und zu festem Anpressdruck entstehen, pulpenirritierende Medikamente und Füllungs- oder Abformmaterialien zu nennen. Durch die verbesserte Verarbeitung von Nahrungsmitteln sowie protektive Maßnahmen bei Bruxismus nehmen Pulpitiden aufgrund von natürlichen Abrasionen einen verschwindend geringen Prozentsatz ein. Neoplasmen führen ebenfalls - wenn auch sehr selten - durch eine Unterbrechung der Blutzufuhr zur Destruktion des Pulpengewebes. [16, 45, 134]

### 2.3. Die Aufbereitung des Wurzelkanalsystems

Voraussetzung für jede optimale Wurzelfüllung ist die saubere und systematische Aufbereitung des Wurzelkanallumens.

Dabei ist in mehreren Schritten wechselweise vorzugehen:

- füllkongruente Formgebung („Shaping“)
- Reinigung und Desinfektion des Kanallumens („Cleaning“)

Diese beiden Schritte wurden schon vor 30 Jahren von *Herbert Schilder* gefordert und sind auch in heutiger Zeit noch aktuell. [113]

„Cleaning“ erfordert das vollständige Entfernen allen Inhalts aus dem Wurzelkanal. Dies sind zum Beispiel: Pulpenrestgewebe, infiziertes Gewebe (sowohl der Pulpa als auch des Dentins), Bakterien und deren Produkte, antigenes Material sowie Dentikel. Gereinigt wird sowohl instrumentell als auch chemisch und/oder technisch (Laser, Hochfrequenz, Ultraschall).

„Shaping“ nennt man die Anpassung des Lumens an die spätere Wurzelfüllung.

*Herbert Schilder* stellte 5 Forderungen an die optimale Kanalform auf:

- konische Form, ansteigend von apikal nach koronal
- dünnsten Durchmesser an apikaler Konstriktion
- gekrümmte Kanäle in Ebenen aufteilen und präparieren
- Foramen apikale nicht in seitlicher Richtung verlegen
- Foramen apikale so klein wie nötig aufbereiten

Wichtig ist bei all diesen Vorgaben das geeignete Verhältnis zwischen ausreichendem Substanzabtrag und geringstmöglicher Schwächung des restlichen Zahnes zu finden. Ein Dentinabtrag ist zwingend, da das Dentin bis in eine Tiefe von 1,2µm mit Bakterien und deren Abfallprodukten kontaminiert sein kann und auch Unebenheiten, Krümmungen und sekundäre Ablagerungen entfernt werden sollten.

Eine effektive Spülkraft, ausreichender Druck bei der Applikation sowie zum Ausschwemmen der Debris und effiziente Irrigation apikaler Bereiche kann erst ab ISO-Größe 35 mit der Konizität bei der Aufbereitung mit Handinstrumente der eingebrachten Spülkanülen erreicht werden (*Senia und Mitarb.*, 1971). Eine manuelle Aufbereitung bis Minimum ISO 35 ist daher Standard. Durch vergrößerte Konizitäten bei der maschinellen Aufbereitung wird eine ausreichende Spülwirkung bei der Aufbereitung in standardisierten Größen in summa erreicht. [9, 59, 103]

Klassisch ist die manuelle Wurzelkanalaufbereitung mittels Handinstrumenten. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts konnten dann aber funktionsfähige maschinelle Aufbereitungskonzepte die Endodontie revolutionieren.

Dabei werden vor allem superelastische NiTi-Feilen eingesetzt, die es dem Behandler durch ihre Flexibilität ermöglichen die ursprüngliche Kanalform besser beizubehalten. In diversen Studien zeigt sich die Überlegenheit der Nickel-Titan-

Feilen, unter anderem auch bei der manuellen Aufbereitung. Sie erzeugt signifikant weniger Aufbereitungsfehler als Stahlinstrumente, die Arbeitslänge wird bedeutend öfter beibehalten und auch gekrümmte Wurzelkanäle werden mit den NiTi-Feilen schneller aufbereitet. Die NiTi-Feilen weisen eine 2-3mal höhere Flexibilität als herkömmliche Instrumente auf und besitzen eine höhere Biegefestigkeit. Nachteilig ist allerdings ihre höhere Anfälligkeit für Torsionsbruch, sowie die geringere Schneidleistung und schnellere Abnutzung. Die Frakturgefahr erhöht sich mit Zunahme der Konizität der Feile und dem Krümmungsradius des Kanals. [18, 133]

Bei der Aufbereitung sollte man stets die ermittelte Arbeitslänge mittels Stopper am Instrument markieren um Über- bzw. Unterinstrumentierung zu vermeiden. Ein genau definierter Referenzpunkt an der Zahnkrone hilft bei der Reproduzierbarkeit der Arbeitslänge. Bei Überinstrumentierung besteht die Gefahr das infiziertes Gewebe über den Apex hinaus gepresst und das periapikale Gewebe unnötig traumatisiert wird. Die Arbeitslänge endet nach europäischem Standard am Foramen physiologicum. Röntgenologisch ist die Bestimmung dieses Punktes durch anatomische Unterschiede der apikalen Zahnform schwierig. Eine endometrische Längenbestimmung bringt eine Verbesserung bei der Bestimmung des Foramen physiologicum und damit der Arbeitslänge (Shabahang S. et al., 1996).

Die Aufbereitung und die spätere Wurzelfüllung sollten idealer Weise an der engsten Stelle des Wurzelkanallumens, dem foramen physiologicum, abschließen. Nur so ist es möglich, die Kontaktfläche des Wurzelfüllmaterials mit periapikalen Strukturen klein zu halten. [112, 137]

#### 2.4. Reduktion der Keime im Wurzelkanalsystem

Als Schmierschicht (smear layer) bezeichnet man den aus organischen und anorganischen Stoffen, wie Dentinabrieb, Prädentin und Odontoblastenfortsätze, Pulpenrestgewebe und bakteriellen Komponenten, bestehenden Belag welcher sekundär beim Aufbereitungsvorgang entsteht (1975, *McComb und Smith*). Er führt zum Verschluss der Tubuliöffnungen und kann auch durch Verwendung von Ultraschall nicht verhindert werden. [89, 100, 119]

Im Elektronenmikroskop kann keine eindeutige Trennung von Wurzel dentin und smear layer erfolgen. Man unterscheidet den Abrieb der in die Dentinkanälchen gepresst wird von dem, welcher der Wurzelkanalwand anliegt (*Kockapan 1995, Sen et al 1984*). Die Einpresstiefe in die Dentintubuli liegt bei 5- 40  $\mu\text{m}$  (*Mader et al, 1984*) dadurch wird die Permeabilität des Dentins um 25- 30 % herabgesetzt (*Foster et al, 1993*). Die Schmierschicht stellt einen Herd für Reinfektionen dar, des Weiteren setzt sie die Wirksamkeit von medikamentösen Einlagen herab, senkt die Haftkraft von Sealern und erleichtert die Anheftung und Penetration von Bakterien. [37, 71, 72, 86, 118]

Bezüglich der Entfernung von Debris zeigen Instrumente mit einem U-förmigen Querschnitt ein besseres Ergebnis als dreiseitige Querschnitte. Auch scheinen in diesem Punkt manuelle Aufbereitungstechniken maschinellen überlegen zu sein. Ein homogener smear layer ergibt sich bei allen Systemen. Dieser wird unterschiedlich stark in die Dentintubuli gepresst und verblockt diese. [23, 96]

Da die mechanische Wurzelkanalaufbereitung allein nicht ausreicht um ein sauberes und weitestgehend desinfiziertes Milieu zu schaffen, ist die Anwendung von chemischen Spüllösungen unverzichtbar. Schon *Baker und Mitarb. (1975)* haben in REM-Studien gezeigt, dass die Reinigungswirkung ohne Spülmittel um ca. 70% herabgesetzt war, selbst wenn als Spüllösung nur physiologische Kochsalzlösung genommen wurde. [12]

Die Wurzelkanalspülung sollte nach jedem Feilenwechsel und am Ende der mechanischen Kanalaufbereitung erfolgen und idealerweise folgende Anforderungen erfüllen:

- Ausschwemmen von Debris aus dem Kanallumen
- Auflösung des smear layer
- Auflösen von vitalen und nekrotischen Restgewebes
- Zerstörung von Mikroorganismen (antibakterielle Wirkung)
- Unterstützung der Gleitwirkung für Instrumente
- Bewirken einer internen Bleichung
- Vermeiden von Irritationen durch geringe Toxizität gegen körpereigene Gewebe (Zytotoxizität)

Diese Anforderungen können zum Großteil durch Natriumhypochlorid (NaOCl) 2,5% erfüllt werden. Der pH-Wert von NaOCl liegt zwischen 10,7 und 12,2 und wurde in abgewandelter Form schon 1847 von *Semmelweis* zur Händedesinfektion im Kampf gegen Kindbettfieber genutzt (Semmelweis, 1861). NaOCl hat eine gewebeauflösende Wirkung, wobei nekrotisches Gewebe besser als vitales Gewebe aufgelöst wird (*Spanberg und Mitarb.* 1973, *Gordon und Mitarb.* 1981), und besitzt eine sehr gute antibakterielle Wirkung. Natriumhypochlorid zerfällt beim Kontakt mit organischem Material in Na- und Cl-Ionen und wird inaktiviert. Die Wirksamkeit nimmt mit dem Anteil an organischem Material im Wurzelkanallumen ab (*Byström und Sundqvist*, 1985), aber mit der Höhe der Konzentration und der Einwirkzeit zu. Die empfohlene Maximalkonzentration beträgt 5,25%, da bei höheren Konzentrationen die negativen Effekte auf das umliegende Gewebe zu stark ansteigen. Aus diesen Gründen ist eine wiederholte Spülung zur Aufrechterhaltung der antibakteriellen Wirkung indiziert. Eine weitere erwünschte Eigenschaft ist die bleichende Wirkung, die durch den korrodierende Effekt von OH-Ionen, Cl-Ionen und OCl-Ionen entsteht und vor allem bei verfärbten Zähnen von Nutzen ist. Die Entfernung des smear layers alleinig mittels NaOCl gelingt jedoch nicht. [44, 63, 118, 122, 127]

EDTA (Ethyldiamintetraacetat) ist ein Chelator und bindet 2-wertige Kalziumionen zu wasserlöslichen Metallkomplexen, diese entmineralisierende Wirkung erleichtert die Aufbereitung enger kalzifizierter Wurzelkanäle. Seine antibakterielle Wirksamkeit ist eher gering. Jedoch konnte in Studien eine Erhöhung der Dentinpermeabilität nachgewiesen werden, welche durch das gute Potential zur Auflösung der Schmier-schicht und Geweberesten bedingt ist. Gebraucht wird es in einer Konzentration von 10- 15% und einem pH-Wert von 7,3. [63]

Durch eine Kombination von NaOCl und EDTA kommt es zu einer fast vollständigen Entfernung des *smear layers*, außerdem kann durch die kombinierte Verwendung das antibakterielle Potential von NaOCl gesteigert werden. [44, 63, 122, 127]

## 2.5. Die Wurzelkanalfüllung

Die Wurzelkanalfüllung erfolgt nach suffizienter Aufbereitung des Wurzelkanalsystems. Der Zahn sollte klinisch symptomfrei sein, das heißt, er sollte keine Schmerzen verursachen, keine Schwellung unterhalten und keine Fistelbildung aufweisen.

Die Wurzelbehandlung endet final in einem permanenten Verschluss der Wurzelkanalkavität.

Als Anforderungen an ein geeignetes Wurzelfüllmaterial ergeben sich:

- leichte Verarbeitung
- nicht zu schnelles Abbinden
- hermetischer Verschluss
- gute Haftung am Dentin und Füllstift
- volumenbeständig (geringe Schrumpfung, möglichst geringe Expansion)
- nicht resorbierbar
- radioopak
- biokompatibel
- bakteriostatisch
- leichte Revidierbarkeit
- nicht zahnverfärbend
- steril

[72]

Die Wurzelkanalfüllung besteht aus einem halbfesten Kernmaterial, zu meist Gutta-percha, welches in Form eines oder mehrerer (laterale Kondensation) Points in das Wurzelkanallumen eingebracht wird. Zweite Komponente ist eine Wurzelkanalfüllpaste (Sealer), welche die Aufgabe hat Unregelmäßigkeiten auszufüllen und das Kernmaterial dimensionsstabil mit dem Wurzeldentin zu verbinden. [124, 141]

Eine postendodontische Weiterversorgung des Zahnes durch konservierende oder prothetische Maßnahmen ist für eine vollständige Wiederherstellung der Funktion unerlässlich.

### 3. Fragestellung der Untersuchung und Ziel der Studie

Ziel dieser in vitro-Studie ist die Untersuchung und Bewertung des Füllungsmaterials Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) anhand von Dichtigkeitsmessungen bei Verwendung bei orthograden Füllung von Wurzelkanälen nach Einsatz von herkömmlichen sowie neuartigen Aufbereitungsmethoden des Wurzelkanallumens. Als neuartige Methode zur Bearbeitung der Wurzelkanäle wird hier die maschinelle Aufbereitung mit dem System ProTaper<sup>®</sup> und einer zusätzlichen antimikrobiellen Wurzelkanaloberflächenbehandlung, mit der hochenergetischen Strahlung eines Nd:YAG-Lasers, genutzt.

Darüber hinaus werden zwei unterschiedlichen Techniken bei der Füllung der Wurzelkanäle - „single cone“ Technik sowie laterale Kondensation jeweils in Verbindung mit genormten Guttaperchaspitzen - untersucht.

Eine zusätzlich mittels lateraler Kondensation bearbeitete Gruppe wird auf ihre Revisionsfähigkeit untersucht.

Die Bewertung der Dichtigkeit des Füllmaterials erfolgt an Hand der Eindringtiefe von Methylenblau im Farbstoffpenetrationstest zwischen Wurzelfüllmaterial und Wurzelkanalwand.

## 4. Material und Methode

### 4.1. Auswahl der verwendeten Probenzähne

Untersucht werden insgesamt 160 Wurzelkanäle von 160 Zähnen.

Gruppe I, mit insgesamt 125 Zähnen, wurde dabei generell maschinell mittels dem ProTaper<sup>®</sup>-System und unter Einsatz des Nd:YAG-Lasers aufbereitet.

Bei der Untergruppe I.1 wurde die 60 Zähne mittels single cone-Technik wurzelgefüllt. Dabei kamen bei jeweils 30 Zähnen die beiden verschiedenen Chargen A und B des untersuchten Wurzelfüllmaterials Biocem<sup>®</sup> zur Anwendung.

Bei der Untergruppe I.2 wurden ebenfalls jeweils 30 Zähne mittels der beiden Chargen A und B, jedoch im Unterschied zu Gruppe I.1, in der Technik der lateralen Kondensation abgefüllt.

Fünf aufbereitete Zähne wurden für die Untersuchung der Wurzelkanaloberfläche im REM aufbereitet.

In Gruppe II wurden 30 Zähne, als Vergleichsgruppe, konventionell per Hand aufbereitet und abgefüllt.

Gruppe III entspricht in Aufbereitung und Fülltechnik der Gruppe I.2 Charge B des Werkstoffs Biocem<sup>®</sup> (ProTaper<sup>®</sup>, laterale Kondensation). Diese fünf Zähne wurden praktisch auf die Möglichkeit der Revidierbarkeit der Wurzelfüllung untersucht.

Arbeitsschritte	Gr. I.1	Gr. I.1	Gr. I.2	Gr. I.2	Gr. I	Gr. II	Gr. III
Anzahl der Zähne	n=30	n=30	n=30	n=30	n=5	n=30	N=5
Trepanation und Darstellung des Kanaleingangs	X	X	X	X	X	X	X
Einsatz Laser	X	X	X	X	X		X
Spülung mit NaOCl 2,5% und EDTA 9%	X	X	X	X	X	X	X
Aufbereitung mit ProTaper®	X	X	X	X	X		X
Trocknung mit Papierspitzen	X	X	X	X	X	X	X
REM-Untersuchung					X		
Wurzelfüllung: "single-cone "	X	X					
Wurzelfüllung: Laterale Kondensation			X	X		X	X
Füllmaterial: Guttaperchapoints	X	X	X	X		X	X
Füllmaterial: Biocem® Charge A	X		X				
Füllmaterial: Biocem® Charge B		X		X			X
Sealer: Seal Apex®						X	
Revision							X
Koronale Zahnschnitte	X	X	X	X		X	X

Tab.: Übersicht über Aufteilung Behandlungsgruppen

Zur besseren Darstellung in der tabellarischen Übersicht wurde die Aufbereitungsarten in blau, die verschiedenen Wurzelfülltechniken in diversen Rottönen und die verschiedenen Wurzelfüllmaterialien in abgestuften Grüntönen gekennzeichnet.

Die Dentis permanentes wurden im Rahmen diverser parodontaler, kieferorthopädischer oder dentaler Indikationen bei volljährigen Patienten unterschiedlichen Alters und Geschlechts entfernt. Der Extraktionsgrund spielte bei der Auswahl für diese Versuchsreihe keine Rolle. Die Zähne wurden direkt nach der Extraktion in physiologischer Kochsalzlösung mit Zusatz von Natriumacetat 4% (Hausapotheke LMU München) zur Konservierung eingelegt. Bei mehrwurzeligen Zähnen wird aus techni-

schen- und Veranschaulichungsgründen nur ein Kanal zu Versuchszwecken herangezogen.

Die Aufteilung der Zähne auf die verschiedenen Gruppen erfolgt nach dem stochastischen Zufälligkeitsprinzip, so dass in jeder Gruppe unterschiedliche Zahntypen in variabler Anzahl verteilt waren (z.B. Frontzähne, Eckzähne, Prämolaren und Molaren aus unterschiedlichen Quadranten).

Die Gruppe I wird mit zwei verschiedenen Viskositäten – Gruppe I.1 Charge A hochviskös, Gruppe I.2 Charge B niedrigviskös - des zur Verfügung gestellten Materials Biocem getestet.

Um eine Vergleichbarkeit zwischen manueller und maschineller Aufbereitung zu erreichen werden die Zähne im Bereich des foramen apicale auf 350 Mikrometer normiert aufgearbeitet. Dies entspricht für die maschinell aufbereiteten Gruppen I.1 und I.2 F2 in der „short canal sequence“ des ProTaper®-Systems und in der konventionell aufbereiteten Gruppe einer apical master file ISO 35.

## 4.2. Versuchsaufbau

### **Gruppe I) Nd:YAG-Laser und WF Biocem**

Charge A und B

(n = 2 x 30 (je Charge) + 5)

- I.1. 1) Eröffnung der Pulpenkammer (Rotes Winkelstück, Diamant Körnung Grünring) und Darstellung des/ der Wurzelkanaleingangs/ -eingänge
- 2) Exstirpation Pulpagewebe (Exstirpationsnadel, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland)
- 3) Festlegung der Arbeitslänge (K-Feile, ISO-Größe 10, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland)
- 4) **Aufbereitung WK mit ProTaper** (Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland) gemäß Angaben des Herstellers („short canal sequence“, S1, SX, S1, S2, F1, F2) und dem Drehmomentbegrenzten Endo IT control (VDW) und dem empfohlenen Winkelstück (4:1, W&H, Systemprogramm „ProTaper“)
- 5) Spülung WK mit NaOCl (2,5%, Hausapotheke LMU München) und EDTA (9%, Hausapotheke LMU München)
- 6) Trocknung WK mit Papierspitzen (Roeko, Langeland, Deutschland)
- 7) **Bearbeitung WK mit Laserstrahlung Diodium Laser** (Schütz-Weil, Rosbach, Deutschland)  
Laserparameter: Nd:YAG-Laser, Wellenlänge 1064 nm, Pulsdauer 200µs, Pulsenergie 100mJ, Pulsfrequenz 20pps, Gesamtzahl der Impulse 400
- 8) **Füllung WK mit dem Werkstoff Biocem** (GDF, Rosbach, Deutschland) und „**single cone**“ (Guttapercha, Roeko, Langeland, Deutschland) als zentraler Stift
- 9) Koronale Abdichtung der Wurzelfüllung mit einer Kompositfüllung (Tetric Flow, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).
- 10) Untersuchung Dichtigkeit (Farbstoffpenetrationstest)

- I.2.
- 1) Eröffnung der Pulpenkammer (Rotes Winkelstück, Diamant Körnung Grünring) und Darstellung des/ der Wurzelkanaleingangs/ -eingänge
  - 2) Exstirpation Pulpagewebe (Exstirpationsnadel, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland)
  - 3) Festlegung der Arbeitslänge (K-Feile, ISO-Größe 10, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland)
  - 4) **Aufbereitung WK mit ProTaper** (Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland) gemäß Angaben des Herstellers („short canal sequence“, S1, SX, S1, S2, F1, F2) und dem Drehmomentbegrenzten Endo IT control (VDW) und dem empfohlenen Winkelstück (4:1, W&H, Systemprogramm „ProTaper“)
  - 5) Spülung WK mit NaOCl (2,5%, Hausapotheke LMU München) und EDTA (9%, Hausapotheke LMU München)
  - 6) Trocknung WK mit Papierspitzen (Roeko, Langeland, Deutschland)
  - 7) **Bearbeitung WK mit Laserstrahlung Diodium Laser** (Schütz-Weil, Rosbach, Deutschland)  
Laserparameter: Nd:YAG-Laser, Wellenlänge 1064 nm, Pulsdauer 200µs, Pulsenergie 100mJ, Pulsfrequenz 20pps, Gesamtzahl der Impulse 400
  - 8) **Füllung WK mit dem Werkstoff Biocem** (GDF, Rosbach, Deutschland) und **laterale Kondensation** (Guttapercha, Roeko, Langeland, Deutschland)
  - 9) Koronale Abdichtung der Wurzelfüllung mit einer Kompositfüllung (Tetric Flow, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).
  - 10) Untersuchung Dichtigkeit (Farbstoffpenetrationstest)

## **Gruppe II) herkömmliche Aufbereitung WK und laterale Kondensation WF**

(n = 30)

- II. 1) Eröffnung der Pulpenkammer (Rotes Winkelstück, Diamant Körnung Grünring) und Darstellung des/ der Wurzelkanaleingangs/ -eingänge
- 2) Exstirpation Pulpagewebe (Exstirpationsnadel, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland)
- 3) Festlegung der Arbeitslänge (K-Feile, ISO-Größe 10, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland)
- 4) **Aufbereitung WK manuell** (K-Feile, H-Feile, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland)
- 5) Spülung WK mit NaOCl (2,5%, Hausapotheke LMU München) und EDTA (9%, Hausapotheke LMU München)
- 6) Trocknung WK mit Papierspitzen (Roeko, Langeland, Deutschland)
- 7) **Füllung WK laterale Kondensation** mit Sealer (Sealapex, Kerr, Salerno, Italien) und Guttaperchapoints (Roeko, Langeland, Deutschland)
- 8) Koronale Abdichtung der Wurzelfüllung mit einer Kompositfüllung (Tetric Flow, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).
- 9) Untersuchung Dichtigkeit (Farbstoffpenetrationstest)

### **Gruppe III) Nd:YAG-Laser und WF Biocem, Revision**

Charge B

(n = 5)

- III. 1) Eröffnung der Pulpenkammer (Rotes Winkelstück, Diamant Körnung Grünring) und Darstellung des/ der Wurzelkanaleingangs/ -eingänge
- 2) Exstirpation Pulpagewebe (Exstirpationsnadel, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland)
- 3) Festlegung der Arbeitslänge (K-Feile, ISO-Größe 10, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland)
- 4) **Aufbereitung WK mit ProTaper** (Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland) gemäß Angaben des Herstellers („short canal sequenz“, S1, SX, S1, S2, F1, F2) und dem Drehmomentbegrenzten Endo IT control (VDW) und dem empfohlenen Winkelstück (4:1, W&H, Systemprogramm „ProTaper“)
- 5) Spülung WK mit NaOCl (2,5%, Hausapotheke LMU München) und EDTA (9%, Hausapotheke LMU München)
- 6) Trocknung WK mit Papierspitzen (Roeko, Langeland, Deutschland)
- 7) **Bearbeitung WK mit Laserstrahlung Diodium Laser** (Schütz-Weil, Rosbach, Deutschland)  
Laserparameter: Nd:YAG-Laser, Wellenlänge 1064 nm, Pulsdauer 200µs, Pulsenergie 100mJ, Pulsfrequenz 20pps, Gesamtzahl der Impulse 400
- 8) **Füllung WK mit dem Werkstoff Biocem** (GDF, Rosbach, Deutschland) und **laterale Kondensation** (Guttapercha, Roeko, Langeland, Deutschland)
- 9) Koronale Abdichtung der Wurzelfüllung mit einer Kompositfüllung (Tetric Flow, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein).
- 10) **Revision** Füllmaterial manuell / maschinell
- 11) Untersuchung Dichtigkeit (Farbstoffpenetrationstest)

### 4.3. Lagerung der Zähne, Aufbereitung und Füllung der Wurzelkanäle

Nach der Extraktion wurden die Zähne direkt in physiologischer Kochsalzlösung mit Natriumacetat (Hausapotheke LMU München) zur Konservierung eingelegt.

Alle 160 Zähne wurden mit einem Diamanten (Rotes Winkelstück, KaVo, Biberach/Riss, Deutschland; Diamant Körnung Grünring, Komet, Gebr. Brasseler, Lemgo, Deutschland) von okklusal trepaniert, exstirpiert (Exstirpationsnadel, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland) und die Arbeitslänge in vitro festgestellt (K-Feile, ISO-Größe 10, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland).

In der Versuchsgruppe I wurden die 125 Zähne (I.1. und I.2.), nach der Arbeitslängenbestimmung, mit dem maschinellen Aufbereitungssystem ProTaper (Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland) in der „short canal sequenz“ (S1, SX, S1, S2, F1, F2) gemäß den Herstellerangaben aufbereitet. Mit den Nickel-Titan-Instrumenten des ProTaper Systems wurde in langsamen Auf- und Abbewegungen gearbeitet. Dabei wurde drehmomentbegrenzt mit dem Endo IT control (VDW, München, Deutschland) und dem 4:1 Winkelstück (W&H) entsprechend dem zugehörigen Systemprogramm vorgegangen. Als Conditioner wurde Glyde (Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland) benutzt.

Nach jeder Feilengröße die eingesetzt wurde, wurden die Kanäle abwechselnd mit NaOCl (2,5% Hausapotheke LMU München) und EDTA (9% Hausapotheke LMU München) gespült. Die so aufbereiteten Wurzelkanäle wurden mit genormten Papier spitzen (Roeko, Langeland, Deutschland) getrocknet und auf die Laserbehandlung vorbereitet.

Die Bearbeitung der Wurzelkanäle erfolgte mit dem Diodiumlaser (Schütz-Weil, Rosbach, Deutschland). Dabei wurde die Laserstrahlung des Nd:YAG-Lasers je 4 mal, 5 Sekunden mit einer Leistung von 1,5 W, einer Pulsenergie von 100 mJ und einer Frequenz von 15 Hz also einer Gesamtzahl von 400 Impulsen mit kreisrunden Bewegungen entlang der Wurzelkanalwände nach koronal in Kontaktarbeitsweise aus dem Wurzelkanal gezogen.

Bis zu diesem Zeitpunkt wurden die 125 Zähne aus Gruppe I.1. und I.2. völlig gleich behandelt. 5 Zähne wurden zum Zweck der rasterelektronischen Mikroskopie nicht weiter behandelt und an dieser Stelle dem weiteren Versuchsaufbau entnommen.

Erst bei der Wurzelfüllung kamen verschiedene Methoden zur Anwendung. Bei der Gruppe I.1. erfolgte die Wurzelfüllung im Sinne des „single cone“-Verfahrens, d.h. ein zentraler Stift aus Guttapercha (Roeko, Langeland, Deutschland) wurde in den mit dem Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) gefüllten Wurzelkanal eingebracht. Bei der Versuchsgruppe I.2. wurden die 60 Zähne in der Technik der lateralen Kondensation gefüllt.

In der Versuchsgruppe I wurden 2x 60 Zähne gefüllt, da zwei verschiedene Viskositäten des Biocem-Wurzelfüllmaterials untersucht wurden. Je 30 Zähne in „single cone“- und 30 Zähne in „lateraler Kondensations“-Technik.

Herkömmliche Aufbereitung und Wurzelkanalfüllung waren Zielsetzung der Versuchsgruppe II. Die 30 Wurzelkanäle wurden konventionell mit der Hand bis ISO-Größe 35 aufbereitet (K-Feile, H-Feile, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland). Auch hier wurde nach jeder Feile mit NaOCl (2,5%) und EDTA (15%) gespült. Nach fertiger Aufbereitung erfolgte die Trocknung der Wurzelkanäle mittels Papierspitzen. Gefüllt wurden die so vorbereiteten Wurzelkanäle mit Guttaperchaspitzen welche teils mit Sealer (Sealapex, Kerr, Karlsruhe, Deutschland) beschickt wurden und in der Technik der lateralen Kondensation in den Wurzelkanal eingebracht wurden. Der zentrale Masterpoint der ISO-Größe 35 wurde immer dünn mit Sealer versehen, bei den restlichen eingebrachten Zusatzpoints der ISO-Größe 15 wurde nur jeder 3. Stift mit Sealer beschickt und mit Hilfe eines Fingerspreaders (Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland) eingebracht.

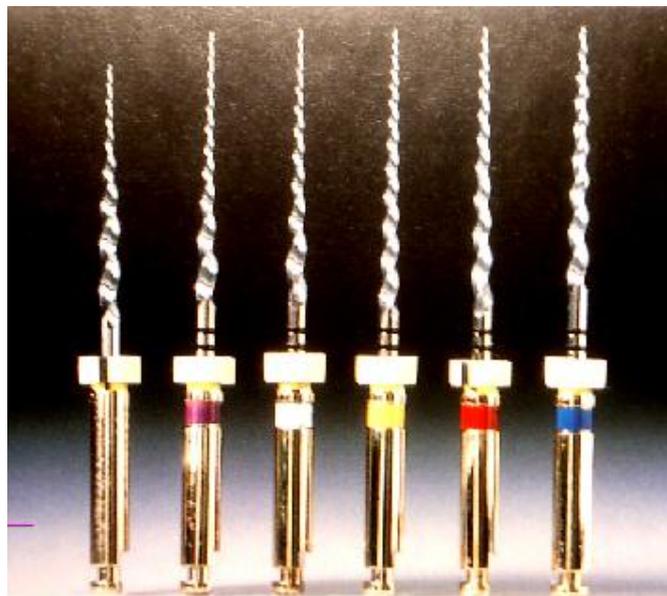
Die 5 Zähne der Versuchsgruppe III wurden wie die Zähne der Gruppe I.2. vorbehandelt und gefüllt. Anschließend erfolgte der Versuch der Revision der Wurzelkanalfüllung. Es kamen sowohl maschinelle als auch manuelle Methoden zum Einsatz.

Mittels eines Kerr-Bohrers und des Pro Taper-Systems erfolgte der Versuch der maschinellen Revision. Bei dieser Methode wurden die rotierenden Instrumente in den gefüllten Wurzelkanal eingebracht und unter stetigen Auf- und Abbewegungen wurde versucht die Guttapercha und den Kunststoffsealer zu revidieren. Beim manuellen Verfahren wurden Reamer und Headstroemfeilen eingesetzt. Die Feilen wurden durch leichte Viertelkreisdrehungen und Aufwärtsbewegungen im Kanal geführt und es wurde somit eine zirkumferente Abtragung angestrebt. Eukalyptusöl diente als chemisches Hilfsmittel zum Erweichen und Anlösen der Guttaperchaspitzen.

## 4.4. Aufbereitung der Wurzelkanäle

### 4.4.1. Maschinelle Aufbereitung mit ProTaper<sup>®</sup>

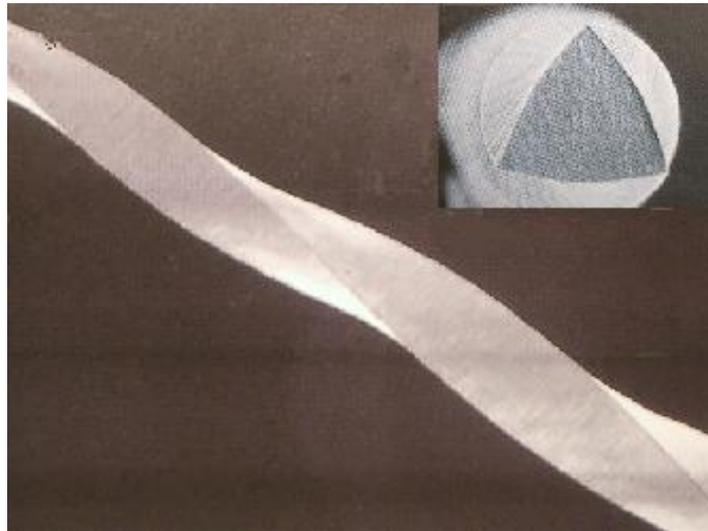
Das ProTaper<sup>®</sup>-System der Firma Dentsply Maillefer (Bellaigues, Schweiz) wurde entwickelt um eine höhere Effektivität und Flexibilität bei der Wurzelkanalaufbereitung zu schaffen und besteht aus 6 Feilen, welche in ihrer Form mehrere aufsteigende Konizitäten vereinigen.



*Abbildung 2: Die ProTaper<sup>®</sup> Instrumente*

Man unterscheidet die 3 Shaping-Feilen (SX, S1, S2) die zur koronalen Erweiterung dienen von den 3 Finishing-Feilen (F1, F2, F3) zur Ausformung der apikalen Region. Im Gegensatz zu anderen Systemen zeichnet sich das ProTaper<sup>®</sup>-System durch einen Wechsel der Taperung im abtragenden Arbeitsteil zwischen 2 und 19% aus. Als Taperung wird die Konizität des Instrumentes in Prozent bezeichnet. Bei den Shaping-Feilen ist sie dabei zur Instrumentenspitze abfallend, bei den Finishing-Feilen ansteigend. Der Instrumentenquerschnitt der Feilen SX-F2 ist dreieckig (bis auf die letzte Finishing-Feile) mit konvexen Schneiden. Dadurch wird die Kontaktfläche zur Kanalwand minimiert bei gleichzeitiger Optimierung der Schneidleistung. Die F3- Feile dagegen besitzt konkave Schneiden. Allen gemein ist die abgerundete,

nichtscheidende Instrumentenspitze – bildlich impliziert sich der Vergleich mit dem umgekehrten Eiffelturm.



*Abbildung 3: Querschnitt der ProTaper®-Feilen*

Die Aufbereitung des Wurzelkanalsystems beginnt mit der Shaping-Feile (SX) welche sich durch einen vergrößerten Taper bei gleichzeitig reduzierter Gesamtlänge von 19mm auszeichnet. Sie dient dazu den koronalen Anteil für erleichterten Einsatz der weiteren Feilen stark zu erweitern.

Anschließend kann mit den Shaping-Feilen (S1 und S2) nach dem Prinzip crown-down bis apikal aufbereitet werden. Dabei wird die Feile ohne Druck im Kanallumen bürstend bewegt um somit einen Materialabtrag an der Kanalwand zu erreichen und diesen Abrieb nach koronal zu transportieren. Alle Feilen außer SX haben eine Länge von 21 bzw. 25mm. Nach S1 kommt die Feile S2 zum Einsatz und dann kann mit den Finishing-Feilen gearbeitet werden. Mit den Finishing-Feilen erfolgt die genormte Formgebung des apikalen Drittels für die spätere Wurzelfüllung. Die Durchmesser steigen dabei von F1 nach F3 stetig an und entsprechen im apikalen Anteil ISO 20 (für F1), ISO 25 (für F2) und ISO 30 (für F3) der Handaufbereitung. Wie oben benannt liegt hier eine Abnahme der Taperung nach koronal vor. Diese Besonderheit in der Geometrie macht die Feilen flexibler und widerstandsfähiger gegen Torsionsbrüche (Ruddle, 2002).

Die Feilen werden in einer sanften Auf- und Abbewegung im Kanal geführt. Um die Bruchgefahr durch einwirkende Torsionskräfte zu minimieren wird eine Verwendung von Glyde sowie drucklose Arbeitsweise angeraten. Hier hat sich das Prinzip „pencil lead analogy“ bewährt, welches bedeutet, dass die maximale Kraft die der Anwender auf das Instrument ausübt dem entspricht welcher beim Schreiben auf die Spitze des Bleistift übertragen wird, ohne dass diese abbricht (C.J. Ruddle, 2002).

Bei stark gekrümmten Kanälen steigt die Bruchgefahr der Shaping-Feilen aufgrund ihrer hohen Konizität stark an. In diesen Fällen kann eine Benutzung einer Feile aus einem anderen System angeraten sein. [18, 24]

#### 4.4.2. Nd:YAG-Laser

##### 4.4.2.1. Einsatz des Nd:YAG-Lasers in der Zahnheilkunde

Lasersysteme sind seit über 30 Jahren in der Industrie, Wissenschaft, Navigation, Kommunikationstechnologie sowie der Medizin im Einsatz. Im Bereich der Zahnmedizin hat der Gebrauch von Lasern heute einen festen Platz. [21, 22, 98]

Der Begriff Laser ist ein Akronym für „light amplification by stimulated emission of radiation“ (Lichtverstärkung durch stimulierte Strahlungsemission). Der Laser ist somit ein Lichtenergieverstärker, dessen Strahlung eine hohe Energiedichte, Kohärenz (räumliche und zeitliche Phasengleichheit) und Monochromasie (Strahlung einer bestimmten Wellenlänge) als Eigenschaften aufweist. Der Effekt im Gewebe hängt davon ab, wie gut das Gewebe die Energie des Lasers absorbiert. Für die Verwendung im oralen Bereich ist es notwendig, dass das einfallende Laserlicht eine hohe Absorption in Wasser hat da biologische Gewebe flüssigkeitsreich sind. Bei einer hohen Absorptionrate in Wasser konzentriert sich die Laserenergie auf einen geringen Gewebereich und somit kann mit einer niedrigen abgegebenen Energiemenge im Gewebe ein Abtrag stattfinden. Eine hohe Ablation bei geringem Energieaufwand findet man beim Er:YAG-Laser und bedingt beim CO<sub>2</sub>-Laser. Bei allen anderen Lasersystemen ist die Absorptionsrate nur gering, es kommt vor dem Abtrag zu einer thermischen Reaktion durch die hohe Konzentration an Feuchtigkeit im oralen Gewebe. Eine Reduktion der thermischen Schädigung kann durch gepulsten Einsatz der Laserstrahlung bewirkt werden. In den Intervallen zwischen den Laserimpulsen kann das Gewebe überschüssige Wärme abgeben. [39, 69, 90]

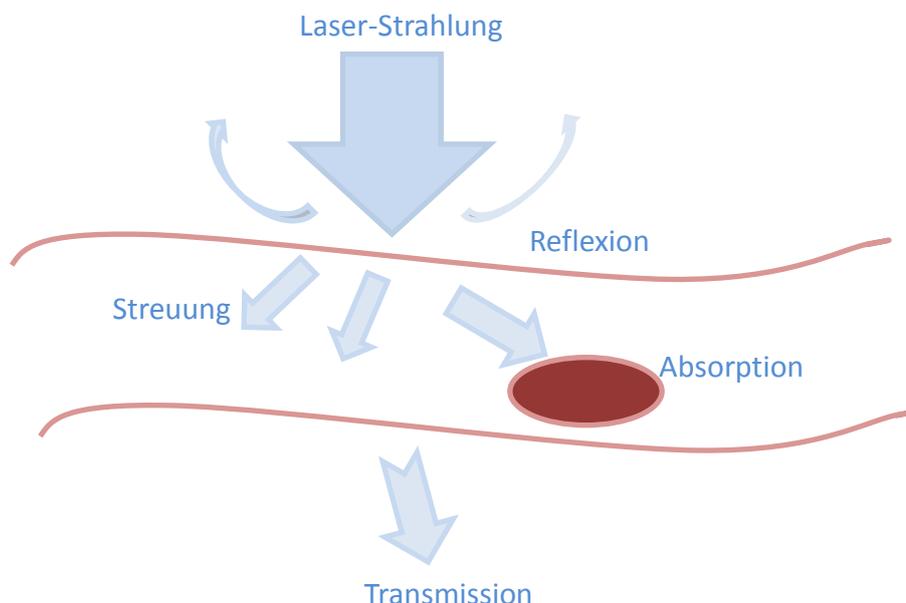


Abb.: Wirkung Laser im Gewebe

Der Nd:YAG-Laser zählt aufgrund seines Wellenlängenbereichs von  $1,064\mu\text{m}$  zu den Festkörperlasern. Der Nd:YAG-Laser vor allem in der Endodontie und bei der Behandlung von farbigen Weichgewebstumoren geeignet.

Ebenfalls zu den Hartlasern gehört der Er:YAG-Laser mit einer Wellenlänge von  $2,94\mu\text{m}$ . Er erlaubt eine vibrationsarme Ablation von Knochen, Zahnhartsubstanz und als „Bohren mit Laser“ die Entfernung von kariösen Geweben.

Der CO<sub>2</sub>-Laser ist mit einer Wellenlänge von  $10,6\mu\text{m}$  ideal um organische Weichgewebe zu koagulieren, formen, schneiden, vaporisieren und modellieren. Der supergepulste Laserstrahl sorgt für eine sterile und nicht blutende Behandlungsoberfläche. Hervorzuheben ist die komplikationsfreie postoperative Regeneration des Gewebes, bei der es ohne Schmerzen, Nachblutungen und Narbenbildung zu einer Restitutio ad integrum kommt.

Dioden-Laser eignen sich durch ihren breitgefächerten Wellenlängenbereich von 680-910 nm in verschiedenen zahnmedizinischen Bereichen. Als Hartlaser hat er sein Verwendungsspektrum in der Endodontie, der Parodontologie und Oralchirurgie. Im Softlaserbereich hat er eine biostimulierende Wirkung und ruft photochemische Prozesse in den Zellen hervor. Diese sollen die Gewebe stimulieren und einen hemmenden Effekt auf Schmerzen haben.

Argon-Laser haben ein geringes zahnmedizinisches Einsatzspektrum. Sie dienen allerhöchstens zum Aushärten von Kompositfüllungen und in Kombination mit Fluorid zur Stärkung der Widerstandskraft des Zahnschmelz. [69, 90, 98]

Laser (Wellenlänge)	Indikation			
	Kariestherapie	Endodontie	Parodontologie	Oralchirurgie
Argon (0,488 bis 0,514µm)	-	-	o	o
Dioden (0,68 bis 0,91µm)	-	o	o	o
Nd:YAG (1,064µm)	-	o	o	o
Ho:YAG (2,1 µm)	-	-	-	o
Er:YAG (2,94 µm)	+	+	+	+
CO2 (9,6 µm; 10,6 µm)	o	-	o	+
<b>Eignung:</b>	<b>+ gut</b>	<b>o bedingt</b>	<b>- nicht geeignet</b>	

Tab.: Einsatz Laser

Der Nd:YAG-Laser ist ein Festkörperkristalllaser und besonders in der Parodontologie, Endodontie und auch eingeschränkt für einige Hartgewebsanwendungen geeignet.

Als optisch aktives Material besitzt der Nd:YAG-Laser Neodymium (seltene Erde) und einen Wirtskristall namens Yttrium-Aluminium-Granat. Yttrium-Aluminium-Granat ist ein Rubin ( $Y_3Al_5O_{12}$ ), der mit Neodym-Atomen dotiert ist. Dieses ist ein Kristall mit kubischer Gitterstruktur, guten optischen Qualitäten und hoher Wärmeleitfähigkeit.

Der Nd:YAG-Laser erzeugt die Strahlung direkt im elektronischen Schaltelement der Diode und zeichnet sich durch eine hohe Pulsfolge (500pps) aus. Im zahnmedizinischen Bereich wird mit einem gepulsten Laser gearbeitet. Dies bietet den Vorteil von Abkühlungsphasen zwischen den Einzelimpulsen sowie geringerer Eindringtiefe und mindert somit thermische Nebenwirkungen auf das umliegende Gewebe. Gearbeitet wird in Kontaktarbeitsweise, d.h. die Spitze der Glasfaser ist im Kontakt mit der Dentinoberfläche des Wurzelkanals, damit eine optimale Absorption stattfinden kann. Durch thermische Aktivierung des „smear layers“ kommt es zur Verdampfung der kanalwandhaftenden Debris sowie im Bereich der Wurzelkanaloberfläche zu einer

Keimreduktion von 98-99% für pathogene Keime (Anaerobier) laut Herstellerangaben. [4, 21, 22, 40, 50, 51, 69, 98]

Technische Daten: Wellenlänge	1064 Nm
Leistung	1,5 W
Energie pro Puls	100 mJ
Pulsdauer	200 µs
Repetitionsrate	15 Hz (Frequenz)
Faserdurchmesser	200 µm
Kühlung	luftgekühlt
Stromversorgung	230V Einzelphase 50/60 Hz, max 4 A

Als Vorteile der Laserbehandlung sind neben der hohen Keimreduktion und dem damit verbundenen reduzierten Restrisiko, außerdem Zeitersparnis und vielfach sofortige Aufbereitung und Wurzelkanalfüllung in einer Sitzung zu nennen, die medikamentöse Einlage entfällt. Eine glasierte Oberfläche durch Einsatz des Lasers, - die durch Einschmelzung des Dentins und anschließender Rekristallisation entstehen soll (Schmelzsinterung, Karbonisierung) - wurde vor allem bei ungepulsten Systemen und entsprechend langer Behandlungsdauer beschrieben. [10, 11, 22] Die mit dem gepulsten Nd:YAG-Laser behandelte Wurzelkanaloberfläche zeigt in Studien eine glatte Dentinwand und deutlich sichtbare Zugänge in laterale Dentintubuli (REM-Aufnahmen) mit vereinzelt Debrisrückstände an der Wurzelkanalwand. [69, 116]

#### 4.4.2.2. Aufbereitung der Proben mit dem Nd:YAG-Laser

Die Zähne werden okklusal trepaniert (Super-Torque 630B, Kavo Dental, Biberach/Riss, Deutschland und Diamantbohrer Körnung Grünring, 837LH/014, Hager & Meisinger, Neuss, Deutschland) und die Pulpa mittels Extirpationsnadeln (ROEKO, Langeland, Deutschland) entfernt. Anschließend wird der Kanaleingang mit Hilfe der SX-Feile aus dem ProTaper<sup>®</sup>-System dargestellt. Die maschinelle Aufbereitung des Kanallumens bis zur F2 (entspricht am Apex ISO 25) in der „short canal sequence“ des ProTaper<sup>®</sup>-Systems bereitet die Wurzelkanäle für die anschließende Irrigation des Wurzelkanallumens durch Wechselfspülung mittels NaOCl (2,5%, Hausapotheke LMU München) und EDTA (9%, Hausapotheke München) sowie Trocknung mit Hilfe

von Papierspitzen ISO 35 vor. Nach dieser Vorbereitung erfolgt die Bearbeitung der Wurzelkanalwand mit Hilfe des Lasers. Die vorher visuell bestimmte Arbeitslänge wird mittels Gummistop auf die Glasfaser übertragen. Sobald die festgelegte Arbeitstiefe erreicht ist, wird der Laser aktiviert und sofort nach dem Aktivieren des Lasers wird die Laserfaser langsam und kontinuierlich in kreisförmigen Bewegungen aus dem Wurzelkanal gezogen, somit soll erreicht werden, dass möglichst alle Anteile der Wurzelkanalwand behandelt werden. Die Laseranwendung erfolgt in einem Intervall von vier Anwendungen a fünf Sekunden, wobei der komplexe apikale Anteil von besonderer Bedeutung ist. In diesem Bereich erfolgt die Abgabe von 3 Impulsen. Der vierte Impuls wird bei der Bewegung der Laserfaser nach koronal abgesetzt. Nach dem Lasereinsatz wird der Wurzelkanal nicht mehr gespült oder gereinigt, da dies zu erneuter Kontamination führen kann.

Die optische Qualität des Lasers ist von der Anschnittfläche der Glasfaser abhängig und divergiert an der Glasfaserspitze in jede Richtung bis zu 30°. Durch eintretende Abnutzungseffekte ist es notwendig die Glasfaserspitze regelmäßig zu kappen. Zur Qualitätssicherung erfolgt die Abtrennung des Laserendes in dieser Versuchsreihe nach 6 Anwendungen mit Hilfe eines Skalpells und im Abstand von 1mm von der Laserspitze. [21, 22, 30]

## 4.5. Füllung des Wurzelkanals

### 4.5.1. Der Wurzelkanalfüllstoff Biocem

In der Geschichte der Endodontie gab es vielfach neue Ideen für Materialien um die Anforderungen einer 3-dimensional-randdichten, volumenbeständigen, biokompatiblen und revidierbaren Wurzelkanalfüllung zu erfüllen. In dieser Studie wird der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) auf diese Eignung als Sealer bei der Wurzelkanalfüllung getestet. Beim Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) handelt es sich um ein Produkt auf Basis einer Harz-Komposit-Matrix. Dabei wird eine organische Komponente mit einer anorganischen Komponente (Füllerzusatz) vermischt. Die Konsistenz wird dabei vom Anteil der Füller bestimmt. Neben den anorganischen Füllstoffen Zirconiumoxyd und Hydroxylapatit sind Hilfsstoffe wie Peroxid, Amin und Antioxidantien beigemischt. [41]

Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) ist ein biokompatibles sowie bioaktives autopolymerisierendes Zweikomponentenmaterial bestehend aus Basismasse und Aktivator. Der Werkstoff besteht aus einer nicht resorbierbaren Matrix auf Basis höhermolekularer Dimethakrylate. Eine dreidimensionale Vernetzung wird mit Hilfe spezieller Katalysatoren und Aktivatoren erzielt. Dieses vernetzte System ist angereichert durch eine organische Matrix - ein niedrigvisköses synthetisches Flüssigharz der Bowen-Formel – sowie einer anorganischen bioaktiven Komponente - eine Mischung von Biokeramiken, Bioglas und Hydroxylapatit (Größe 50- 500 nm, 33Gew.-%). Als Röntgenkontrastmittel dient Zirkondioxid (31Gew.-%) und erfüllt damit den Anspruch an die Röntgenopazität der Wurzelkanalfüllstoffe. Weitere Hilfsstoffe sind Peroxid, Amin und Antioxidantien. Durch geänderten Füllkörperanteil resultieren unterschiedliche Materialeigenschaften bezüglich Viskosität und Abbindezeit. [41]

Der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) wird seit den 80iger Jahren als Knochenzement erprobt und eingesetzt (Schawalder, 1984). Als ein herausragendes Ergebnis dieser Forschungen konnten „bioaktive Effekte“ bewiesen werden, das heißt der Werkstoff ist in der Lage eine primäre Verbundosteogenese mit organischen Geweben zu induzieren. [41, 108, 114]

Schon im Jahr 1979 hat *L. Hench* auf die Möglichkeit eines längeren, direkten, un-schädlichen Kontaktes von Biogläsern/ Glaskeramiken mit vitalem Knochen auf-merksam gemacht. In diversen Tierversuchen konnte histologisch der direkte, reizlo-se Kontakt zwischen Knochen und dem Biozement, ohne Ausbildung einer reaktiven Trennlinie, nachgewiesen werden. Radiologisch und pathologisch sind die experi-mentell untersuchten Proben unauffällig und folglich der Werkstoff als biokompatibel eingestuft worden. [41, 66, 108, 114]

Biocem als Material für die retrograde Wurzelfüllung wurde bereits 1995 erforscht. Die Studie ermittelte den Prozentsatz der Zähne, welcher nach 5 Jahren nach der retrograden Wurzelfüllung noch reizlos in situ aufzufinden war. Die Erfolgsquote von Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) nach Abschluss der Untersuchung lag zwi-schen 91- 98 Prozent. Im Ergebnis der Studie konnten dem Werkstoff folgende posi-tive Resultate zugeschrieben werden: gute Gewebeverträglichkeit, Anpassung an anatomische Gegebenheiten, hohe Passgenauigkeit, geringe Schrumpfung während der Polymerisation, daraus folglich eine erhöhte Randständigkeit und Dichtigkeit, ge-ringe schädliche Polymerisationswärme und beschleunigte Knochenregeneration. Eine Erprobung zur orthograden Anwendung ist logische Folge aus den vielverspre-chenden Studien im Bereich der Endodontie. Die Verarbeitung des Werkstoffes Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) im feuchten oralen Milieu stellt eine Heraus-forderung dar. Die Applikation und die Umgebungsbedingungen für die Abbindereaktion erfordern äußerste Sorgfalt bei der Verarbeitung des Werkstoffes. Für eine optimale Abbindereaktion ist ein absolut trockenes Milieu erforderlich, das heißt, es muss unter allen Umständen vermieden werden, dass während des Ein-bringens und der anschließenden Polymerisation eine Kontamination mit Speichel, Blut und anderen Flüssigkeiten erfolgt. [41, 66, 108, 114]

In der vorliegenden Studie werden 2 verschiedene Chargen (A und B) des Werk-stoffs Biocem angewendet. Charge A ist durch den höheren Füllkörperanteil viskö-ser. Die Verarbeitungszeit liegt bei 60 Sekunden, die Aushärtedauer bei 80 Sekun-den. Charge B wurde im Rahmen der Studie durch ein Flowable (niedriger Füllkör-peranteil) optimiert. Daraus resultieren eine längere Verarbeitungszeit von ca. 140 Sekunden und eine Abbindedauer von 120 Sekunden.

#### 4.5.2. Wurzelkanalfüllung der Probenzähne

Die aufbereiteten, gelaserten und gespülten Zähne werden mit genormten Papier-  
spitzen (Roeko, Langeland, Deutschland) ISO 35 getrocknet und anschließend durch  
den Einsatz zwei verschiedener Verfahren gefüllt.

##### 4.5.2.1. „single cone“-Technick

Der Sealer Biocem wird mittels Mischspritze direkt in die Wurzelkanäle eingebracht  
und zur Vermeidung von Luftblasen langsam aus dem Kanal gezogen, wobei die  
Kanülenspitze immer im Füllmaterial verbleibt. Der Guttapercha-Zentralstift der Grö-  
ße ISO 35 (Roeko, Langeland, Deutschland) wird ebenfalls mit Biocem beschickt und  
mittels halber Umdrehung bis zum Apex eingebracht. Danach erfolgt die Kürzung  
des Guttaperchastiftes (Roeko, Langeland, Deutschland) auf Höhe des Kanalein-  
gangs. Der dichte koronale Verschluss der Trepanationsöffnung erfolgt mit einer  
Kompositfüllung (Tetric Flow, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein). Dazu wird die  
Kavität mit 37% Phosphorsäue (Total Etch<sup>®</sup>, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechten-  
stein) angeätzt, im Anschluss mit Wasser ausgespült und mittels Luftbläser getrock-  
net. Schmelz und Dentin werden mit Bonding (Excite<sup>®</sup>, Ivoclar Vivadent, Schaan,  
Liechtenstein) gemäß Herstellerangaben auf die Füllung vorbereitet und für 30 Se-  
kunden lichtgehärtet (3M Curing Light XL3000, 3M ESPE AG, Seefeld, Deutschland).  
Abschließend erfolgt die definitive Füllung mit Tetric<sup>®</sup> flow (Ivoclar Vivadent, Schaan,  
Liechtenstein) und wird für die Dauer von 30 Sekunden lichtgehärtet.

##### 4.5.2.2. laterale Kondensationstechnik

Bei der lateralen Kondensation wird die Spitze des normierten Master-  
Gutterperchapoints ISO 35 (Roeko, Langeland, Deutschland) in den Sealer Biocem  
getaucht bis eine gleichmäßige dünne Schicht das untere Drittel des  
Guttaperchapoints (Roeko, Langeland, Deutschland) umhüllt. Dieser wird langsam  
drehend in das Wurzelkanallumen bis zum Apex eingeführt. Anschließend werden  
dünnere Guttaperchapoints (Roeko, Langeland, Deutschland) der Größen ISO 20  
und 15 nachgeschoben, wobei nach jedem Guttaperchapoint (Roeko, Langeland,  
Deutschland) mittels Spreaders (Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland) für den  
nächsten Platz geschaffen wird und die bereits eingeführten Materialien kondensiert

werden. Diese Prozedur wird wiederholt bis der Spreader (Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland) nicht mehr in den Wurzelkanal eingebracht werden kann. Das so entstandene Bündel an Guttaperchapoints (Roeko, Langeland, Deutschland) wird auf Höhe des Kanaleingangs mit einem heißen Instrument abgetrennt.

Zum Verschluss der Trepanationsöffnung wird wie bei der Zentralstifttechnik (single cone) ein Komposit verwendet. Dazu wird die Kavität mit 37% Phosphorsäure (Total Etch<sup>®</sup>, Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) angeätzt, im Anschluss mit Wasser ausgespült und mittels Luftbläser getrocknet. Schmelz und Dentin werden mit Bonding (Excite<sup>®</sup>, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) gemäß Herstellerangaben auf die Füllung vorbereitet und für 30 Sekunden lichtgehärtet (3M Curing Light XL3000, 3M ESPE AG, Seefeld, Deutschland). Abschließend erfolgt die definitive Füllung mit Tetric<sup>®</sup> flow (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) und wird für die Dauer von 30 Sekunden lichtgehärtet.

#### 4.6. Untersuchung der Wurzelkanaloberfläche im REM

5 Zähne der Gruppe I (nach Behandlung gemäß der Schritte 1-7) gingen in die Untersuchung der Wurzelkanalentinoberfläche, nach Behandlung mit dem Nd:YAG-Laser, mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops mit ein. Dabei wurden die Wurzelkanaloberfläche sowie die tiefer gelegenen Dentinschichten dargestellt und bewertet.

Die Zähne wurden nach Behandlung sagittal mittels Trennscheibe unter ständiger Wasserkühlung perforiert (Diamanttrennscheibe, Buehler, Bietigheim, Deutschland) und danach entlang der Perforationslinie gebrochen, so dass die Dentinoberfläche durch den Trennvorgang möglichst nicht beeinträchtigt wurde.

Anschließend wurden sie mit Hilfe einer Ethanolreihe in aufsteigender Reihenfolge zum totalen Wasserentzug dehydriert (50%, 70%, 80%, 90% und 100%, Critical Point Dryer, CPD-030). Die Zahnhälften blieben unter wiederholtem Schütteln jeweils 30 Minuten in den einzelnen Konzentrationen, die nach 10 Minuten stetig erneuert werden mussten. Im Critical Point Dryer (CPD-030) wurden die Zähne endgültig getrocknet, wobei je nach Zahngröße und -form bis zu 12 Durchläufe nötig waren.

Die Besputterung erfolgte bei 2,4 kV, einer Stromstärke von 20 mA und 300 Angstrom für ca. 3 Minuten, d.h. die Oberfläche wurde mit einer Goldschicht bedampft und somit für die anschließende REM-Betrachtung leitend gemacht.

Die abschließende Untersuchung wurde unter Einsatz eines Rasterelektronenmikroskops (REM JSM-35/CF, Jeol/LTD, Tokyo, Japan) durchgeführt und die für die Untersuchung relevanten Bereiche wurden photographisch dokumentiert. Die photographischen Aufnahmen der zufällig ausgewählten Zahnabschnitte wurden bei den Vergrößerungen 600, 3000 und 6000 gemacht.

#### 4.7. Untersuchung der Dichtigkeit

Zur Vorbereitung der Dichtigkeitsuntersuchung wurden nach der Wurzelfüllung bei allen 120 Zähnen koronal die Trepanationsöffnung unter Anwendung der Säure-Ätz-Technik mit einem niedrigviskösen Komposit verschlossen. Es wurde der Haftvermittler Syntac classic (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) und zum definitiven Verschluss das Hybridkomposit Tetric flow (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) eingesetzt.

Anschließend wurden die Zähne 24 Stunden unter physiologischen Bedingungen gelagert, dies erfolgte in einem 37°C warmen Wasserbad mit physiologischer Kochsalzlösung (Hausapotheke LMU München). Danach wurden die trockneten Kronen- und Wurzeloberflächen vollständig mit einer dreifachen Schicht handelsüblichem klarem Nagellack (Nivea, Beiersdorf) versiegelt um eine ungewollte Farbstoffpenetration zu unterbinden. Nachdem der Nagellack ausgehärtet war, wurde der Apex bis zum Foramen physiologicum und der sich dort befindlichen Wurzelfüllung mit einer Diamanttrennscheibe gekürzt.

Nach dieser Vorbehandlung erfolgte der Farbstoffpenetrationstest in Anlehnung an die von *Saunders und Saunders* beschriebene Methode. Die Zähne wurden zur Beurteilung der Werkstoffpermeabilität für 24 Stunden in ein 37°C warmes Tauchbad mit 2%iger Methylenblaulösung (pH- 7,0) eingelegt um eventuelle Diffusionsvorgänge einzuleiten. (11) Dabei wurde sorgfältig darauf geachtet, dass die Zähne komplett mit der Methylenblaulösung bedeckt waren. Nach der 24stündigen Farbstoffpenetrationsphase wurden die Zähne gründlich unter fließendem Wasser abgespült und von den Methylenblauresten an der Oberfläche gereinigt.

Zur Beurteilung der lichtmikroskopischen Untersuchung wurden die wurzelkanalgefüllten Zähne nach der eintägigen Lagerung in Methylenblau in horizontaler Richtung bezüglich ihrer Zahnachse in Scheiben geschnitten (Diamanttrennscheibe/ Buehler Isomet „low speed saw“, Buehler, Bietigheim, Deutschland). Bei den Trenndünnschliffen befanden sich die Schnittebenen jeweils von apikal beginnend in einer Höhe von 1,0mm, 2,3mm, 3,6mm, 4,9mm, 6,2mm, 7,5mm, 8,8mm usw.. Die so erhaltenen Schnitte wurden unter dem Lichtmikroskop (Zeiss Stemi SV 11) bei einer Vergrößerung von 6,6x betrachtet und photographisch dokumentiert (Fujifilm FinePix S1 Pro).

Zur statistischen Auswertung wurde mit Hilfe eines EDV-gerechten Auswertungsschlüssels die gewonnenen Informationen durch Zahlencodes ersetzt, und mit Hilfe des Tabellenkalkulationsprogramms „Microsoft Excel 2003“ erfasst. Die graphische Umsetzung erfolgte ebenfalls mit Hilfe dieses Programms.

#### 4.8. Statistische Methoden: Klinische Bewertung nach USPHS-Kriterien

Die systematische klinische Beurteilung der Wurzelfüllungen basiert auf dem von Ryge und Snyder (1973) entwickelten U.S.-Public-Health-Service Bewertungssystem (USPHS-Kriterien) und wurde entsprechend den Anforderungen angepasst. Die beim Versuchsaufbau verwendete modifizierte Ryge-Version, dient der besseren Handhabung der metrischen Daten und um die Kriterien der Untersuchung an die Güte der Wurzelkanalfüllung zwischen den verschiedenen Werkstoffen anzupassen.

Ziel ist, die klinischfunktionale Qualität der Wurzelkanalfüllung zu eruieren. Dabei resultiert eine Beurteilung, in einer entsprechend zu den ursprünglichen USPHS-Kriterien abgewandelten Form, in numerischer Aufteilung.

Für die Qualität der Wurzelfüllung wurde die Skala „1-4“ normiert, analog zur PSPHS-Skala die auf einer „Nummerierung“ gemäß NATO-Alphabet basiert. „1“ als optimalstes zu erreichendes Ergebnis (USPHS-Kriterium „Alpha“, sehr gutes Ergebnis, excellent) und „2-4“ als differenzierte Bewertungen für ein nicht optimales Ergebnis (USPHS-Kriterium „Bravo, Charlie, Delta“, nicht akzeptabel). Für die Eindringtiefe der Farbstoffpenetration ist „0“ mit dem USPHS-Kriterium „Alpha“ vergleichen, „1-5“ sind Ergebnisse die vom idealen Qualitätsstandart abweichen und werden nochmals differenziert in die Eindringtiefe:

Für die Qualität der Wurzelkanalfüllung

- 1- suffiziente Wurzelkanalfüllung in allen Bereichen, keine Mängel feststellbar
- 2- Wurzelfüllung weist in einem oder mehreren Abschnitten Luftblasen auf
- 3- Wurzelfüllung weist in einem oder mehreren Abschnitten Porositäten bzw. Inhomogenitäten auf
- 4- Wurzelfüllung insuffizient, sowohl Luftblasen als auch Porositäten nachweisbar

Für die Farbstoffpenetration

- 0 - keine Farbstoffpenetration
- 1 - Farbstoffpenetration bis 1,0mm
- 2 - Farbstoffpenetration bis 2,3mm
- 3 - Farbstoffpenetration bis 3,6mm
- 4 - Farbstoffpenetration bis 4,9mm
- 5 - Farbstoffpenetration bis 6,2mm

Im Zweifelsfall wird die schlechtere Wertung übernommen. Die Kriterien haben eine direkte und unmittelbare klinische Relevanz, da bei der Bewertung der Wurzelfüllung, nur der Wert „0“ „excellent“ als gewünschtes Ergebnis akzeptabel ist und alle anderen Werte klinisch einen nicht mehr akzeptablen Qualitätsstandart darstellen (siehe 9.1.). Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt.

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Untersuchung der Wurzelkanaloberfläche im Rasterelektronenmikroskop

Nach Einsatz der maschinellen Aufbereitung und darauffolgender Behandlung mit Nd:YAG- Laserstrahlen zeigt die Dentinoberfläche im Wurzelkanal schon bei 600-facher Vergrößerung eine ausreichend glatte und gereinigte Oberfläche. Es sind nur vereinzelt Geweberückstände auf der Oberfläche (Abb.1 und 2) und zum größten Teil sogar unverblockte Eingänge in laterale Dentintubuli sichtbar. Selbst in diesen Seitenkanälchen war eine entsprechende Tiefenwirkung der Laserbehandlung ersichtlich. In Abb. 1 (600fache Vergrößerung) ist im rechten unteren Bildausschnitt ein größerer lateraler Kanal sichtbar, in dem die weitreichende Wirkung der Laserenergie erkennbar wird, es sind kaum Gewebereste und Auflagerungen nachzuweisen. Am linken Bildrand sind einige größere Rückstände auffindbar, das gesamte Restmaterial im Hauptkanal liegt jedoch scheinbar lose und locker auf dem Wurzelkanaldentin. Eine geordnete oder verbindende Struktur ist nicht nachweisbar, vielmehr handelt es sich um einzelne zusammenhangslose Gewebetrümmer und Smearlayerrückstände.

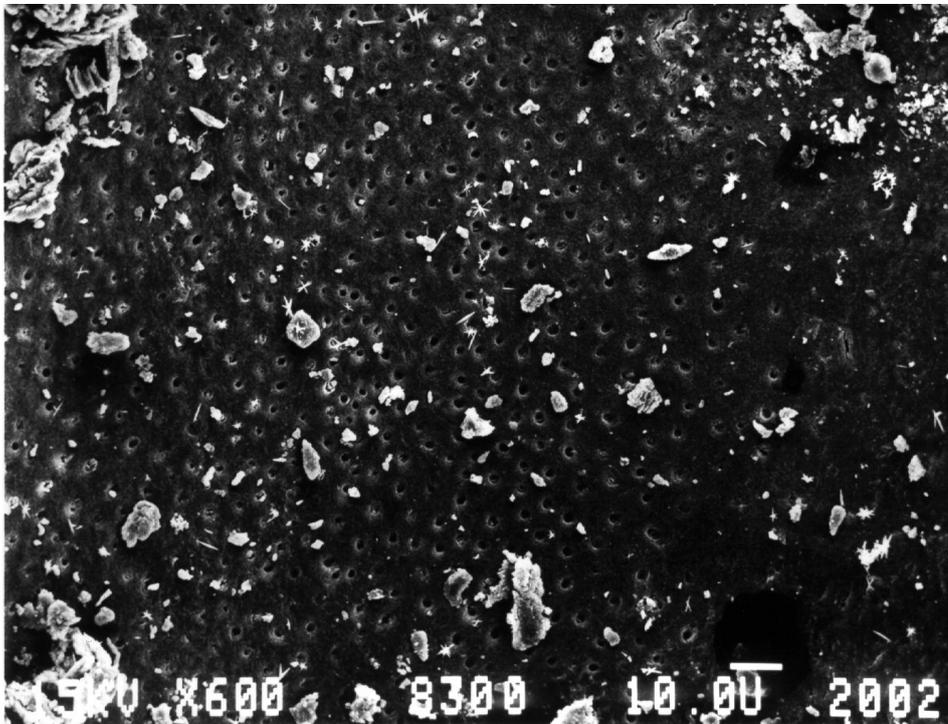


Abb. 1; REM-Aufnahme, 600fache Vergrößerung

Bei Abbildung 2 sind ähnlich wie bei der vorherigen Vergrößerung vereinzelt locker aufliegende Restpartikel sichtbar. Der Reinigungsgrad ist hoch, da überwiegend eine homogene und glatte Dentinstruktur ohne Verunreinigungen zu sehen ist. Zudem können vollständig verblockte von offenen und scheinbar fast restlos gesäuberten Tubuli unterschieden werden. Die Rückstände im Hauptkanal wirken im Gegensatz zu den festen randständigen Auflagerungen in den Dentinkanälchen nicht fest mit dem Dentin verklebt.

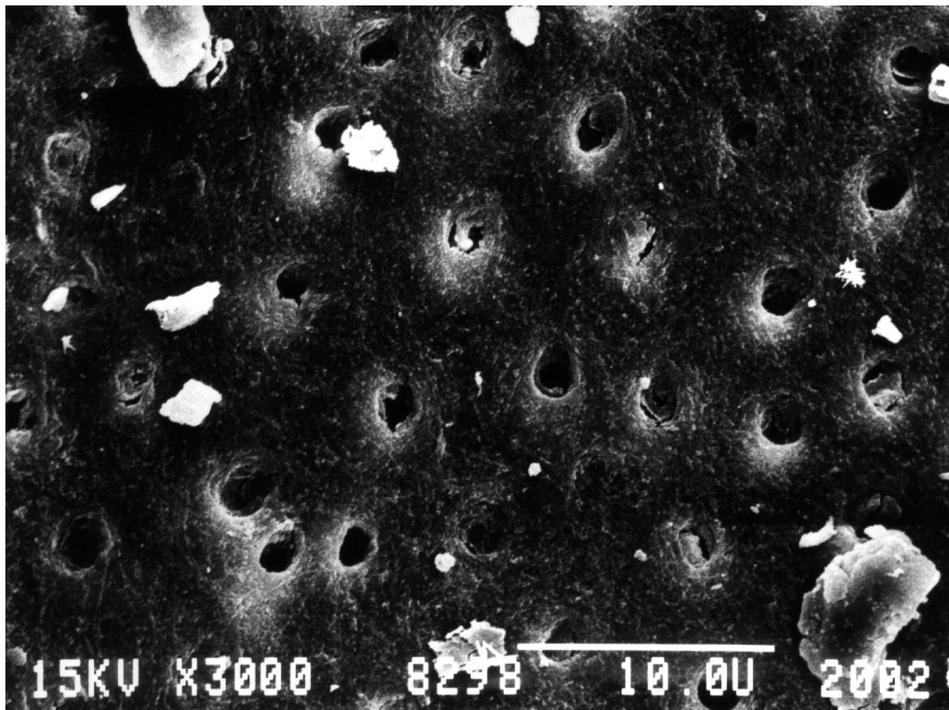


Abb. 2; REM-Aufnahme, 3000fache Vergrößerung

Bei einer Vergrößerung mit dem Faktor 6000 sind in den lateralen Tubuli randständige nicht gereinigte Areale zu erkennen, zentral ist eine Wirksamkeit in etwa der Hälfte der Seitenstrukturen nachweisbar. Um den mittigen Hohlraum finden sich Strukturen welche mit dem Dentin verklebt wirken, und die das gesamte, oder nur Teile des Tubulus ausfüllen. Das Restgewebe haftet fest am Dentin der lateralen Tubuli an, vereinzelt sind sogar totale Verblockungen auffindbar. Der Grad der Verstopfung variiert extrem und liegt nahezu zwischen 0-100%. Das Dentin im Hauptkanal zeigt keinerlei veränderte Struktur und bildet sich homogen ab.

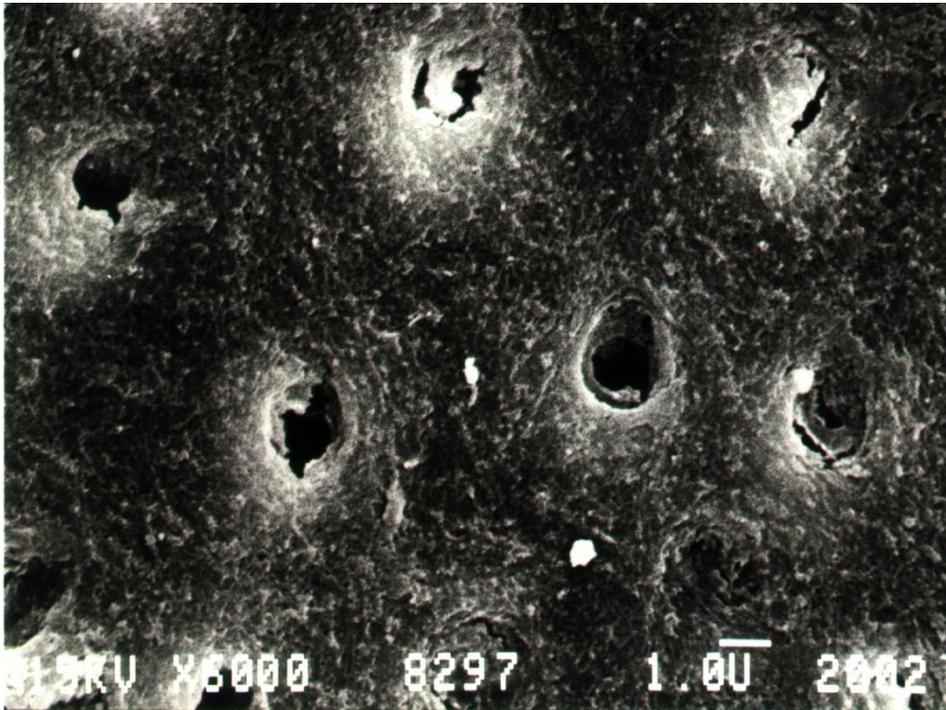


Abb. 3; REM-Aufnahme, 6000fache Vergrößerung

Der Reinigungsgrad im Hauptkanal kann mit zirka 95% angegeben werden, dies entspricht einem Schmierschichtgrad 1-2 nach *Hülsmann*. Eine Auflagerung im Sinne eines durchgehenden homogenen smearlayers (Grad 3-5 nach *Hülsmann*) konnte nicht nachgewiesen werden. Für die lateralen Dentinkanälchen entspricht der Reinigungsquotient dem Grad 2-3.

Die Verstopfung einzelner lateraler Dentintubuli erfolgte durch die mechanische Aufbereitung und dem dabei erzeugten Smearlayer, sowie ungenügender Reinigungswirkung des Lasers und der chemischen Aufbereitung. Der Verschluss ist teilweise unvollständig in manchen Fällen aber komplett den gesamten Tubulus ausfüllend.

Thermische Veränderungen an der Dentinstruktur in Art einer Verglasung, und des damit dichten Verschlusses der lateralen Dentinkanäle waren ebenfalls nicht nachweisbar. Die Dentinstruktur wirkt homogen und glatt. Eine gleichmäßige Bearbeitung der Oberfläche ist visuell bei allen Vergrößerungen ersichtlich.

## 5.2. Bewertung der Dichtigkeit nach Wurzelfüllung

Die hier aufgeführten Beispiele und Abbildungen stehen stellvertretend für die Hauptideen aus den jeweiligen Gruppen. Einzelne Fälle sind nur zur Gegenüberstellung gewählt und sollen die Ausnahme von der Regel demonstrieren.

### **Gruppe I.1. (Charge A)**

Untersucht wurde die Qualität der Wurzelfüllung nach Einsatz von Lasertechnologie und dem Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland). Es wurde in der „single cone“-Technik abgefüllt, d.h. es wurde nur ein zentraler Guttaperchastift in den Sealer Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) eingebracht. Da es sich um die Qualität der Charge A handelte war der Fülleranteil gesteigert und die Viskosität hoch.

Sinnvolles Abfüllen der Wurzelkanäle war auch mit der beschriebenen Applikationsvorrichtung insgesamt nur erschwert möglich. Die von der Firma GDF mitgelieferte aufschraubbare Doppelmischkanüle konnte nicht bis zum Foramen physiologicum an den Apex geführt werden, vielmehr war meist nur eine Abgabe in den koronalen Anteil des aufbereiteten Pulpencavums möglich. Das Einbringen des Füllmaterials war mit starker Blasenbildung und unverhältnismäßig hohem Kraftaufwand, bedingt durch die hohe Viskosität, verbunden. Der Biocemanteil im apikalen Bereich kam nur durch das Einführen des Guttaperchapoints zustande, welcher den Werkstoff aus dem koronalen Anteil vor sich im Kanal voranpresste bzw. mitzog.

Abbildung 4 zeigt den horizontalen Schnitt durch den Wurzelkanal 1,0mm vom anatomischen Apex entfernt. Zwischen der Guttapercha des zentralen Stiftes und dem Füllmaterial Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) Charge A zeigt sich deutlich die Penetration des Farbstoffs Methylenblau, hervorgerufen durch den deutlich sichtbar ungenügenden Verbund zwischen der Guttapercha als reversibel plastischem Material einerseits, und dem Sealer Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) als erhärtende Wurzelkanalfüllpaste andererseits. Darüber hinaus finden sich Bereiche, die mit dem Füllmaterial überhaupt nicht erreicht wurden. Zwischen Kanalwand und Füllmaterial zeigen sich diverse Blasen, die auf eine unzureichende Dichtigkeit schließen lassen. Die gesamte Wurzelfüllung erscheint unsauber und inhomogen. Die Struktur von Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) wirkt porös.



Abb. 4, Gruppe I.1., Laser und Biocem, single cone, Charge A, Schnitt bei 1,0mm

Bei der Betrachtung eines weiteren, zur anschaulicheren Beurteilung ausgewählten und ergebnisrelevanten Präparates – horizontaler Schnitt 2,6mm vom anatomischen Apex entfernt - fällt ebenfalls der ungenügende Verbund zwischen der Guttapercha und dem Füllmaterial auf (Abb. 5), deutlich ist im unteren rechten Präparatausschnitt eine große Blase sichtbar. Darüber hinaus zeigen sich auch hier Porositäten bzw. Blasenbildung im restlichen Material. Der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) konnte nicht gleichmäßig im Wurzelkanallumen verteilt werden und durch die Einstifttechnik sind nur etwa zwei Drittel des Querschnitts durch Guttapercha gefüllt. Der Farbstoff weist darauf hin, dass auch in diesem Kanalabschnitt eine ausreichende Dichtigkeit nicht erreicht werden konnte. Im oberen und dem linken Bereich der Wurzelfüllung ist ein gutes Ergebnis erzielt worden. Es zeigen sich keinerlei Verfärbungen und keine Randspaltenbildung ist sichtbar. Sowohl der Verbund zwischen Dentin und Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland), als auch der Verbund zwischen Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) und Guttapercha ist unauffällig.

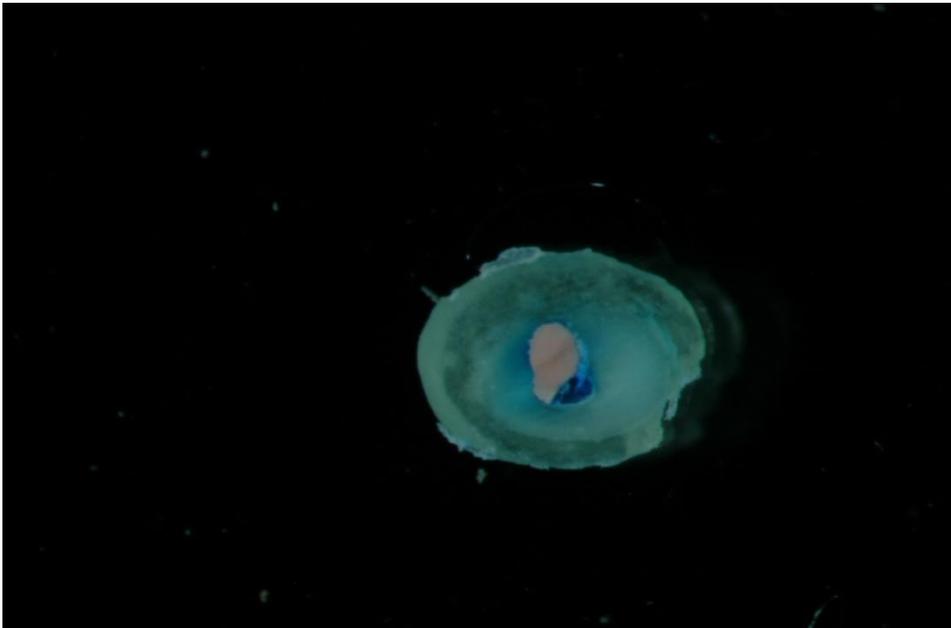


Abb. 5, Gruppe I.1., Laser und Biocem, single cone, Charge A, Schnitt bei 2,6mm

Das dritte Präparat zeigt im Gegensatz zu den vorhergehenden Abbildungen eine gute Wandständigkeit des Füllmaterials sowohl an dem zentralen Guttaperchastift wie auch an der Dentinwand, eine Penetration des Farbstoffes ist nicht nachweisbar (Abb.6). Die Darstellung zeigt einen Schnitt in einer Höhe von 2,6mm. Im gesamten Präparat finden sich keine Blasen, nur im rechten und linken oberen Füllungsanteil sind kleine Unregelmäßigkeiten festzustellen, die zu einer verminderten Füllungsqualität führen. Links lateral ist das Guttapercha stärker verfärbt, was aber keinen Einfluss auf das Ergebnis hat.

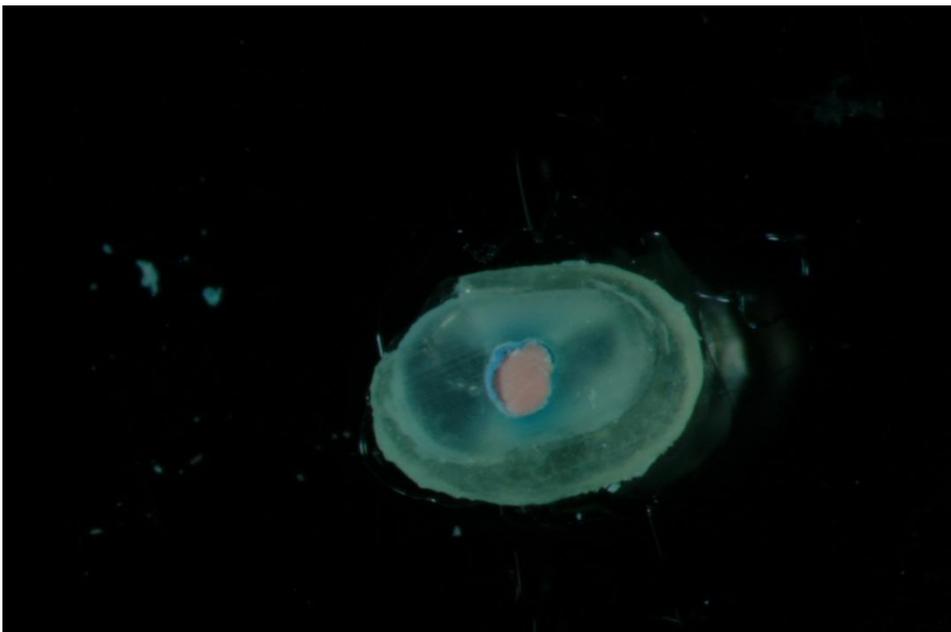


Abb. 6, Gruppe I.1., Laser und Biocem, single cone, Charge A, Schnitt bei 2,6mm

### **Gruppe I.1. (Charge B)**

Die vergleichsweise niedrige Viskosität dieses Materials führte zu einer erleichterten Applikation nach apikal. Es konnte nahezu blasenfrei und bis an den Apex in die Wurzelkanäle eingebracht werden. Die Kanüle wurde dazu bis zum Apex in das Wurzelkanallumen eingeführt. War ein weiteres Verschieben der Kanüle nicht mehr möglich (Kanüle klemmt), wurde diese 1mm zurückgezogen und durch Druck auf den Spritzenstempel das Material in den Wurzelkanal appliziert. Während der Abgabe wurde die Kanüle langsam aus dem Kanal gezogen

Der erste horizontale Schnitt durch den Wurzelkanal – 1,0mm in koronaler Richtung vom Apex entfernt- zeigt einen guten Verbund zwischen Wurzelkanaloberfläche und dem Füllmaterial Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) im linken Bildausschnitt. Eine geringe Farbstoffpenetration und Blasenbildung kann zwischen dem Guttaperchapoint und dem umgebenden Füllungsmaterial sowie im rechten Bereich zwischen Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) und Dentin erkannt werden (Abb.7). Der Werkstoff hat eine homogene Struktur und zeigt ein gleichmäßiges Anfließverhalten.

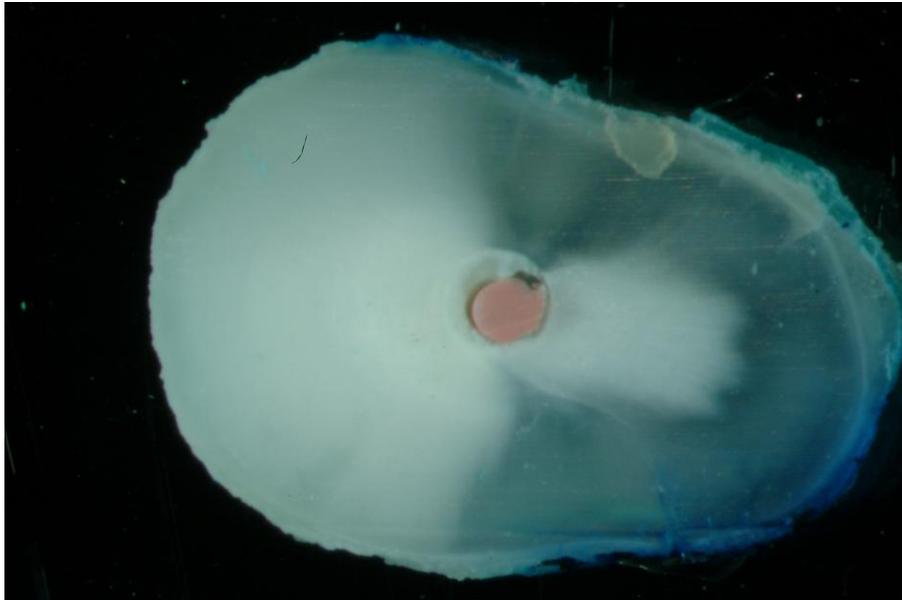


Abb. 7, Gruppe I.1., Laser und Biocem, single cone, Charge B, Schnitt bei 1,0

Auch der Schnitt nach 2,6mm zeigt einen guten Verbund zwischen dem Füllmaterial und der Dentinoberfläche der Kanalwand. Es ist keinerlei Farbstoffpenetration nachweisbar. Der Verbund zwischen zentralem Stift und dem Füllungsmaterial ist aber auch bei diesem Schnitt als ungenügend anzusehen, die Penetration des Farbstoffes ist deutlich zu sehen und nur in dieser Schicht zu finden (Abb. 8). In Abbildung 8 zeigt sich die Qualität des Sealers nur minderwertig, poröse und inhomogene Anteile sind im gesamten Material erkennbar. Deutlich wird dies vor allem im linken Anteil der Wurzelfüllung. Insgesamt ist die Wurzelfüllung mit befriedigend bis gut zu bewerten.

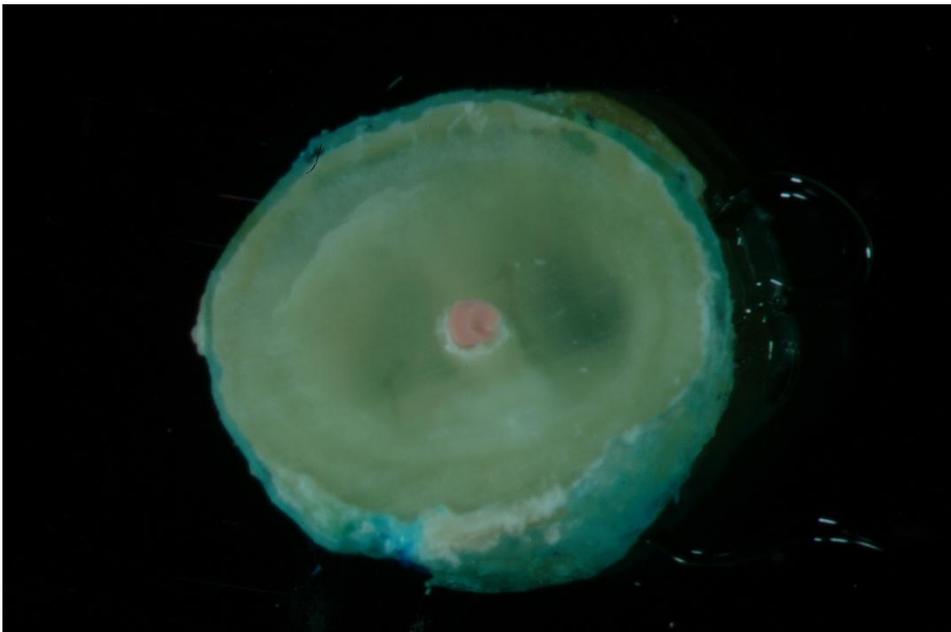


Abb. 8, Gruppe I.1., Laser und Biocem, single cone, Charge B, Schnitt bei 2,6mm

In Abbildung 9 ist wiederum ein Schnitt bei 2,6mm zu sehen. Der single cone ist in einer dicken Schicht Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) eingehüllt. Im linken Bereich ist eine Luftblase erkennbar, was aber auch an der ungenügenden Aufbereitung liegt. Nur in diesem Bereich ist eine Farbstoffpenetration ersichtlich.

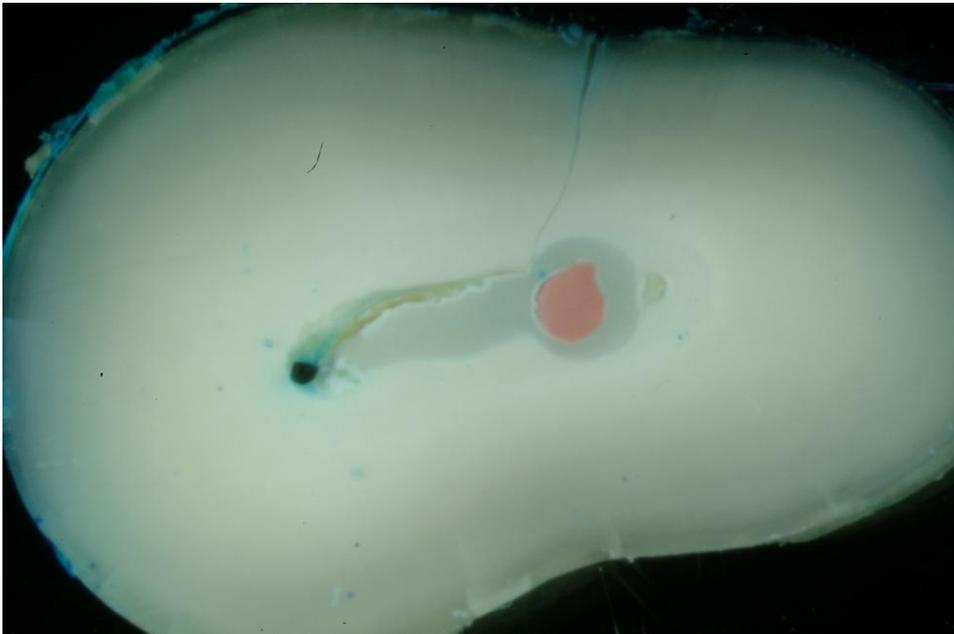


Abb. 9, Gruppe I.1., Laser und Biocem, single cone, Charge B, Schnitt bei 2,6 mm

### **Gruppe I.2. (Charge A)**

Auch in dieser Gruppe war die Applikation des Füllmaterialies bis zum Apex wieder nur unzureichend möglich. Die Schwierigkeiten bei der Applikation wurden schon oben beschrieben (siehe Gruppe I.1., Charge A). Anschließend erfolgte die Vollen- dung der Wurzelkanalfüllung mittels lateraler Kondensation. Dazu wurde ein Haupt- stift mit entsprechender ISO Größe 35 auf volle Arbeitslänge, sowie weitere laterale Points mit Hilfe eines Spreaders (ISO15) eingebracht.

Wenn auch das Füllmaterial einen guten Verbund mit der Dentinoberfläche zeigt (ge- ringe Farbstoffpenetration), ist wiederum der Kontakt zwischen Guttapercha und Füllmaterial äußerst ungenügend (erhöhte Farbstoffpenetration und größerer Luftein- schluss links) (Abb.10). Im Material selber kommt es zur Abtrennung unterschiedli- cher Phasen, sie sind durch einen Lufteinschluss von oben, über die rechte Hälfte, bis nach unten voneinander getrennt.

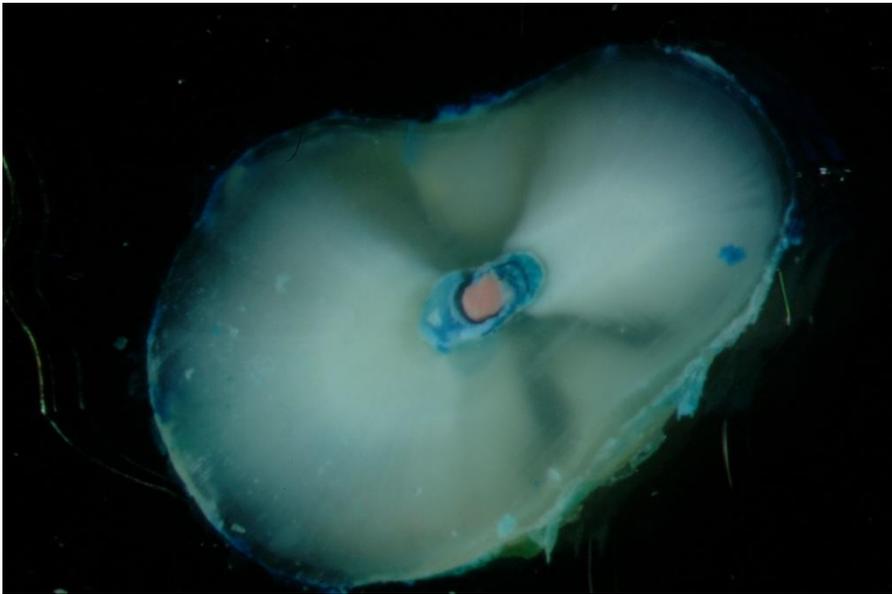


Abb. 10, Gruppe I.2., Laser und Biocem, laterale Kondensation, Charge A, 1,0mm

Auch die beiden anderen Schnitte bei 1,0mm und 2,6mm, zeigen wieder deutlich den ungenügenden Verbund zwischen dem Guttapercha und dem Füllmaterial, was an der deutlichen Verfärbung sichtbar wird. Das Füllmaterial Biocem ist porös und weist, wenn auch vereinzelt, Blasenbildung auf (Abb. 11, 12). Im Bild Nummer 11 sind zirkulär um den zentralen Stift Blasen unterschiedlichen Ausmaßes nachzuweisen. Der Verbund zwischen Dentin und Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) ist befriedigend. Im unteren Anteil aber nur ungenügend. Die Wurzelfüllung wirkt im Gesamten unsauber und ungeordnet.

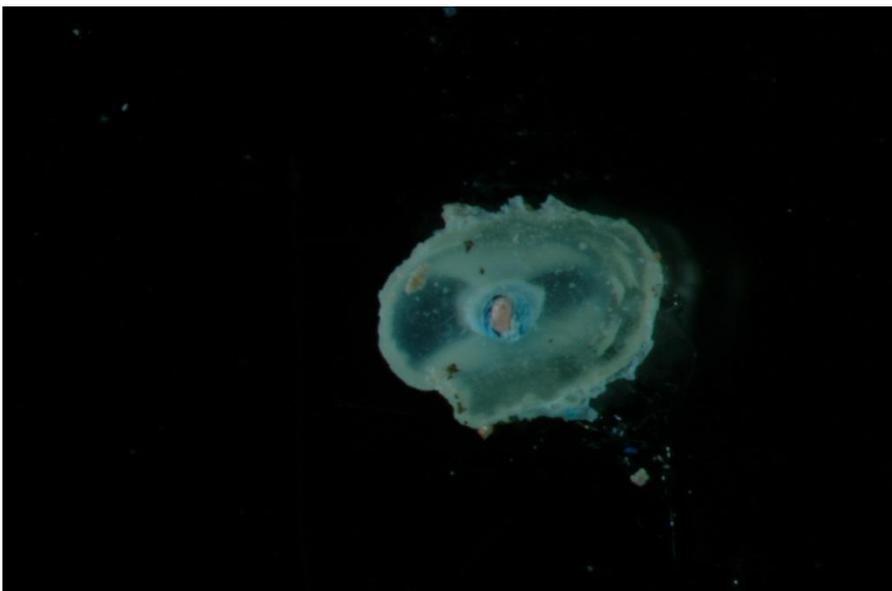


Abb. 11, Gruppe I.2., Laser und Biocem, laterale Kondensation, Charge A, 2,6 mm

In Abbildung 12 ist deutlich die poröse ungleichmäßige Konsistenz des Füllungs- werkstoffs sichtbar. Der Sealer ist in sich unterschiedlich stark verfärbt, und teilweise zeigen sich inhomogene Schichtungen im Material. Die Verbindung Guttapercha – Biocem ist in diesem Präparat recht zufriedenstellend, zwischen Biocem- Dentin in weiten Teilen akzeptabel, vor allem im rechten Ausschnitt sind jedoch wieder Luft- einschlüsse erkennbar. Die Wurzelfüllung wirkt nicht so unsauber wie in Abbildung 11. Sie ist wandständiger und der Wurzelkanal ist fast in seinem gesamten Lumen ausgefüllt.

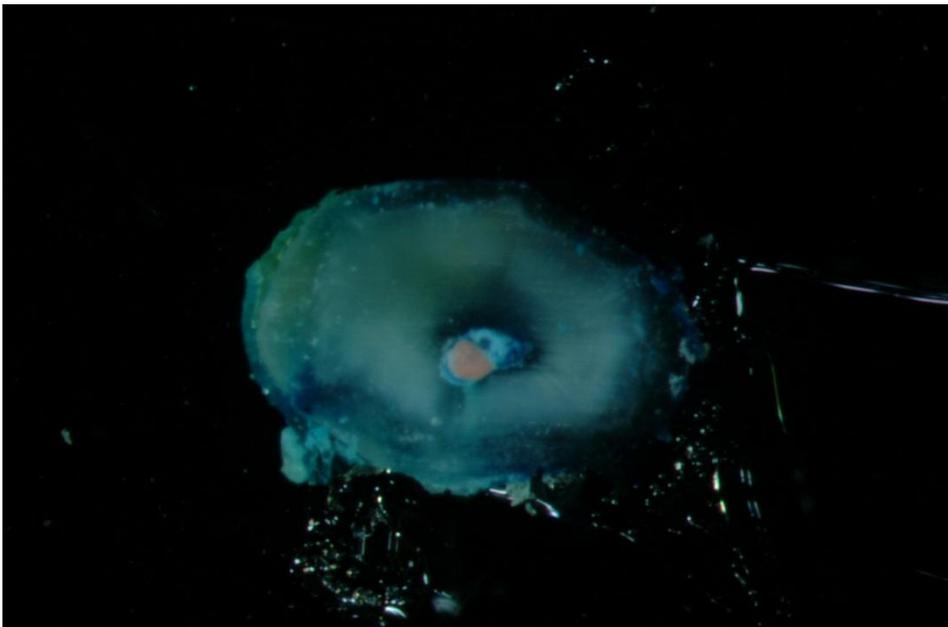


Abb. 12, Gruppe I.2., Laser und Biocem, laterale Kondensation, Charge A, 1,0mm

### **Gruppe I.2. (Charge B)**

Die niedrigere Viskosität des Füllungsmaterials ermöglichte auch bei diesen Zähnen eine leichtere Applikation bis an den physiologischen Apex, eine nahezu blasenfreie Applikation war möglich. Die Füllung der Wurzelkanäle von dieser Gruppe – zunächst Applikation des Füllmaterials Biocem und anschließender lateraler Kondensation – erbrachte insgesamt die besten Ergebnisse bei der Arbeit mit dem Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland).

Im ersten Schnitt, 1,0mm (Abb. 13) in koronaler Richtung vom physiologischen Apex entfernt, zeigt das Füllmaterial einen guten Verbund zwischen Dentinoberfläche, Füllmaterial und Guttapercha. Die Farbstoffpenetration ist im Vergleich zu anderen Gruppen gering. Jedoch ist auch in dieser Gruppe die Inhomogenität und Porosität des Werkstoffs an sich ersichtlich. In den Teilen der Wurzelfüllung, in denen weite Räume nur mit Sealer gefüllt sind, zeigen sich vermehrt Luft einschüsse und Phasenabgrenzungen.

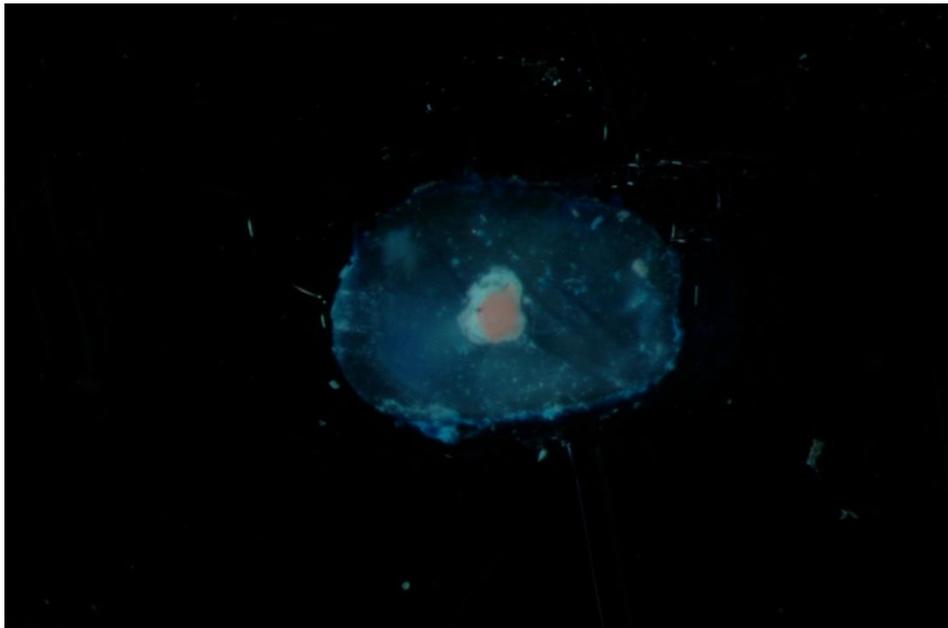


Abb. 13, Gruppe I.2., Laser und Biocem, laterale Kondensation, Charge B, 1,0mm

In den nächsten Schnitten bei 2,6 und 3,9 mm zeigt sich keine Farbstoffpenetration. Insgesamt erscheint das Füllmaterial weniger porös, und nur vereinzelt ist eine minimale Blasenbildung vor allem zwischen Guttapercha und Wurzelfüllpaste erkennbar (Abb. 14). Der Verbund zwischen Dentin und Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) ist gut, entgegen dem Verbund zwischen Guttapercha und Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland). Blasenbildungen und unzureichende Haftung sind vor allem in diesen Bereichen auffindbar (siehe linker Wurzelfüllungsbereich). Im rechten Ausschnitt kann das Ergebnis der Wurzelfüllung mit gut bewertet werden. Selbst Bereiche mit weniger Guttaperchaanteil sind durch die niedrige Viskosität dieser Charge fast ausreichend mit Biocem gefüllt. Es konnte genügend Werkstoff bis in die apikale Region eingebracht werden.

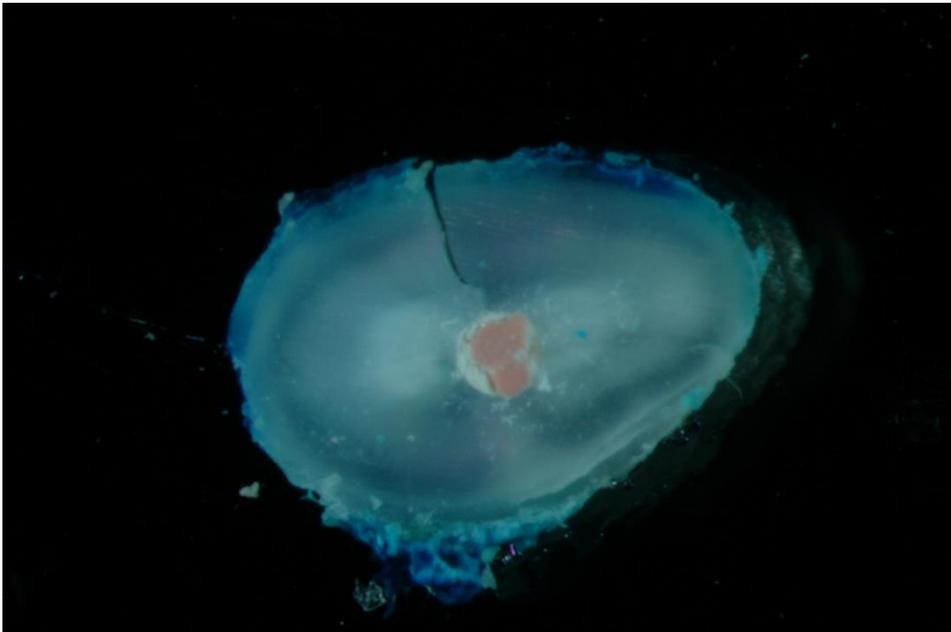


Abb. 14, Gruppe I.2., Laser und Biocem, laterale Kondensation, Charge B, 2,6mm

Im Bild 15 ist eine sehr gute Dichtigkeit der Wurzelfüllung erreicht worden. In keinem Abschnitt der Wurzelfüllung ist eine Verfärbung erkennbar. Das gesamte Wurzelkanallumen ist ausgefüllt. Sowohl der Verbund Guttapercha- Biocem als auch der Verbund Biocem- Dentin ist in allen Bereichen optimal. Es können keine Luftein- schlüsse oder Verfärbungen nachgewiesen werden. Der prozentuale Anteil des Werkstoffs Biocem an der Wurzelfüllung ist gering.

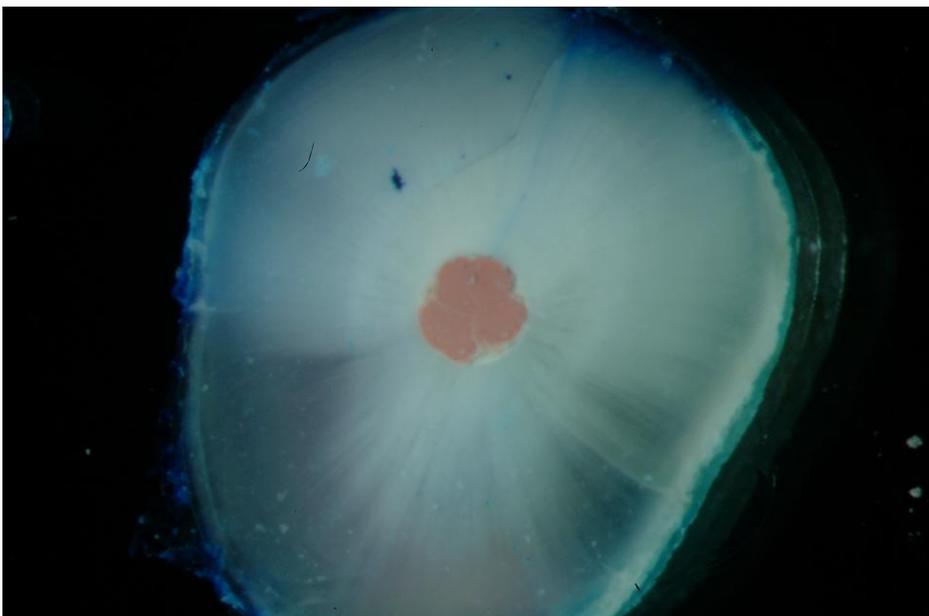


Abb. 15, Gruppe I.2., Laser und Biocem, laterale Kondensation, Charge B, 3,9mm

## Gruppe II

In dieser Vergleichsgruppe fanden sich die zu erwartenden Ergebnisse wieder, welche sich mit anderen, bereits veröffentlichten Studien decken. Es fand bei korrekter Wurzelkanalfüllung keine Farbstoffpenetration statt. Es besteht ein dichter Verbund zwischen der Dentinoberfläche, dem Sealer (Sealapex) und dem Guttapercha, deutlich zu erkennen an den 3 Präparatschnitten 1,0mm, 2,3mm und 3,6mm koronal vom anatomischen Apex entfernt.

Im Bild 16 zeigt sich ein vollständig abgefüllter Wurzelkanal. Es besteht keine Farbstoffpenetration und keine Blasenbildung. In allen Bereichen ist die Wurzelfüllung wandständig am Dentin. Der Sealeranteil ist minimal.

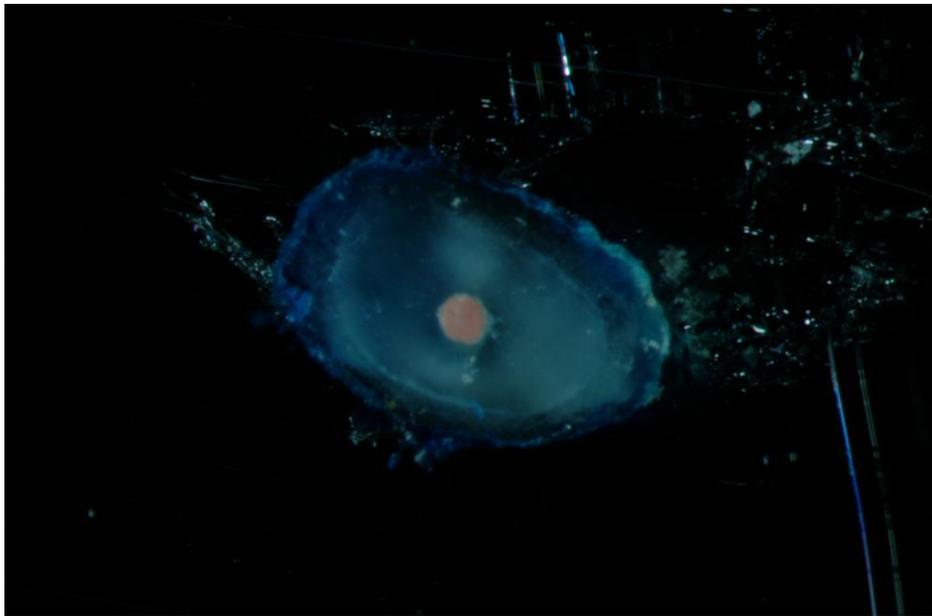


Abb. 16, Gruppe II, manuelle Aufbereitung, laterale Kondensation, 1,0mm

Bei der Abbildung 17 ist ebenfalls ein sauber abgefülltes Kanallumen nachzuweisen. Es können die gleichen Ergebnisse wie in Abbildung 16 dokumentiert werden. Der Verbund zwischen Guttapercha- Sealapex und Sealapex- Dentin ist sehr gut.

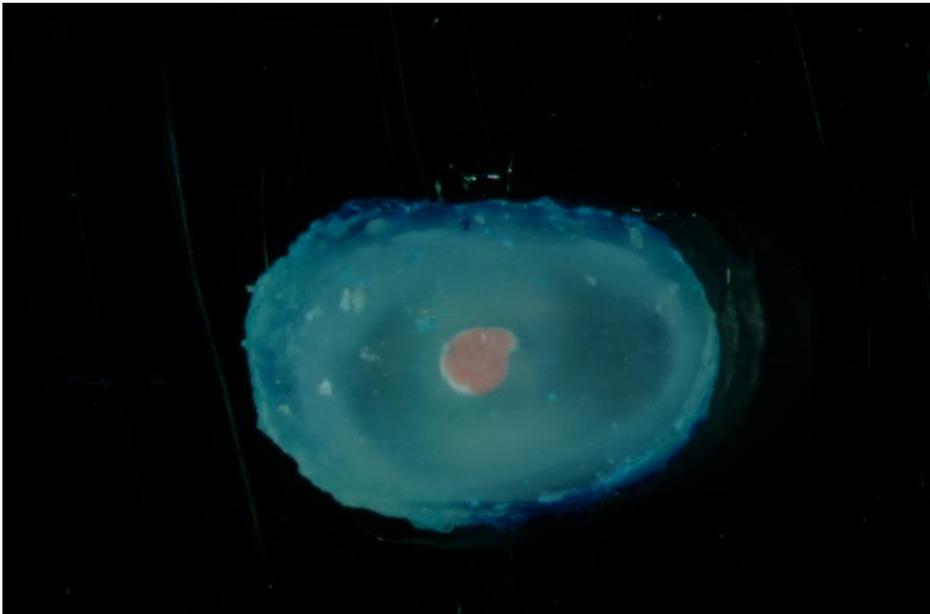


Abb. 17, Gruppe II, manuelle Aufbereitung, laterale Kondensation, 2,3mm

In Abbildung 18 ist ein schlechteres Ergebnis erzielt worden. Im unteren Bereich findet sich ein größeres Areal welches nur mit Sealapex gefüllt ist. In diesem Bereich kam es zur Farbstoffpenetration im lateralen Anteil des Sealers (Sealapex- Dentin- Grenze) sowie zwischen Guttapercha und Sealapex im unteren Anteil zum Einschluss von Luftblasen. Im oberen Abschnitt, in welchem das Guttapercha den Großteil des Lumens ausfüllt ist ein gutes Ergebnis erreicht worden. Es findet sich keine Verfärbung.

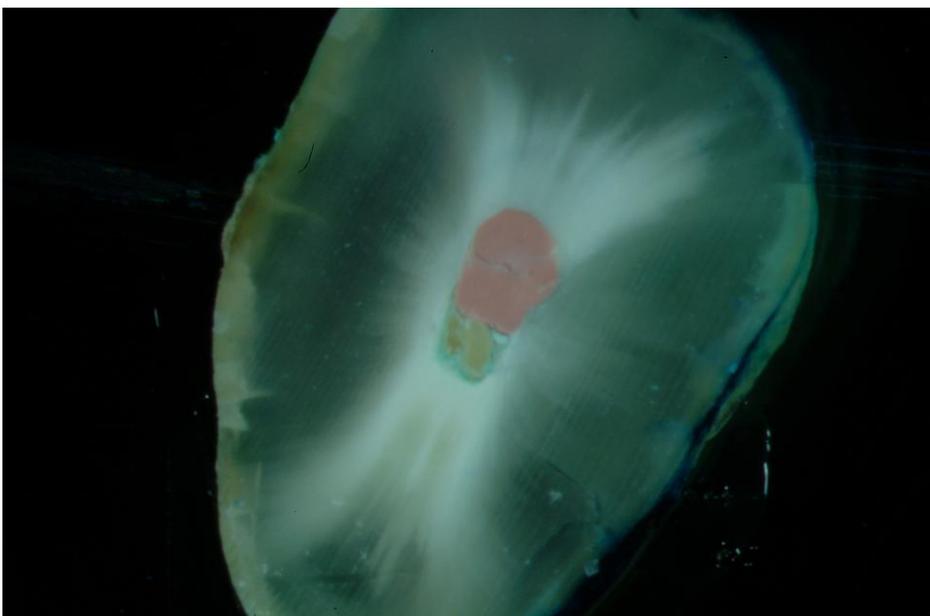


Abb. 18, Gruppe II, manuelle Aufbereitung, laterale Kondensation, 3,6mm

### 5.3. Revision der Wurzelkanalfüllung

Der Versuch der Revision der Wurzelkanalfüllung war zunächst auf Grund der vereinfachten Entfernung der Guttapercha wegen dem oben beschriebenen ungenügenden Verbund zum Füllmaterial ohne größeren Aufwand möglich. Eine weitere Entfernung des wandständigen Füllmaterials Biocem unter Einsatz der permanenten Rotation sowie NiTi-Feilen (ProTaper, Dentsply Maileffer, Konstanz, Deutschland) war nicht vollständig möglich, da ein Festgehen der Feilen im Füllmaterial die Drehmomentbegrenzung aktivierte, und damit einen weiteren Einsatz nicht mehr, oder nur sehr begrenzt zuließ. Das Füllmaterial Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) konnte in keinem Präparat vollständig aus dem Wurzelkanallumen entfernt werden.

Einzig mit Hilfe von Handinstrumenten (Reamer und Headstroem-Feilen) konnte das Füllmaterial, wenn auch nicht in allen Fällen vollständig, von der Wurzelkanalwand entfernt werden. Dies war allerdings mit erheblichen Zeit- und Kraftaufwand verbunden. Die Feilen waren nicht in der Lage einen ausreichenden Abtrag zu gewährleisten, vielmehr entstand der Eindruck, das Material würde nach Art einer entstehenden Schmierschicht durch den Feilvorgang in tiefere Gewebestrukturen gepresst. Zu dem kam es zu einer Verunreinigung und Verstumpfung des Arbeitsteiles der Feilen durch diese Schmiere, so dass die Feilen erst nach gründlicher Reinigung wieder einsatzbereit waren.

Im Schnittpräparat ist zu erkennen, dass Material unmittelbar auf der Dentinoberfläche verblieben ist und nicht entfernt werden konnte (Abb. 19). Selbst der Einsatz einer Feile der ISO Größe 40 konnte das randständige Füllmaterial nicht beseitigen.



Abb. 19, Revision

Auf allen Bildern ist auch gleichermaßen zu erkennen, dass bei der Revision der Abtrag mittig und mit rundem Querschnitt, entsprechend der Feilen, stattfand, dies ist aber nur in seltenen Fällen kongruent mit den physiologischen Formen des Wurzelkanalquerschnittes. Sobald eine Abweichung des Wurzelkanals von der runden Form stattfand, konnte in den abweichenden Bereichen keine vollständige Entfernung des Wurzelfüllmaterials Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) erreicht werden.

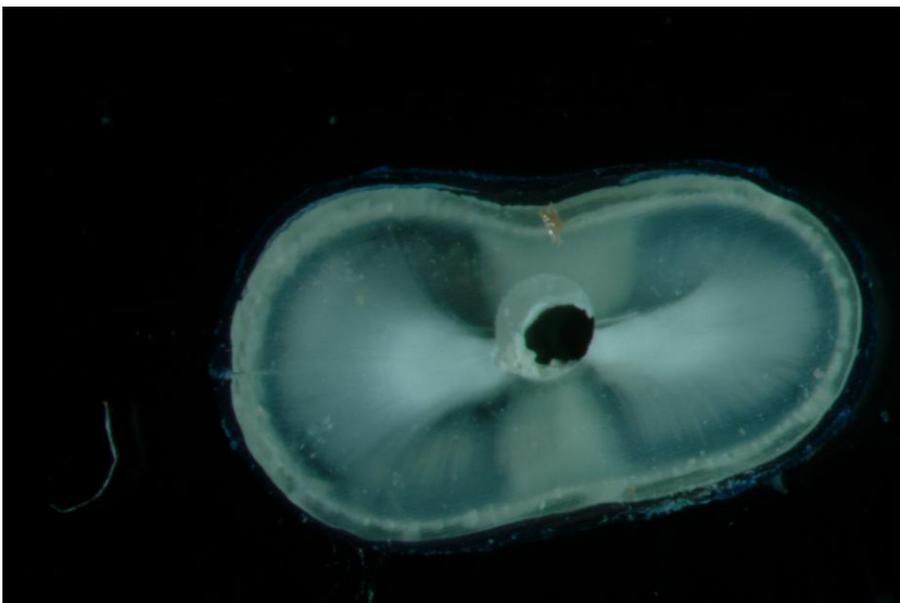


Abb. 20, Revision

## 5.4. Graphische Darstellung der Ergebnisse

### 5.4.1. Bewertung der Dichtigkeit

Im Folgenden erfolgt die Auswertung der Qualität der Wurzelfüllung, als graphisches Hilfsmittel wurden Diagramme herangezogen.

Folgende Kriterien wurden unterschieden:

- suffiziente Wurzelkanalfüllung
- Luftblasen
- Porositäten
- Luftblasen und Porositäten

Die Untersuchung fand jeweils im untersten Trennschnitt bei 1,0mm mit Hilfe des Mikroskops statt.

In Diagramm 1 werden die Daten der Gruppe I.1., Charge A des Wurzelfüllmaterials Biocem graphisch dargestellt. Die Zähne wurden im single cone Verfahren gefüllt. Nur bei einem Zahn war eine suffiziente Wurzelfüllung möglich, dies entspricht einem Prozentsatz von 3%. In über der Hälfte der abgefüllten Wurzelkanäle (17 Zähne, 57%) waren sowohl Luftblasen als auch Porositäten nachweisbar, insgesamt konnten 29 Zähne nicht regelkonform abgefüllt werden. Bei 8 Zähnen (27%) waren Luftblasen auffindbar und bei 4 Zähnen (13%) traten Porositäten auf. Bei diesem Verfahren ist auffällig das es durch die signifikant schlechten Ergebnisse als klinisches Verfahren nicht relevant ist.

#### **Gruppe I.1., Charge A**

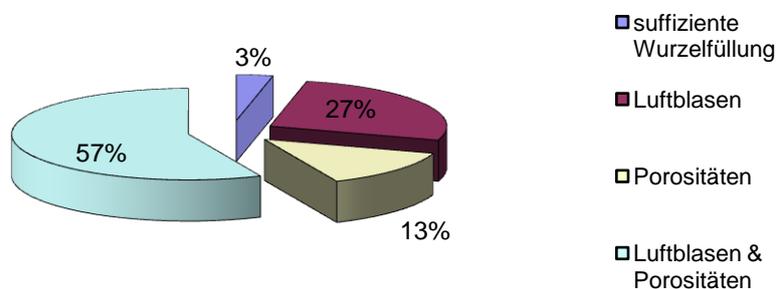


Diagramm 1, n=30

Bei der Gruppe I.2. die im zweiten Diagramm dargestellt ist, kam ebenfalls die Charge A zur Anwendung im Gegensatz zu Gruppe I.1. wurden die Wurzelkanäle jedoch

in der Technik der lateraler Kondensation abgefüllt. Hier konnten 11 Zähne (36%) bis zum Apex optimal abgefüllt werden. 19 Wurzelkanäle der Zähne (64%) war allerdings nur unzureichend versorgbar. Bei 6 Präparaten (20%) fanden sich Luftblasen, bei 8 (27%) Porositäten und bei 5 (17%) ein Gemisch aus Luftblasen und Porositäten.

### Gruppe I.2., Charge A

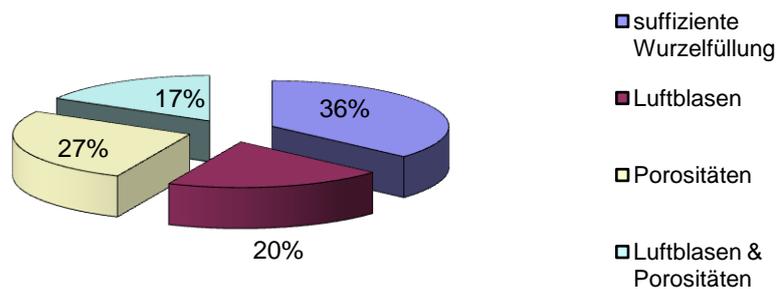


Diagramm 2, n=30

Bei den nächsten beiden Versuchsgruppen I.1. und I.2. kam die Charge B zur Anwendung. In Diagramm 3 sind 2 der Zähne (7%) suffizient versorgt, bei über 90% konnte jedoch nur eine insuffiziente Füllung erreicht werden. 11 Zähne (37%) hatten Luftblasen, 12 Zähne (39%) wiesen Porositäten auf, und bei 5 Zähnen (17%) waren beide unerwünschten Effekte gleichzeitig auffindbar.

### Gruppe I.1., Charge B

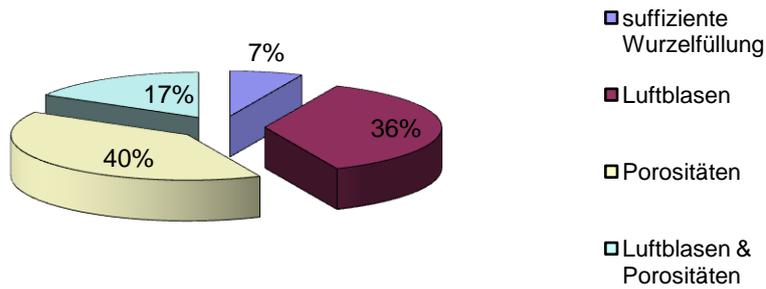


Diagramm 3, n=30

Die signifikant besten Ergebnisse mit dem Werkstoff Biocem konnten in der Gruppe I.2. erzielt werden. In 83% der Präparate, entspricht 26 Zähnen, konnten die Wurzelkanäle in ausreichender Art und Weise, und ohne negative Materialeigenschaften abgefüllt werden. Als häufigste Komplikation stellten sich Luftblasen dar (2 Zähne), gefolgt von Luftblasen in Verbindung mit Porositäten bei 2 Zähnen und Inhomogenität in Form von porösen Stellen die in nur in einem Präparat vorkamen.

### Gruppe I.2., Charge B

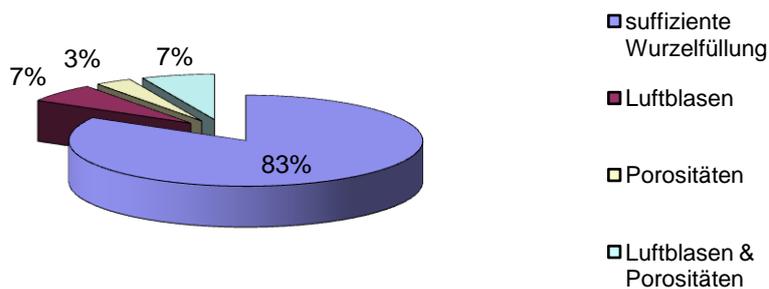


Diagramm 4, n=30

Bei der Vergleichsgruppe II, die in konventioneller Form abgefüllt wurde waren einzig Luftblasen als Grund für eine insuffiziente Wurzelfüllung zu finden, sie traten bei 3 Wurzelfüllungen (10%) auf. Es konnten 27 der Wurzelkanäle (90%) bis an den Apex

suffizient versorgt werden. Die Ergebnisse korrelieren am ehesten mit der Gruppe I.2., Charge B und die statistisch signifikante Unterschiede sind am geringsten.

### Gruppe II.

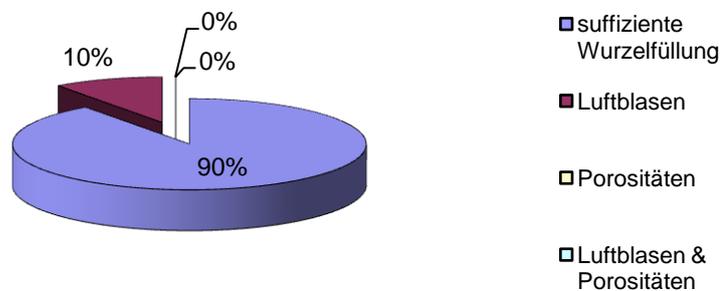


Diagramm 5, n=30

#### 5.4.2. Farbstoffpenetration zwischen dem Sealer (Biocem) und Dentin

Das Versuchsmaterial wurde in oben beschriebener Art und Weise in Trennschliffe zerteilt. Die Trennschliffe wurden daraufhin unter dem Mikroskop begutachtet und es wurde festgestellt bis zu welcher Tiefe der Farbstoff Methyleneblau diffundieren konnte. Der letzte Trennschliff des jeweiligen Zahnes, bei dem eine Verfärbung noch nachweisbar war, wurde notiert und als Wert für die graphische Darstellung herangezogen.

Im ersten Durchlauf wurde die Farbstoffpenetration und damit der Verbund zwischen Biocem und Dentin bzw. Sealapex und Dentin untersucht.

In der Gruppe I.1., Charge A, wurde bei jedem Zahn eine Farbstoffpenetration festgestellt. Dies signifikant aussagekräftige Ergebnis stellt sich detailliert folgendermaßen dar, bei 11 Wurzelkanälen konnte der Farbstoff bis zu einer Tiefe von 1,0mm vordringen. Der größte Anteil war bis zum 2. Trennschliff bei 2,3mm verfärbt, dies entspricht 13 Zähne (43%). Die letzten Farbspuren waren in einer Tiefe von 4,9mm vorzufinden, dies war auch bei den anderen Versuchsgruppen der letzte Trennschliff in dem eine Farbstoffpenetration darstellbar war.

### Gruppe I.1., Charge A

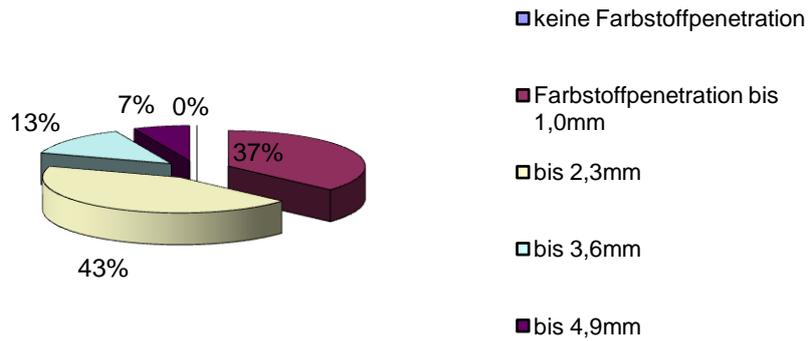


Diagramm 6, n=30

Bei derselben Charge A, konnten bei lateraler Kondensation in 3 Wurzelkanälen (10%) keine Verfärbungen nachgewiesen werden. Bei den restlichen 90% war die Diffusion des Methylenblau unterschiedlich stark. Beim größten Teil mit 13 Zähnen (44%) war der Farbstoff bis 1,0mm penetriert, gefolgt von 2,3mm mit 10 Zähnen (33%) und 3,6mm mit 3 Zähnen (10%). Nur bei einem Wurzelkanal waren Farbreste auch in einer Höhe von 4,9mm zu erkennen.

### Gruppe I.2., Charge A

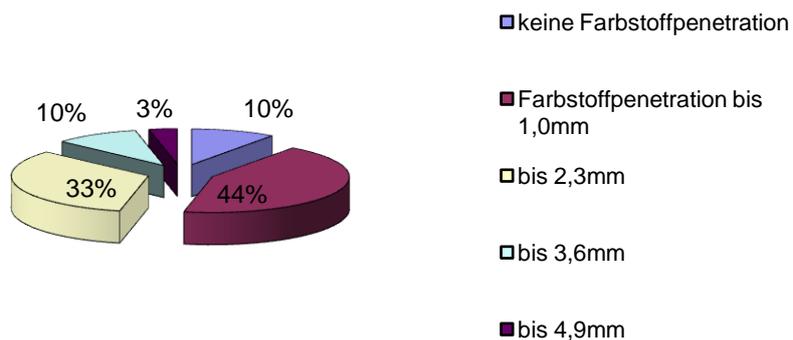


Diagramm 7, n=30

In Diagramm 8 zeigte wiederum nur 1 Wurzelfüllung ausreichende Dichtigkeit zwischen Biocem und Dentin. Hier lag der größte Anteil der Verfärbungen bei einer Dif-

fusionsstrecke von 2,3mm (13 Zähne). Nur knapp weniger waren bei 1,0mm zu verzeichnen (12 Zähne). Der längste Penetrationsweg liegt hier ebenfalls bei 4,9mm.

### Gruppe I.1., Charge B

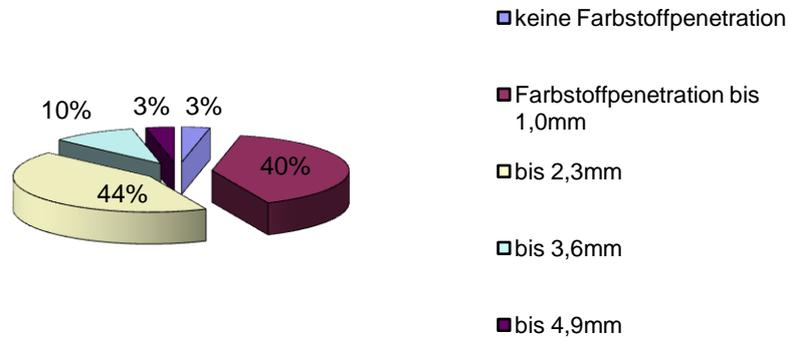


Diagramm 8, n=30

Diagramm 9 zeigt die erhobenen Daten der Gruppe I.2.. Es konnte bei 23 Zähnen ein optimaler Verbund zwischen dem Wurzelfüllmaterial und der Dentinwand erreicht werden (77%). Die größte Eindringtiefe des Methylenblau lag bei 3,6mm und war in einem Präparat aufzufinden. Bei 4 Objekten (13%) war eine Penetration bis 1,0mm und bei 2 Objekten (7%) bis 2,3mm eruierbar.

### Gruppe I.2., Charge B

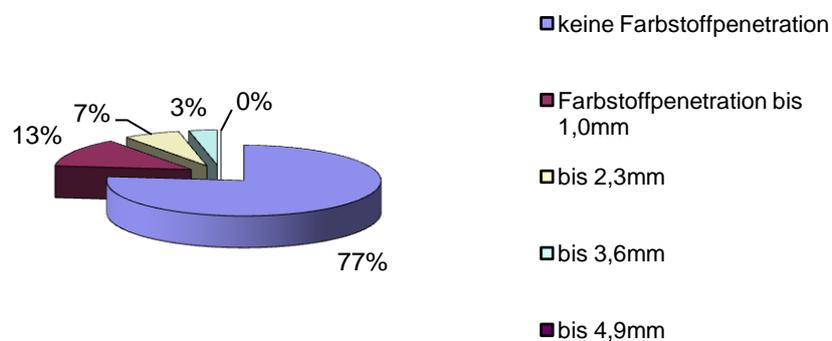


Diagramm 9, n=30

Bei der Versuchsgruppe II. zeigten ebenfalls 23 Zähne (77%) eine gute Haftung zwischen Dentin und dem hier verwendeten Sealer Sealapex. Der Farbvorschub fand bis in eine Tiefe von 2,3mm statt und konnte bei 2 Wurzelkanälen (7%) gefunden werden. In 17% der Präparate, was 5 Wurzelfüllungen entspricht, war die Diffusionsstrecke 1,0mm.

### Gruppe II.

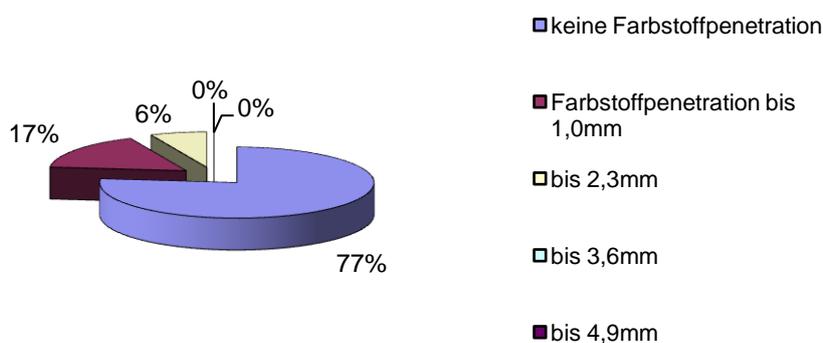


Diagramm 10, n=30

#### 5.4.3. Farbstoffpenetration zwischen dem Kernmaterial (Guttapercha) und dem Sealer (Biocem)

In der letzten Auswertungsreihe wurde der Verbund zwischen den Werkstoffen Biocem/ Sealapex (fungierend als Sealer) und Guttapercha untersucht. Auch hier wurde der jeweils letzte verfärbte Trennschliff gewertet.

Bei Diagramm 11 fällt auf, dass nur ein Präparat ohne Farbstoffspuren aufzufinden war (3%). In 20% der Fälle (6 Zähne) konnte eine Verfärbung bis 1,0mm nachgewiesen werden. Jeweils 8 Präparate (27%) waren bis zu einer Tiefe von 2,3mm bzw. 3,6mm verfärbt. Fast ebenso oft konnte das Methylenblau bis zu 4,9mm in den Wurzelkanal entlang der Guttapercha und des Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) vordringen. Dies kam bei 7 Zähnen (23%) vor.

## Gruppe I.1., Charge A

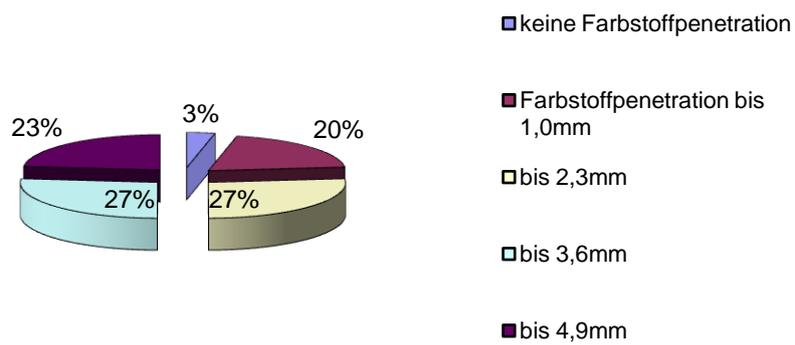


Diagramm 11, n=30

In 17%, das entspricht 5 Zähnen, konnten keine Verfärbungen bei der Gruppe I.2. (Diagramm 12) nachgewiesen werden. Ein Drittel der abgefüllten Wurzelkanäle (10 Zähne) zeigte Farbspuren zwischen den beiden Materialien bis zu einer Tiefe von 1,0mm, das andere Drittel (9 Zähne) bis zu 2,3mm. In einem Präparat (3%) konnte eine Diffusion bis zu 4,9mm nachgewiesen werden.

### Gruppe I.2., Charge A

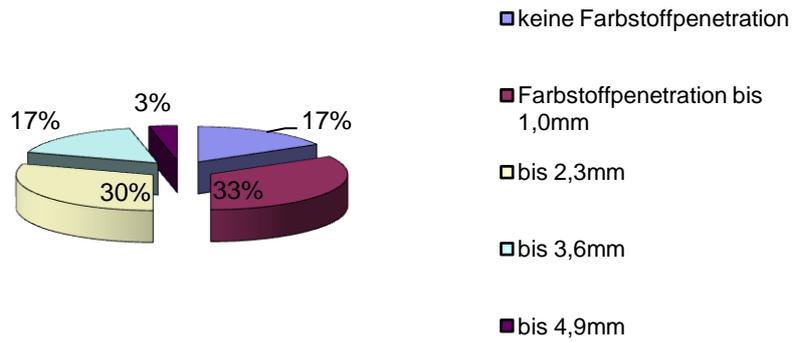


Diagramm 12, n=30

Bei Anwendung der Charge B in der single cone-Technik war in jedem Präparat eine Verfärbung sichtbar. 17% (5 Zähne) waren bis in eine Tiefe von 4,9mm von Methylenblau benetzt. Ebenso häufig diffundierte der Farbstoff bis auf 3,6mm. Am häufigsten kamen in dieser Gruppe Einfärbungen bis 2,3mm vor, in 11 Wurzelfüllungen konnte Methylenblau in dieser Schicht nachgewiesen werden.

### Gruppe I.1., Charge B

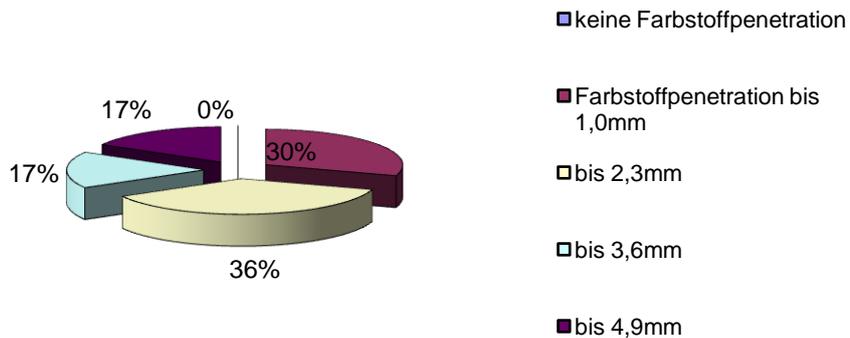


Diagramm 13, n=30

In der Gruppe I.2. waren über die Hälfte der untersuchten Wurzelfüllungen dicht, was 16 Zähnen entspricht (54%). Hier war kein Farbvorkommen zwischen den beiden Schichten nachweisbar. Die letzten Methylenblaureste konnten bei einem Präparat in einer Tiefe von 2,3mm vorgefunden werden (3%). Bei 13 Zähnen (43%) lag eine Verfärbung bei 1,0mm vor.

### Gruppe I.2., Charge B

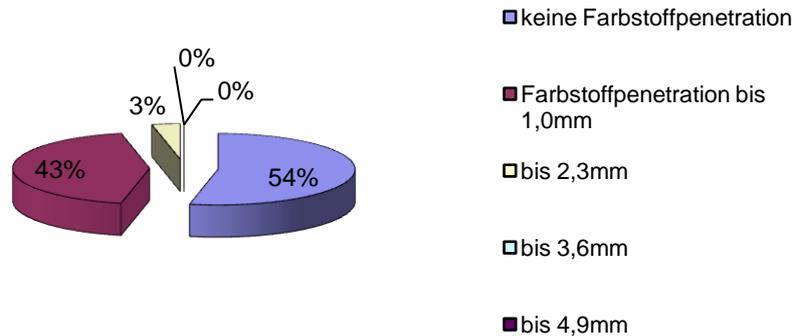


Diagramm 14, n=30

In der Kontrollgruppe II. (hier kam statt des Werkstoffs Biocem Sealapex zum Einsatz) waren in 60% (18 Zähne) der abgefüllten Kanäle keine Farbstoffe auffindbar. In 8 Wurzelkanälen (27%) ging die Diffusion bis zu 1,0mm, in 3 Wurzelkanälen (10%) bis 2,3mm und bei 1 Wurzelkanal (3%) bis 3,6mm. Eine Farbstoffdiffusion konnte nur bis zu einer Tiefe von 3,6mm nachgewiesen werden.

### Gruppe II.

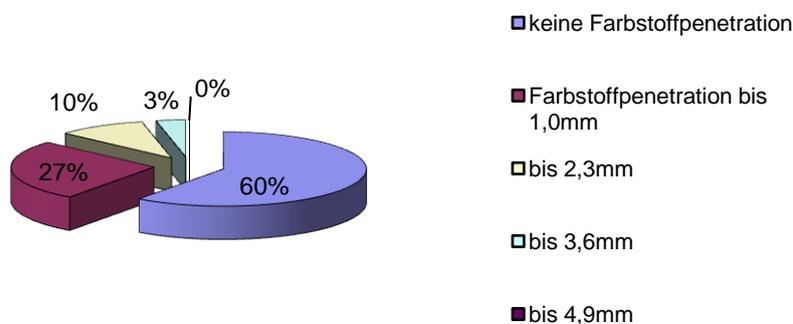


Diagramm 15, n=30

Im Diagramm 16 wird die Verteilung der Ergebnisse (siehe 9.1. Ergebnisse) im Vergleich der einzelnen Gruppen miteinander dargestellt. Gemäß der USPHS-Kriterien ist 1 das optimalste zu erreichende Ergebnis gewesen („Alpha), d.h. die Wurzelfüllung hat den gestellten Anforderungen an eine klinisch-einwandfreie Wurzelfüllung erfüllt. Die Ergebnisse 2-4 stellen suboptimale Wurzelfüllungsergebnisse dar, unterscheiden in die Parameter 2 –Luftblasen, 3 – Inhomogenitäten/Porositäten und 4 – beide Eigenschaften aus 2 und 3 nachweisbar.

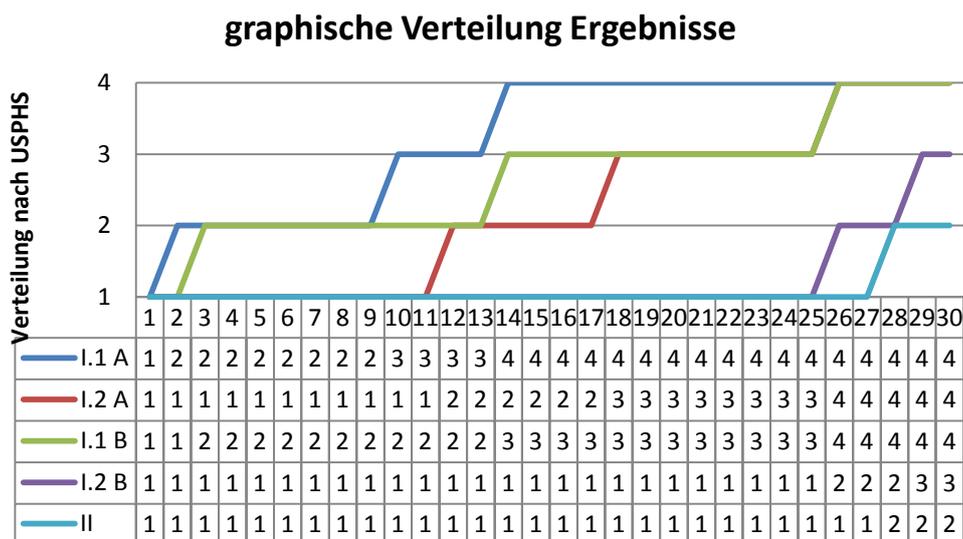


Diagramm 16,

Es fällt auf, wie signifikant unterschiedlich die Chargen und Methoden im Vergleich miteinander sind. Aus Gründen der übersichtlicheren Darstellung im Diagramm 16 wurden die Ergebnisse in den einzelnen Gruppen der Größe nach (1-4) aufsteigend sortiert.

## 6. Diskussion

Ziel einer erfolgreichen Wurzelkanalfüllung ist ein hermetischer, bakteriedichter Verschluss des Kanallumens der idealerweise am Foramen physiologicum endet. Denn 60% der erfolglosen Wurzelkanalbehandlungen werden der sogenannten „apical perlocation“ zugeschrieben, das heißt Gewebeflüssigkeit zirkuliert in dem unzureichend gefüllten Bereich zwischen Wurzelkanal und periapikalem Raum. Begünstigt wird dieser Effekt durch eine insuffiziente Obturation am physiologischen Apex, in Art einer turbulenten Strömung. Aufgabe der Wurzelkanalfüllung ist also der biokompatible und hermetisch dichte Verschluss des Wurzelkanals von der aufbereiteten Pulpenkammer bis hin zum endodontischen Apex, da sowohl Überstopfung des Wurzelfüllmaterials als auch eine zu kurze Wurzelkanalfüllung den oben genannten Effekt verstärken. Neben dem Verschluss der Aus- und Eintrittspforte zum Periapex soll eine dichte Obturation auch Dentinkanälchen und akzessorische Kanäle nicht nur im apikalen Delta sinnvoll erreichen. Die Passage von Mikroorganismen, deren Toxinen und Flüssigkeiten entlang des Wurzelkanals soll wirksam verhindert werden. Die heute weitläufigste Methode besteht aus der Kombination eines festen Kernmaterials (Guttapercha, Kunststoff, Metall) und eines Sealers, welcher den Verbund zwischen Kernmaterial und Dentin sowie Ausgleich von Inkongruenzen ermöglicht. Es wird immer weiter an der Verbesserung der beiden Füllkomponenten geforscht. Die Idee eines „Sealers“ auf Kompositbasis (einem seit langer Zeit in der Zahnmedizin erfolgreich eingesetzten Werkstoffs) bei entsprechender Vorbehandlung und Konditionierung des Wurzelkanalsystems war also nur eine Frage der Zeit. Eigenschaften wie Biokompatibilität, Unlöslichkeit des Füllmaterials im Umgebungsmedium und Volumentreue sowie unmittelbare Haftung an der Dentinoberfläche der Wurzelkanalwand plus dreidimensionale Obturation sind priorisierte Zielsetzung. Es sollten aber auch Eigenschaften wie einfache Anwendbarkeit am Patienten, Revidierbarkeit und nicht überdimensionierter Kostenfaktor Berücksichtigung finden um im Praxisalltag überzeugen zu können. [23, 34, 45, 61, 74, 75, 104]

Alle Zähne in dieser Studie wurden in der Vorbehandlung bis zur ISO Größe 35 oder entsprechend im ProTaper-System bis F2 aufbereitet, ungeachtet der einzelnen individuellen morphologischen Gegebenheiten (Art/ Form/Länge des Wurzelkanals, Anzahl der Wurzelkanäle). Bei der maschinellen Aufbereitung bietet das gewählte Programm „short canal sequence“ mit der Finalfile F2 die in der Studie angestrebte ma-

ximale Aufbereitungsgröße, welche sich im relevanten apicalen Anteil mit der ISO-Größe 35 vergleichen lässt, auch wenn im weiteren Verlauf nach koronal die Konizität zunimmt. Damit sollte gewährleistet werden, dass die Bedingungen für die Applikation des Füllmaterials und den Farbstoffpenetrationstest nach der Wurzelkanalfüllung für alle Testobjekte gleich sind. Die ISO Größe 35 / F2 entspricht einer Mindestgröße für die Aufbereitung des Wurzelkanallumens, bei der der Kompromiss zwischen ausreichendem Substanzabtrag, Schonung und minimaler Schwächung des Zahnes, und Effektivität der Spüllösung am günstigsten zu betrachten ist. Zudem können die Faser des Lasers und die verwendeten Spülkanülen erstmals vollständig bis zum Apex eingebracht werden. Dadurch konnte das Risiko von verbliebenen Restgewebe im Kanal durch die gewebeauflösende Benutzung des Lasers und der desinfizierenden, ausschwemmenden Wirkung der Spüllösungen minimiert werden. Im Praxisalltag sollte man auf anatomische Gegebenheiten reagieren und die ISO-Größen bzw. die Aufbereitungstechnik der entsprechenden dentogenen Situation anpassen und immer eine vollständige Aufbereitung anstreben. [20, 24, 63, 65, 73, 133]

Beim Einsatz des Nd:YAg- Laser wurde vor dem experimentellen Beginn mit thermischen Veränderungen an der Dentinstruktur in Art einer Verglasung und/oder Verschluss der lateralen Dentinkanäle (welcher durch Einschmelzung des Dentins und anschließender Rekristallisation entsteht) gerechnet. Diese Reaktion war bei Matsumoto durch Anwendung des continuous-wave Nd:YAG- Lasers beschrieben, konnte aber in unserer Studie bei Verwendung des Nd:YAG-Lasers der Firma Schütz- Weil nicht nachgewiesen werden. Ganz gegenteilig wurden großflächige glatte, gereinigte Dentinoberfläche aufgezeigt mit nur vereinzelt sichtbaren Geweberückständen. Sogar Dentintubuli und laterale Kanäle waren unverblickt und frei sichtbar. Die Wirkung des Lasers kann oberflächlich bis in die Tubuli verfolgt und eine Reinigungswirkung nachgewiesen werden. Die Diskrepanz zu Matsumotos Ergebnissen ist erklärbar durch den Unterschied in den Behandlungsparametern (Wellenlänge 1,064  $\mu\text{m}$ , Pulsdauer 0,2ms, Pulsenergie 100mJ, Pulsfrequenz 20 pps, Gesamtzahl Impulse 400) sowie dem Einsatz in Kontaktarbeitsweise bei gleichzeitiger kreisförmiger Bewegung der Laserfaser aus dem Kanalsystem. Die resultierende Temperaturerhöhung an den einzelnen Orten von maximal 38,9°C unter Anwendung der gepulsten Frequenz waren nicht ausreichend um das Dentin in seiner Struktur zu verändern und einzuschmelzen, daher kam es zu keiner Verglasung sondern zu einer fast vollständig (95%) gereinigten Oberfläche (siehe 5.1. Ergebnisse). Das Inter-

vall zwischen den Impulsen bietet des Weiteren den Vorteil von Abkühlungsphasen und mindert somit thermische Nebenwirkungen auf das umliegende Gewebe. Da keine Verglasung der Dentinstruktur nach Behandlung mit dem Nd:YAG- Laser festgestellt werden konnte, ist es fraglich ob der Laser primär für die Strukturconditionierung der Dentinoberfläche zur Anwendung oder ob er vielmehr auch alleinig wegen seines hohen antibakteriellen und reinigenden Effekts zum Einsatz kommen sollte. Der Grad der Keimreduktion liegt bei 95-99 Prozent auf pathogene Keime (Anaerobier) und es kommt zur Verdampfung der Debris. Die bakterizide Wirkung des Nd:YAG-Lasers ist denjenigen der konventionellen Methoden somit deutlich überlegen, die Bakterienreduktion bei Spülung mit NaCl liegt bei nur 88%. Levy zeigte schon in seiner Studie von 1994, dass mit Lasertechnik behandelte Wurzelkanäle sauberer sind, als jene welche mit anderen Verfahren behandelt wurden. So waren nach der Laserbehandlung keine Absplitterungen, smear layer und Einkerbungen in der Dentinwand aufzufinden. Gleiches konnte auch von *Goodis, White, Marshall und Moskowitz* festgestellt werden. Andere Studien konnten beweisen, dass Wurzelfüllungen, unabhängig vom Material, dichter waren wenn die Schmierschicht vollständig entfernt wurde. Da keine thermischen Veränderungen an der Dentinwand nachweisbar waren, ist auch eine thermische Schädigung apikaler oder periradikulärer Strukturen auszuschließen. Die physiologische Körpertemperatur von 37°C liegt knapp unterhalb des Bereiches der von *Sedlak (1999)* gemessenen Temperaturerhöhungen (Desmodont 38,1°C, Dentin 38,9°C und Zahn apex 37°C, bei einer Behandlungsdauer von 20s) und liegt im Normbereich der Körpertemperatur, wie sie zum Beispiel auch bei febrilen Zuständen vorliegt. Auch eine Verlängerung der Behandlungsdauer auf 90s brachte nur eine moderate Temperaturerhöhung auf 39,7°C (Desmodont 39,9°C, Dentin 39,7°C, Zahn apex 39°C). Die Anwendung des Lasers bis an das Foramen apikale ist unbedenklich. Auch die Gefahr iatrogenen Malignität ist als äußerst gering einzuschätzen, da die Wellenlänge von 1064nm nicht im Verdacht steht, kanzerogene Veränderungen hervorzurufen.

Da eine sehr hohe Reinigungswirkung mit dem Laser erzielt wurde, und Schädigungen der angrenzenden Strukturen unwahrscheinlich sind, ist sein Einsatz für die Konditionierung der Wurzelkanäle bei endodontischen Behandlungen auf jeden Fall sinnvoll. Einzig der wirtschaftliche Gesichtspunkt ist bei der Anwendung des Nd:YAG-Lasers unbefriedigend; zu den hohen Anschaffungskosten kommt ein starker Verschleiß der optischen Faser, welche, um ein optimales Ergebnis beizubehalten nach ca. 6 Anwendungen gekürzt werden musste. [4, 10, 11, 21, 22, 29, 49, 69, 76, 77, 116]

Eine Kombination aus Nd:YAG- Laser und maschineller Aufbereitung erscheint ideal als Vorbehandlung des Wurzelkanalsystems vor der Wurzelkanalfüllung, bei Nichtbeachtung wirtschaftlicher Faktoren. Das positive Fazit dieser Kombination ist eine glatte Wurzelkanaloberfläche, welche zudem frei von Smearlayer ist und sogar weitestgehende Gewebe- und Bakterienfreiheit in lateralen Dentintubuli bietet. Zudem ist die Schwächung des Restgewebes und die Gefahr von Nebenwirkungen gering. Daraus ergibt sich auch die Überlegung, dass das Füllmaterial in eben diese unverblockten lateralen Strukturen eindringen kann, und damit einen besseren Verschluss und optimalere Haftung, im Sinne einer makromechanischen Verzapfung, erzielt. Zudem bietet die maschinelle Aufbereitung den Vorteil genormter und reproduzierbarer Verhältnisse bei exakter Anwendung durch den Behandler. Auch teils obliterierte oder gekrümmte Kanäle sind ohne Schwierigkeiten zu bearbeiten. Die gleichzeitige Verwendung von EDTA-Spüllösung und Gleitpaste („Glyde“, ebenfalls mit EDTA angereichert) während der maschinellen Bearbeitung fördert die Anlösung organischer Gewebe und erleichtert den Abtrag. Zudem minimiert der Einsatz von „Glyde“ die Bruchgefahr der eingesetzten Feilen. [12, 22, 24, 52, 63, 64, 89, 111]

Beide Verfahren sind anwenderfreundlich, d.h. sie sind schnell zu erlernen, einfach zu handhaben, zeitsparend und energieschonend für den Behandler. Einzig der immense Kostenfaktor des Lasers lässt eine Anwendung in der Praxis aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten zur Zeit noch scheitern.

Nach der Aufbereitung und Bearbeitung der Wurzeloberfläche mittels Nd:YAG- Lasers wurden die Wurzelkanäle gefüllt. Dazu kam das zu testende autopolymerisierende Zweikomponentenmaterial Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) auf Basis einer Harz-Komposit-Matrix zum Einsatz. Der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) drängte sich durch scheinbare Erfüllung der Anforderungen an ein ge-

eignetes Wurzelfüllmaterial in Voruntersuchungen und Anwendungen in anderen medizinischen Bereichen (mit entsprechend positiv bewerteten Studien) als Probenmaterial in den Fokus. Bereits in den 80iger Jahren wurde er als Knochenzement eingesetzt, und es konnten bioaktive Effekte (primäre Verbundosteogenese) und Biokompatibilität nachgewiesen werden. In einer Studie von 1995 wurde er erfolgversprechend zur retrograden Wurzelkanalfüllung verwendet. Die hier gewonnenen Erkenntnisse (gute Gewebeverträglichkeit, Anpassung an anatomische Strukturen, Passgenauigkeit, geringe Schrumpfung, gute Randständigkeit und Dichte, geringe Polymerisationswärme von 34°C) lassen den Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) ideal erscheinen für die Fragestellung unserer Studie. Der Werkstoff basiert auf einer Harzmatrix, aufgebaut aus Bis-GMA-Molekülen und diversen Dimethacrylaten. Dazu kommen verschiedene Hilfsstoffe und anorganische Füller (Zirconiumoxid, Hydroxylapatit). Die von *Ilgenstein, Raveh, Stich und Berthold* nachgewiesene beschleunigte Knochenregeneration bei der retrograden Wurzelfüllung lässt auch positive Effekte und geringes Auftreten von Komplikationen nach orthograde Wurzelfüllung vermuten. Durch den guten Verbund von Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) mit organischer Matrix, und der hohen Stabilität scheint es weiterhin als geeignet zur Aufnahme von gegossenen (zweizeitig) oder geschraubten (einzeitigen) Stiften. [41, 66, 108, 129]

Aufgrund der hohen Viskosität der Charge A traten schon bei der Applikation in das Wurzelkanallumen Schwierigkeiten auf. Anfangs war ein Einbringen nur in die Kronenpulpaöhle möglich, die Wurzelkanäle selbst konnten in keinem Bereich mit Material befüllt werden. Nach Anbringen eines Obturators konnte der Werkstoff zwar tiefer in das Wurzelkanallumen, jedoch nur bis zu 1/3 der Wurzellänge und mittels unproportional hohen Kraftaufwands eingebracht werden. Auch „Stopfen“ im Sinne der lateralen Kondensation mit gleichzeitig vertikaler Verdichtung, wobei der Masterpoint mit Biocem beschickt wurde, brachten keinen dichten Verschluss. Es bildeten sich Blasen und Porositäten, die eingesetzten Guttaperchpoints führten zur Materialverdrängung aus dem Kanalsystem. Bei dieser Charge waren schon makroskopisch unzureichend gefüllte Areale zu sehen. Einen weiteren Kritikpunkt bildete das zu kurze Abbindeverhalten der Charge A, welches mit dem umständlichen Vorgang des Umfüllens des Materials in geeignete Applikationsmedien sowie Anbringen des Obturators zu weiteren Komplikationen führte. Meist war das Material nach dem Umfüllen in den Applikator schon zu viskös um es überhaupt noch in den Wurzelkanal einzubringen. Es kann zusammenfassend gesagt werden, dass der Werkstoff

Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) der Charge A ein völlig ungeeignetes und inakzeptables Material für die orthograde Wurzelfüllung ist. Durch die signifikant schlechten Resultate konnte als klinische Relevanz abgeleitet werden, dass der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) Charge A für einen Einsatz am Patienten nicht brauchbar ist.

Diese Ergebnisse veranlassten daraufhin die Firma GDF (Rosbach, Deutschland) den Werkstoff Biocem zu überarbeiten.

Die Charge B ist aufgrund des geringeren Füllkörpergehaltes niedrigvisköser, was schon durch vereinfachtere Applikation positiv auffiel. Durch die veränderten Materialeigenschaften und das durch den Hersteller in einer Doppelmischspritze mit aufschraubbaren Ansätzen angelieferte Material, war ein Umfüllen in andere Applikatoren sowie Anbringen eines Obturators überflüssig. Dies erbrachte enorme Material- und Zeitersparnis. Auch konnten durch das fließfähigere Material dünnere Aufsätze verwendet werden, was dazu führte, dass der Werkstoff tiefer in das Wurzelkanallumen eingebracht werden konnte. Schon von der Handhabung war Charge B Charge A weit überlegen und im Versuchsaufbau sinnvoll einsetzbar. Zudem entstand auch makroskopisch der Eindruck, dass jetzt alle Bereiche ausreichend durch Material ausgefüllt wurden. Dieser Eindruck konnte nicht 100%ig mikroskopisch bestätigt werden. Blasenbildung und Porositäten kamen aber nur noch vereinzelt, vor allem an Stellen mit verhältnismäßig höherem prozentualen Querschnittsanteil am Füllungswerkstoff Biocem(GDF, Rosbach, Deutschland), vor. Der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) der Charge B ist im Vergleich zur Charge A geeigneter für die orthograde Wurzelfüllung. Die Qualität der Wurzelfüllung was signifikant häufiger positiv bewertet. Er kam dennoch im Vergleich mit der getesteten Gruppe II, der konventionellen Wurzelkanalfüllung, nicht an deren Ergebnissen heran. Bei Gruppe I.2. konnten 83% der Wurzelfüllungen (25 Zähne) suffizient versorgt werden (Diagramm 4), dem stehen 90% (27 Zähne) suffiziente Wurzelfüllungen aus Gruppe II. gegenüber. Es konnten keine signifikanten positiven Resultate erzielt werden. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen von *Städler et al* (2004), die bei Einsatz der lateralen Kondensation im apikalen Bereich eine Dichtigkeit von 93,6% (Mittelwert) ermittelten. [36, 42, 53, 104, 128]

Bevor das Füllmaterial in das Kanallumen eingebracht werden konnte, erfolgte die Trocknung mittels Papierspitzen. Da das Füllmaterial Biocem(GDF, Rosbach, Deutschland) auf Komposit basiert, sind hydrophobe Materialeigenschaften impli-

ziert. Eine absolute Trocknung des Wurzelkanalsystems am Patienten ist jedoch nicht erreichbar. Es ist zu vermuten, dass ein gewisser Grad an Restfeuchtigkeit im natürlichen Kanalsystem (zum Beispiel in lateralen Strukturen oder durch nachsickern aus periapikalen Strukturen) verbleibt, so dass das Füllmaterial daran gehindert wird in diese noch feuchten Gebiete einzufließen. An dieser Stelle wäre die Verwendung eines Dentinhaftvermittlers überlegenswert, wie er auch schon bei Kompositfüllungen in der konservierenden Füllungstherapie seit Jahren angewandt wird. Durch die mikromechanische Verzapfung könnte ein besserer, dichter und haltbarer Verbund zwischen Dentin und dem Füllmaterial erreicht werden. Dentin Bonding Agents sind niedrigviskös und gelangen dadurch weit in laterale Strukturen, außerdem werden sie laut Gebrauchsanweisung verblasen, was sie wiederum tiefer in die Dentintubuli drängt. Zu untersuchen wäre dabei wie weit die Eindringtiefe des Spray-Vit-Ansatzes an der zahnärztliche Behandlungseinrichtung ist und ob überhaupt bis in tiefere Kanallumina vorgedrungen werden kann. Beim Verblasen stellt sich weiter das Problem, ob es dabei zu einer unbeabsichtigten Verdrängung über den Apex hinaus in das umgebende Gewebe und damit zu Irritationen periapikal kommen kann. Zum anderen benötigen eben diese Haftvermittler einen gewissen Grad an Restfeuchtigkeit und besitzen nicht so stark ausgeprägte hydrophobe Eigenschaften. Ein Vorteil im restfeuchten Milieu des aufbereiteten Wurzelkanals. Man könnte also davon ausgehen, dass ein Dentinbondingagent eine noch bessere Randständigkeit, Eindringtiefe, und gerichtete Polymerisationsschrumpfung erreicht, wenn es denn sinnvoll in den Wurzelkanal eingebracht werden kann. Zudem gestaltet es den Spannungsverlauf an der Komposit-Dentin-Grenzfläche homogener. Dies ist auch in einer Studie von Rogge untersucht worden. Jedoch wurde hier das Dentinbonding mit konventionellen Materialien (Guttapercha und Sealer) kombiniert. Als Schlussfolgerung ergab sich eine Verbesserung der Dichtigkeit zwischen Dentin und der Wurzelkanalfüllpaste, bei einfacher und nicht zeitaufwendiger Applikation. Es ist also durchaus interessant diesen Aspekt weiter zu verfolgen. [61, 66, 85, 105, 129, 142]

Neben dem Werkstoff Biocem(GDF, Rosbach, Deutschland) wurde als weiteres Füllmaterial Guttapercha eingesetzt. Einen Vorteil bei der Verwendung von Guttapercha als Stiftmaterial ist seine schon seit Jahrzehnten unangefochtene Stellung in der Endodontie. Allerdings können die Guttaperchastifte nicht autoklaviert werden. Zwar werden die Stifte steril geliefert, jedoch ist eine bakterielle Kontamination beim

Behandeln und durch unsachgemäße Lagerung nicht auszuschließen. [45, 55] Deshalb wird eine Desinfektion der Stifte vor Einbringen in den Kanal empfohlen. Dabei zeigte sich in der Studie von *Frentzen und Mitarb.* das alle gängigen Desinfektionslösungen herangezogen werden können und es keinen nennenswerten Einfluss auf die Flexibilität, Resilienz, Brüchigkeit sowie Volumentreue der Guttaperchastifte gab. [7, 40, 62, 80]

Der Einsatz eines zentralen Stifts sowie weiterer lateraler Guttaperchapoints im Sinne der lateralen Kondensation (Gruppe I.2.) konnte das Füllergebnis deutlich verbessern. Der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) fungiert hierbei als Art eines Sealers. Durch die laterale Kondensation wird das Füllmaterial weiter an die umgebende Kanalwand sowie in akzessorische Strukturen gepresst. Hier ist die Technik der lateralen Kondensation der „single cone“ –Technik (Gruppe I.1.) weit überlegen. Der Anpressdruck an laterale Strukturen ist bei mehreren eingebrachten Stiften höher, Blasen wurden verdichtet und es entstanden signifikant weniger Porositäten. Die Wurzelfüllung erschien homogener und beim Farbstoffpenetrationstest war das Methylenblau weniger stark zwischen Biocem und Dentin diffundiert, aber auch zwischen Guttapercha und Biocem. So zeigte Charge B bei der single-cone Technik (Gruppe I.1.) nur bei einem Präparat keine Farbstoffpenetration zwischen Biocem und Dentin, wogegen bei der lateralen Kondensation (Gruppe I.2.) bei 23 Zähnen keine Farbstoffpenetration auftrat (Diagramme 8 und 9). Damit weist die Gruppe I.2. die gleiche Dichtigkeit wie Versuchsgruppe II (Diagramm 10) auf. Auch in dieser Gruppe wurde bei 23 Zähnen keine Farbstoffpenetration registriert. Ein erhöhter Farbniederschlag war vor allem an den Stellen aufzufinden, an der die Guttapercha direkt mit dem Füllmaterial Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) in Kontakt steht, weniger zwischen Füllmaterial und Dentin. Dies lässt sich an den Zahlen der Gruppe I.2. Charge B gut veranschaulichen. 23 Zähne waren im Bereich zwischen Dentin und Biocem dicht, wogegen nur 16 Zähne zwischen Guttapercha und Biocem dicht waren (Diagramm 9 und 14). Grund hierfür könnte die Schrumpfung des Materials Richtung Dentin während der Polymerisation sowie die Materialeigenschaften von Biocem und Guttapercha sein, welche durch die glatte Oberfläche des Guttaperchas nur geringen mikroretentiven Verbund eingehen. Das Guttapercha ist hydrophob und an der Außenseite glatt, und bietet damit dem ebenfalls hydrophoben Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) wenig Retentionsfläche. Vielmehr schienen sich die beiden Werkstoffe gegenseitig eher abzustößeln. Bei dieser Art der Wurzelkanalfüllung ist zu beachten, dass der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach,

Deutschland) nur in geringer Menge am Gesamtvolumen der Wurzelfüllung beteiligt sein sollte. Auch hier gilt der Grundsatz von etwa 98% Guttapercha und 2% Sealer. [8] Der vergleichsweise hohe Anteil an festem Material (Guttapercha) ist für den dichten Verbund hauptsächlich verantwortlich, außerdem ist bei geringerem Kompositanteil der entstehende Randspalt durch materialbedingte Schrumpfung geringer. Das Füllmaterial Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) gleicht Inkongruenzen aus, schafft Verzäpfung zum Dentin und verbindet die einzelnen Guttaperchapoints untereinander. Die laterale Kondensation sollte bei dieser Methode ebenso wie bei der herkömmlichen Wurzelfüllung bevorzugt eingesetzt werden, da sie signifikant bessere Ergebnisse erzielt. Bei einer von *Tekyatan et al* durchgeführten Befragung unter niedergelassenen Zahnärzten wurde von 37,4% (n=253) angegeben, die laterale Kondensation als Wurzelfülltechnik zu verwenden. [36, 58, 61, 62, 74, 81, 101, 105, 129, 131, 136, 140]

Die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen ist in einer Vielzahl von in vitro-Untersuchungen beschrieben worden. Bei vorliegender Untersuchung wurde das Testverfahren auf Basis von Methylblau angewendet, da diese semiquantitative Methode häufig wissenschaftlich bei Farbstoffpenetrationstests Anwendung findet. Grundlegender Gedanke dabei ist, dass entlang der Wurzelkanalfüllung (schlimmstenfalls durch das Füllmaterial selbst) eine Reinfektion des Endodonts erfolgen kann. Bakterien und deren Toxine stellen die häufigste Ursache für einen endodontischen Misserfolg dar. In vitro wird durch einen geeigneten Farbstoff (hier Methylblau) eben diese Reinfektion und Penetration simuliert und anhand der Stärke der Markerpenetration kann ein Rückschluss auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung gezogen werden. 2%iges Methylblau empfiehlt sich als Markerstoff da es ph-neutral (Ph 7,0), in seiner Molekülgröße vergleichbar mit der Größe von Bakterien und ideal in seiner chemischen Reaktionsfähigkeit ist. Farbstoffe mit saurem pH-Wert stehen im Verdacht durch Demineralisation des Dentins zu einer verstärkten Farbstoffpenetration ins Wurzelkanallumen zu führen. Je größer die Molekülgröße des Makers, desto geringer die Eindringtiefe. Das Ausmaß der Penetration ist daher am aussagekräftigsten wenn die Molekülgröße des verwendeten Farbstoffs mit denen der Bakterien und deren Toxinen identisch ist. Eine Versiegelung der Zähne mittels Nagellack unter Freilegung des Apex schaffte eine gerichtete Diffusion des Makers vom Apex nach koronal.

Zur Darstellung der stattgefundenen Farbstoffpenetration sind in der Literatur verschiedene Methoden beschrieben. Von linearen Messungen anhand von Längsfrak-

turen bis hin zur chemischen Vorbehandlungen welche eine Dentintransparenz erzeugen (TAGGER) sind in der Literatur verschiedene Verfahren zur Darstellung der Penetrationstiefe beschrieben. Kritisch zu hinterfragen ist allerdings die Aussagekraft dieser Methoden da nur ein geringer Teil des Verbundes Dentin-Sealer-Guttapercha auswertbar ist und nicht dargestellt werden kann wie sich der Farbstoff innerhalb der Wurzelfüllung ausbreiten kann. Daher wurde in dieser Studie dem Verfahren der Darstellung mittels horizontaler Querschnitte Vorzug gegeben. Dabei kann die Penetrationstiefe anhand der Segmente ermittelt werden. Beim Abtrennen der Querschnitte wurde bei jedem Zahn vom Apex an die Schnitte auf gleicher Höhe (1,0mm, 2,3mm, 3,6mm, 4,9mm, 6,2mm) gesetzt und der Materialverlust durch den Sägeprozess und die Dicke des Sägeblattes von 0,3mm ließen reproduzierbare und vergleichbare Zahnquerschnitte entstehen. Die einzelnen Querschnitte wurden dann nach Luftblasen, Porositäten, Inhomogenitäten sowie Farbstoffpenetration Ja/Nein untersucht. Es kann also neben der Penetrationstiefe auch Auskunft über die Qualität der Wurzelfüllung im entsprechenden Segment gegeben werden.

Für die verschiedenen Gruppen ließen sich daraus Aussagen über Dichtigkeit, Homogenität und Wandständigkeit der Wurzelfüllmaterialien machen lassen und ein Vergleich ableiten. Am schlechtesten schnitt Gruppe I.1. der Charge A ab. Das Material konnte schon beim Verarbeiten nicht sinnvoll in den Wurzelkanal eingebracht werden und lässt dieses Manko auch beim Penetrationstest erkennen. Bei nur einem einzigen Zahn war eine suffiziente Wurzelfüllung möglich. Material und Methode sind also für den alltäglichen Gebrauch nicht empfehlenswert, aufgrund der miserablen Ergebnisse sogar kontraindiziert. Gleiches Material bei Anwendung in der lateralen Kondensation konnte zwar bessere, aber noch keine zufriedenstellenden Ergebnisse liefern. Dagegen konnten bei Verwendung der Charge B des Werkstoffs Biocem deutliche Verbesserungen anhand der Dichtigkeitsmessungen nachgewiesen werden. Es kamen weniger Porositäten, Luftblasen sowie Hohlräume vor und die Farbstoffpenetration lag nur knapp unterhalb der von der konventionellen Gruppe. [5, 36, 93, 101, 144] Signifikant gute Ergebnisse konnten nur mit der Charge B in Kombination mit der Technik der lateralen Kondensation sowie bei der konventionellen Technik erzielt werden.

Ein weiterer Punkt dieser Studie beschäftigte sich mit der Revidierbarkeit des Wurzelfüllmaterials. Denn bei ca. 20% der wurzelfüllten Zähne kommt es trotz sorgfältiger Aufbereitung, Behandlung und definitivem Verschluss zu einem Misserfolg. In

diesen Fällen muss das eingebrachte Material möglichst vollständig und einfach entfernbar sein um einer erneuten Wurzelkanalbehandlung Chancen auf Erfolg zu ermöglichen.

Eine vollständige Revision der Wurzelkanalfüllung war bei dieser Untersuchung nicht möglich. Auch hier lässt sich aus der statistischen Signifikanz ableiten, dass ein Einsatz als Werkstoff für die Wurzelfüllung keine klinische Relevanz hat. Schwierigkeiten ergaben sich schon daraus, dass der Bohrer bei der maschinellen Revision frühzeitig im Komposit verhakte und die Drehmomentbegrenzung aktivierte, was einen weiteren Einsatz schwierig machte, sowie die Tatsache, dass bei der manuellen Revision das Füllmaterial in die lateralen Dentinstrukturen geschmiert wurde. Einen Grund für dieses erschwerte Revidieren war der mikromechanische Verbund zwischen Biocem und Dentin. Dieser Verschluss abseits gelegener Kanalbereiche macht einen erneuten Zugang für antimikrobielle Spülungen, sowie eine gründliche Reinigung bzw. Aufbereitung aller Bereiche, so wie sie nach der Behandlung mittels Laser, maschineller Aufbereitung und Spülung waren, unmöglich. Andererseits sind in diesem Fall die lateralen Strukturen derart verblockt, dass eine Art Versiegelung anzunehmen sein könnte, welche einen dichten Abschluss, und deutlich schlechtere Konditionen und Raum für eine Reorganisation von Bakterien bedeutet. Auch *Morse* (1987) behauptet, dass verbleibende, vorwiegend anaerobe Keime entweder inaktiv sind, oder an Substratmangel zugrunde gehen. [56] Es ist deshalb gegeneinander abzuwägen, ob die Verblockung der lateralen Kanäle, und der damit verbundenen Annahme einer schlechteren Umgebung für die Neuorganisation von Mikroorganismen nicht wünschenswert wäre, oder ob dadurch wahrscheinlicher der Zugang zu wichtigen Strukturen blockiert ist.

Wollte man das eingebrachte und verblockte Material vollständig entfernen und im Wurzelkanal eine reine Dentinwand erhalten, so müsste man einen hohen Substanzabtrag in Kauf nehmen. Die Aufbereitungsgröße bei der Revision ist in jedem Fall größer zu wählen als die ISO-Größe der Final File, hier F2 ProTaper- System. Dies hätte in vielen Fällen eine übermäßige Schwächung der Wurzel zur Folge, die verbleibende Dentinwandstärke im Verhältnis zur Wurzelfüllung führt zur Instabilität und damit zu Frakturen sowie zum Verlust des Zahnes. Desweiteren ist der Arbeitsaufwand sehr hoch und zeitintensiv. Es stellt sich daraus die Frage, ob es überhaupt sinnvoll und dem Patienten zumutbar ist, eine so radikale Form der Revision anzustreben. Des Weiteren ist die Revision der Versuch, einen nicht ausreichend gefüll-

ten Wurzelkanal erneut zu füllen, oder nach Misserfolgen über die Revision die medikamentöse Einlage über das Kanalsystem an den periapikalen Raum zu bringen um eine Wurzelspitzenresektion zu umgehen. Durch die verblockten Tubuli ist aber die Diffusion der Wirkstoffe behindert, und nur noch über den Apex direkt möglich, es ist daher anzunehmen das laterale Entzündungsgeschehen nicht erreicht werden können und dann eine chirurgische Therapie nötig machen. [3, 135]

Auf Grund der in dieser Untersuchung ermittelten Ergebnisse kann eine Anwendung des Materials Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) zur Wurzelfüllung nicht empfohlen werden. Charge A war sowohl von der Handhabung, der Verarbeitung, der Verarbeitungszeit und der Dichtigkeitsauswertung nicht empfehlenswert. Eine Anwendung im endodontischen Bereich zur orthograden Wurzelfüllung ist nicht sinnvoll möglich. Zwar war die Charge B in den Ergebnissen, bei der Anwendung und beim Farbstoffpenetrationstest signifikant nur gering hinter denen der konventionellen Methode, aber es konnten im Vergleich mehr Porositäten und Luftblasen in der Wurzelfüllung nachgewiesen werden. Am besten schnitt die konventionelle Wurzelkanalfüllmethode mittels Guttapercha und AHPlus unter Anwendung der lateralen Kondensation ab. Desweiteren gestaltete sich die Revision des Materials Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) als sehr kompliziert und nicht vollständig möglich. Von einem klinischen intraoralen Gebrauch sollte daher Abstand genommen werden.

## 7. Zusammenfassung

Ein permanenter vollständiger und bakteriendichter Verschluss des Wurzelkanals ist ein wichtiges Ziel in der Endodontie. Durch Materialien die dies dauerhaft zuverlässig bewerkstelligen, kann die Misserfolgsrate nach endodontischer Therapie deutlich gesenkt werden. Ziel dieser Studie war es den Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) auf seine Eignung als Sealer für die orthograde Wurzelkanalfüllung zu testen.

Der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland), ein autopolymerisierendes Zweikomponentenmaterial auf Harz-Komposit-Basis, wurde in 2 Chargen getestet und gegen eine im konventionellen Wurzelfüllverfahren gefüllte Kontrollgruppe verglichen. [41]

Alle Zähne wurden vor der Wurzelfüllung aufbereitet und mittels Nd:YAG- Laser bearbeitet. Bei der laserunterstützten Konditionierung der Wurzeloberfläche wurde im Rasterelektronenmikroskop eine zwischen 95-99%ige gereinigte und keimreduzierte Oberfläche nachgewiesen.

Nach dieser Vorbehandlung erfolgte die Wurzelfüllung in den Gruppen mit den 3 Materialien im Sinne eines Sealers und Guttapercha als festen Kernwerkstoff. Charge A des Werkstoffs Biocems (GDF, Rosbach, Deutschland) war ein visköses Flowable und ließ sich nur mühsam in die Wurzelkanallumen einbringen. Eine direkte Applikation war nicht möglich und so wurde der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) nach dem Anmischen direkt auf den Guttaperchapoint gegeben und damit in den Wurzelkanal appliziert.

Die Firma GDF (Rosbach) stellte daraufhin eine niedrigvisköse Charge B bereit, die durch einen geringeren Füllkörpergehalt leichtfließender war und mittels Doppelmischspritze und entsprechender Aufsätze direkt in den Wurzelkanal appliziert werden konnte. Der Guttaperchastift wurde im Anschluss in den biocemgefüllten Wurzelkanal eingebracht, in der Versuchsgruppe I.1. im Einzelstiftverfahren und in der Gruppe I.2. mittels lateraler Kondensation (Mehrstifttechnik).

Bei der Kontrollgruppe wurde die konventionelle und in der Zahnmedizin bewährte Materialkombination Guttapercha und AH Plus, die als Goldstandart gilt und wiederholt in Studien erfolgreich getestet wurde, verwendet. [14, 28, 43, 79, 80, 124, 139] Damit konnte sichergestellt werden einen relativ sicheren und aussagekräftigen Vergleich untereinander zu erhalten.

Die Resultate der Charge A des Werkstoffs Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) waren durchgehend unbefriedigend. Es waren schon makroskopisch unzureichend gefüllte Areale erkennbar. Dieses Bild konnte mikroskopisch durch massive Blasenbildung und poröse Anteile bestätigt werden. Im Farbstoffpenetrationstest waren nur 3% der Probenanteile suffizient gefüllt und ohne Farbumschlag.

Bei der Charge B konnte bei der Verwendung der Einstiftmethode ebenfalls keine suffiziente Wurzelfüllung erreicht werden. Besser waren die Ergebnisse bei der lateralen Kondensation. Hier konnten in 83% vollständig gefüllte Wurzelkanäle ohne Porositäten oder Luftblasennachgewiesen werden.

Die Kontrollgruppe schnitt mit 90% suffizienter Wurzelfüllungen am besten ab.

Diese in vitro-Studie ermittelte, dass der Werkstoff Biocem (GDF, Rosbach, Deutschland) der Charge A gänzlich ungeeignet für die klinische Praxis ist. Sowohl Handhabung als auch die Qualität der Wurzelfüllung konnten nicht überzeugen. Das Material der Charge B ist besser geeignet, da es sich behandlerfreundlich direkt in den Wurzelkanal applizieren lässt und in der Gruppe I.2. an die Dichtigkeitswerte der konventionellen Wurzelfüllung heran reicht. Als nachteilig ist jedoch mangelhafte Revisionsfähigkeit anzumerken. Daher ist auch die Charge B nicht für die klinische Praxis zu befürworten.

## 8. Literaturverzeichnis

1. ABOU-RASS M, FRANK A L, GLICK D H: *The anticurvature filing method to prepare the curved root canal.* J Am Dent Assoc 110, 1980, 792
2. ABOU-RASS M, OGLESBY S: *The effects of temperature, concentration and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite.* J Endod, 7, 1981, 376,
3. ABOU-RASS M, PICCININO M V: *The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris.* Oral Surg Oral Med Path 54, 1982, 323-328
4. ACKERMANN K: *Neodym-YAG-Laser in der Zahnmedizin.* Münch Med Wochenschr 126, 1984, 1119-1121
5. AHLBERG K, ASSAVANOP P, TAY W: *A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and India ink in root-filled teeth.* Int Endod J, 1995, 30-34,
6. AHMAD M, PITT FORD T, CRUM L: *Ultrasonic debridement of root canals: an insight into into the mechanism involved.* J Endod, 13, 1987, 93
7. AL-DEWANI N, HAYES S J, DUMMER P M H: *Comparison of laterally condensed and low-temperature thermoplasticized guttapercha root fillings.* J Endod, 26, 2000, 733
8. AL-KHATAR N, KUNZELMANN K-H, HICKEL R: *Dichtigkeit und Wandständigkeit verschiedener endodontischer Sealer in schmierschichtfreien Wurzelkanälen.* Dtsch Zahnärztl Z, 54, 1999, 479
9. ANDO N, HOSHINO E: *Predominant obligate anaerobes invading the deep layers of root canal dentin.* Int Endod J, 23, 1990, 20-27
10. ANIC I, TACHIBANA H, MATSUMOTO K, QI P: *Permeability, morphologie and temperature changes of chanal dentine walls induced by Nd:YAG-, CO<sub>2</sub>- and argon-lasers.* Int Endod J, 29, 1996, 13-22
11. AZAM KHAN M, FAZLUR RHAMAN KHAN M, WAHIDUZZAMAN M, WAKABAYASHI H, MATSUMOTO K: *Effects of Laser treatment on the root canal of human teeth.* Endod Dent Traumatol, 13, 1997, 139-145
12. BAKER N A, ELEAZER P D, AUERBACH R E, SELTZER S: *Scanning electron microscopical study of the efficacy of various irrigation solutions.* J Endod, 1, 1975, 127
13. BARTHEL C R, GRUBER S, ROULET J-F: *Aufbereitung von Wurzelkanälen mit drei verschiedenen Aufbereitungssystemen in vitro.* Dtsch Zahnärztl Z, 54, 1999, 474
14. BARTHEL C R, NOACK M J, ROULET J-F: *Die Dichtigkeit von KetacEndo und AH26 in Abhängigkeit der Wurzelfülltechnik in vitro.* Dtsch Zahnärztl Z, 49, 1994, 285

15. BEATTY G, BAKER P S, HADDIX J, HART F: *The efficacy of four root canal obturation techniques in preventing apical dye penetration*. JADA, 1989, 119
16. BEER R, BAUMANN M, KIELBASSA A: *Taschenatlas der Endodontie*. Thieme Verlag, Stuttgart, 2004
17. BEER R, EGGERATH J: *Dynamisches Frakturverhalten maschineller Instrumente in gekrümmten Wurzelkanälen*. ZWR, Thieme Verlag, 12, 2004, 549-552
18. BEER R, KUGLER S, WITTEN: *Wurzelkanalaufbereitung mit NiTi-Feilen in der Abhängigkeit von der Behandlungserfahrung*. ZWR, Thieme Verlag, 12, 2004, 561-568
19. BRÄNNSTROEM M: *Smearlayer pathological and treatment considerations*. Oper Dent, 3, 1984, 35-42
20. BRAUN A, SCHÜTTLÖFFEL E, FRENTZEN M: *Histologische Untersuchung des Wurzelkanals nach Aufbereitung mit rotierenden NiTi-Systemen*. Dtsch Zahnärztl. Z, 58, 2003, 46-49
21. BÜRGER F: *Handbuch für die klinische Anwendung des Nd:YAG-Lasers EN060*. UZV, Frankfurt am Main, 1996
22. BÜRGER F.: *Der Nd:YAG-Laser in der Endodontie*. Laser J, 2, 1999, S.14-17
23. CLARK-KOLKE D, DRAKE D R, WALTON R, RIVERA E M, GUTHMILLER J M: *Bacterial penetration through canals of endodontically treated in the presence or absence of the smear layer*. J Dent Res, 31, 2003, 275-281
24. CLAUDER Th: *Shaping mit dem ProTaper-System*. ZWR, 4, 2003, 153-158
25. COHEN S, BURNS R C *Pathway of the pulp*. Mosby, St. Louis, Baltimore, Boston, 6.Aufl., 1994
26. CUNNINGHAM W, MARTIN H, FORREST W: *Evaluation of root canal debridement by the endosonic ultrasonic synergistic system*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 53, 1980, 175
27. D'ARCANGELO C, VARVARA G, DE FAZIO P: *An evaluation of the action of different root canal irrigants on facultative aerobic-anaerobic, obligate anaerobic and microaerophilic bacteria*. J Endod, 25, 1999, 351
28. DE ALMEIDA W A, LEONARDO M R, TANOMARU FILHO M, SILVA S A: *Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers*. Int Endod J, 33, 2000, 25
29. DEDERICH D, ZAKARIASEN K, TULIP J: *Scanning electron microscopic analysis of root canal wall denting following Nd:YAG-Laser irradiation*. J Endod, 10, 1984, 428,
30. DEDERICH D, ZAKARIASEN K, TULIP J: *An in-vitro quantitative analysis of changes in root canal wall dentinto pulsed Nd:YAG-Laser irradiation*. Laser Life Sci, 2, 1988, 39-51
31. DE GEE A J, WU M K, WESSELINK P R: *Sealing properties of KetacEndo glass ionomer cement and AH 26 root canal sealer*. Int Endod J, 27, 1994, 239

32. DE MOORE R J, DE BRUYNE M A: *The long-term sealing ability of Ah 26 and AH Plus used with three gutta-percha obturation techniques*. Quintessence Int, 35, 2004, 326
33. DIETZ g: *Moderne Endodontie in der täglichen Praxis*. Hüthig Verlag, Heidelberg, 1986
34. EIFINGER F F: *Klinische experimentelle Untersuchungen zur Aufbereitung des Wurzelkanals*. Schweiz Monatsschr Zahnheilk, 93, 1983, 100
35. EUROPEAN SOCIETY OF ENDODONTOLOGY (ESE): *Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlungen*. Endod, 3, 1994, 263
36. FACER S R, WALTON R E: *Intracanal distribution patterns of sealers after lateral condensation*. J Endod, 29, 2003, 832
37. FORSTER E, ROBINSON P: *The incidence and distribution of branched pulpal axons in the adult ferret*. Arch Oral Biol, 38, 1993, 965-970
38. FRIEDMANN M, SANDRIK J L, HEUER M A, RAPP G P: *Composition and mechanical properties of guttapercha endodontic points*. J Dent Res, 54, 1975, 921
39. FRENTZEN M: *Laser weltweit ein Forschungsthema*. zm, 1, 2005 , 44-45,
40. FRENTZEN M, SCHMITT U, BRAUN A: *Dimensionsstabilität von Guttaperchastiften bei unterschiedlichen Desinfektionsmaßnahmen*. ZWR, 3, 2004, 73-80,
41. GDF: *Rohstoffzusammensetzung von Biocem*. GDF, Produktinformation, 2001
42. GETTLEMAN B H, MESSER H H, ELDEEB M E: *Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smearlayer*. J Endod, 17, 1991, 15-20
43. GENCOGLU N, GARIP Y, BAS M, SAMANI S: *Comparison of different gutta-percha root canal filling techniques: Thermafil, Quick-Fill, System B, and lateral condensation*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 93, 2002, 333
44. GROSSMAN L I: *Root canal therapy*. Lea & Felbinger, Philadelphia, 1940, 189
45. GORDON T, DAMATO D, CHRISTENER P: *Solvent effect of various dilutions of sodium hypochlorite on vital and necrotic tissue*. J. Endod, 7, 1981, 466ff
46. GULDENER P, LANGELAND K: *Endodontologie*. Thieme Verlag, Stuttgart, 1987, 2. Auflage
47. GULDENER P, LANGELAND K: *Endodontologie*. Thieme Verlag, Stuttgart, 1987, 3. Auflage
48. GULDENER P, ROCKE H: *Mechanisch und ultraschallbetriebene Wurzelkanalaufbereitung*. ZWR, 96, 1987, 557-564

49. GUTIERREZ J H, JOFRE A, VILLENA F: *Scanning electron microscopic study on the action of endodontic irrigants on bacteria invading the dentinal tubules*. Oral Surg Oral Med Oral Path, 69, 1990, 491
50. GUTKNECHT N, BEHRENS V: *Die Bearbeitung der Wurzelkanalwände mit dem Nd:YAG-Laser*. ZWR, 100, 1991, 748-755
51. GUTKNECHT N: *Bactericidal effect of the Nd:YAG-Laser in vitro root canals*. J Clin Med Surg, 14/2, 1996, 77-80
52. HAIKEL Y, ALLEMANN C: *Effectiveness of four methods for preparing root canals: a scanning electron microscopic evaluation*. J Endod, 14, 1988, 340
53. HARRIS G, DICKEY D, LEMON R: *Apical seal: McSpadden vs. lateral condensation*. J Endod, 8, 1982, 273ff
54. HEIDEMANN D: *Endodontie – Praxis der Zahnheilkunde*. Urban und Fischer, München/Jena, 2001, 4. Auflage
55. HELLWIG, KLIMEK, ATTIN: *Einführung in die Zahnerhaltung*. Urban und Fischer, München/Jena, 1999
56. HERGOVITS A: *Aufarbeitung und Analyse der Arbeiten von Walter Hess zur Pulpa- und Wurzelbehandlung*. Dissertation, 1992
57. HOFFMANN-AXTHELM W: *Die Geschichte der Zahnheilkunde*. Buch- und Zeitschr-Verlag „Die Quintessenz“, Berlin, 1973
58. HOLOCOMB J Q, PITTS D L, NICHOLLS J I: *Further investigation of spreader loads required to cause vertical root canal fractures during lateral condensation*. J Endod, 13, 1987, 277
59. HORIBA N, MAEKAWA Y, MATSUMOTO T, NAKAMURA H: *A study of the distribution of endotoxin in the dentinal wall of infected root canals*. J Endod, 16, 1990, 331-334
60. HÜLSMANN M: *Endodontie*. Dissertation, 1988
61. HÜLSMANN M: *Die Wurzelkanalfüllung: Materialien und Techniken*. Zahnärztl Mitt, 81, 1991, 872
62. HÜLSMANN M: *Guttapercha – Geschichte, Chemie, Eigenschaften und Verarbeitung*. Endod, 2, 1993, 115
63. HÜLSMANN M: *Die Wurzelkanalspülung – Ziele, Mittel, Techniken*. Endod, 1, 1997, 47-62
64. HÜLSMANN M, BERTZBACH F: *Die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit Handinstrumenten und maschineller Aufbereitungshilfen*. Dtsch Zahnärztl Z, 44, 1989, 448
65. HÜLSMANN M, VERSÜMER J: *Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten – eine Übersicht der aktuellen Literatur*. Dtsch Zahnärztkalender, Hanser, München, 1998, 165-167

66. ILGENSTEIN B, RAVEH J, STICH H, BERTHOLD H: *Biocem- ein neues Material zur retrograden Wurzelfüllung*. Schweiz Monatsschr Zahnmed, 105, 1995, 1015-1022,
67. ISHLEY D J, ELDEEB M E: *An in vitro assesement of the quality of apical seal of thermomechanically obturated canals with and without sealer*. J Endod, 9, 1983, 242
68. KELLER D: *Untersuchungen zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses nach dem Aufhellungsverfahren*. Schweiz Monatsschr Zahnheilk, 38, 1928, 635
69. KELLER U: *Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Laser in der Zahnheilkunde*. BZB, 11, 2004, 32-34
70. KERSTEN H W, MOORER W R: *Particles and molekules in endodontic leakage*. Int Endod J, 22, 1989, 118-124
71. KOCKAPAN C: *Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung – eine Übersicht*. Endod, 4, 1995, 33ff
72. KOCKAPAN C: *Endodontie*. Lehmanns, Giessen, 1994
73. KRÖNCKE A: *Die Aufbereitung des Wurzelkanals als Voraussetzung für die Applikation des Füllmaterials*. Dtsch Zahnärztl Z, 36, 1981, 201
74. KUTTLER Y: *Analysis and comparison of root canal filling techniques*. Oral Surg Oral Med Oral Path, 48, 1979, 153
75. LANGELAND K, RODRIGUES H, DOWDEN W: *Periodontal disease, bacteria and pulpa histopathology*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 37, 1974, 257
76. LEVY G: *Wurzelkanalbehandlung mit dem Nd:YAG-Laser – eine vergleichende Studie*. ZWR, 1, 1994, 40-43
77. LEVY G: *Gepulste Nd:YAG-Laser: Thermoefekte in der Endodontie*. Philip J, 11, 1994, 223-225
78. LIM S, STOCK C: *The risk of perforation in the curved canal: anticurvature filing compared with the stepback technique*. Int Endod J, 20, 1987, 33-39
79. LIMKANGWALMONGKOL S, ABBOTT P V, SANDLER A B: *Apical dye penetration with four root canal sealers and guttapercha using longitudinal sectioning*. J Endod, 18, 1992, 535
80. LIMKANGWALMONGKOL S, BURTSCHER P, ABBOTT P V, SANDLER A B, BISHOP B M: *A comparative study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally-condensed guttapercha*. J Endod, 17, 1991, 495
81. LINKE, CHOHAYEB: *Effective surface sterilization of gutta-percha points*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 55, 1983, 73-77
82. LÖST C: *Endodontologie in Deutschland - Status quo und Perspektiven*. zm, 3, 2005, 42-44

83. LÖST C: *Konservativ- und chirurgisch-endodontische Versorgung einer Oberkieferfront.* zm, 3, 2005, 52-61
84. LUSSI A: *Die Reinigung und Obturation des Wurzelkanalsystems ohne konventionelle Instrumente.* Dtsch Zahnärztl. Z, 55, 2000, 527-533
85. LUSSI A, IMWINKELRIED S, STICH H: *Obturation of root canals with different sealers using non-instrumentation technology.* Int Endod J, 32, 1999, 17-23
86. MADER C, BAUMGARTNER J, PETERS D: *Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls.* J Endod, 10, 1984, 477-483
87. MARTIN, CUNNINGHAM: *The effect of endosonic and hand manipulation on the amount of root canal material extruded.* Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 53, 1982, 611,
88. MARTIN, CUNNINGHAM: *Endosonics: the ultrasonic synergistic system of endodontics.* Endod dent Traumatol, 1, 1985, 201
89. Mc COMB D, SMITH D: *A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures.* J Endod, 1, 1975, 238-242,
90. MEHL A, FOLWACZNY M: *Einsatz des Er:YAG-Lasers bei der Wurzelbehandlung.* Laser J, 2, 1999, 18-22
91. MEYER W: *Die Anatomie der Wurzelkanäle.* Dtsch Zahnärztl Prax, 40, 1959, 290
92. MILAS V B: *History.* In: *pathways of the pulp.* Hrsg. v. Cohen S., Burns R.C., C.V. Mosby, St. Louis, 1987, 619-634, 4.Auflage
93. MILETIĆ I, PRPIĆ-MEHIĆIĆ G, MARŠAN T, TAMBIĆ-ANDREAŠEVIĆ A, PLEŠKO S, KARLOVIĆ ANIĆ I: *Bacterial and fungal microleakage of AH26 and AHPlus root canal sealers.* Int Endod J, 35, 2002, 428-432
94. MONTGOMERY S: *Chemical decontamination of gutta-percha cones with polyvinylpyrrolidoneiodine.* Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 31, 1971, 258-266
95. MORSE D: *Microbiology and pharmacology.* Pathway of the pulp, 4<sup>th</sup> ed., Mosby, 1987
96. NEWMAN J, BRANTLEY W: *A study of the cutting efficiency of seven brands of endodontic files in linear motion.* J Endod, 9, 1983, 316ff
97. NOLDEN R: *Zahnerhaltungskunde.* Thieme Verlag, Stuttgart, 1994
98. PANNEN E D: *Laserassistierte Endodontie – eine in-vitro-Studie.* Dissertation, 2000
99. PASCON E A, SPANBERG L S W: *In vitro cytotoxicity of root canal filling material. 1. Gutta-percha.* J Endod, 16, 1990, 429
100. PETSCHERT A, OBERSCHACHTSIEK H: *Über die Schmierschicht ("smear-layer") nach der Wurzelkanalaufbereitung (REM-Untersuchung).* Dtsch Zahnärztl Z, 40, 1985, 845-849

101. PETSCHOLT A, OBERSCHACHTSIEK H: *Wandständigkeit verschiedener Wurzelfüllmaterialien bei Zentralstifttechnik (REM-Untersuchung)*. Dtsch Zahnärztl Z, 40, 1985, 308
102. PETSCHOLT A, STUMPF B, RAAB W: *Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit und ohne Schmierschicht („smear-layer“)*. Dtsch Zahnärztl Z, 42, 1987, 743-746
103. POERTZL, PETSCHOLT: *Bacteria in the root canal wall of gangrenous pulp*. Dtsch Zahnärztl. Z, 41, 1986, 772-777
104. RIETHE P, RAU G: *Farbatlanten der Zahnmedizin 6, Kariesprophylaxe und konservierende Therapie*. Thieme Verlag, Stuttgart, 1988
105. ROGGE S, SCHULTE MÖNTING J, KIELBASSA A: *Die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen nach Anwendung von drei verschiedenen Dentinhaftvermittlern*. Dtsch Zahnärztl. Z, 58, 2003, 64-69
106. ROGGENDORF M: *Wurzelkanalfüllmaterialien up-to-date*. BZB, 9, 2004, 32-34,
107. SAUERWEIN E: *Zahnerhaltungskunde*. Thieme Verlag, Stuttgart, 1985
108. SCHAWALDER P: *Biozement- Eigenschaften und Verhalten nach intraossärer Implantation im Tierversuch und klinische Verwendbarkeit*. Swiss Vet, 6, 1984, 9-19
109. SCHÄFER E: *Root canal instruments for manual use: a review*. Endod Dent Traumatol, 13, 1997, 51
110. SCHÄFER E: *Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz: Schneidleistung und Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte*. Quintessenz, Berlin 1998
111. SCHÄFER E, ZAPKE K: *Vergleichende rasterelektronenmikroskopische Untersuchung manuell und maschinell aufbereiteter Wurzelkanäle*. Dtsch Zahnärztl Z, 54, 1999, 551
112. SCHÄFER E: *Wurzelkanalaufbereitung*. Dtsch Zahnärztl. Z, 55, 2000, 730-737
113. SCHILDER, H: *Canal debridement and disinfection*. Pathway of the pulp, 4<sup>th</sup> ed. Mosby, 1987
114. SCHRÖDER A: *Mitteilungen über die Abschlußdichtigkeit von Wurzelfüllmaterialien und erster Hinweis auf ein neuartiges Wurzelfüllmittel*. Schweiz Monatsschr Zahnheilkd, 64, 1954, 921
115. SCHRÖDER A: *Endodontie, Ein Leitfaden für Studium und Praxis*. Buch- und Zeitschr-Verlag „Die Quintessenz“, Berlin, 1977
116. SEDLAK D: *Temperaturveränderungen im periapikalen Gewebe beim Einsatz des Lasers in der Endodontie*. Dissertation, 1999
117. SELTZER S: *Endodontology, Biologic Consideration in Endodontic Procedures*, 2<sup>nd</sup> ed. Lea & Febinger, Philadelphia, 1988, 365
118. Semmelweis: *Die Ätiologie, der Begriff und die Prophylaxe des Kindbettfiebers*. 1861

119. SEN B H, WESSELINK P R, TÜRKÜN M: *The smear layer: a phenomenon in root canal therapy*. Int Endod J, 28, 1995, 141-148
120. SENIA, MARSHALL, ROSEN: *The solvent action of sodium hypochlorite and pulp tissue of extracted teeth*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 63, 1971, 96
121. SHILLINGBURG H T, KESSLER J: *Restauration von wurzelbehandelten Zähnen*. Buch- und Zeitschr-Verlag „Die Quintessenz“, Berlin, 1982
122. SJÖGREN U, FIGDOR D, PERSSON S, SUNDQUIST G: *Influence of infection at the time of root filing on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis*. Int Endod J, 30, 1997, 297
123. SLAUS G, VANDEWIJNGAERT S, BOTTENBERG P: *Qualitätskontrolle von Wurzelkanalfüllungen. Eine in vitro-Studie*. Dtsch Zahnärztl Z, 56, 2001, 177
124. STELLUNGNAHME DER DGZMK/DGZ: *Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte, Wurzelkanalaufbereitung*. Dtsch Zahnärztl Z, 55, 2000, 9
125. STELLUNGNAHME DER KZBV
126. SONNTAG D, KOOK K, STOLL R, STACHNISS V: *Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit NiTi-Feilen im Phantomkurs für Zahnerhaltung*. Dtsch Zahnärztl. Z, 58, 2003, 233-237
127. SPANBERG, ENGSTRÖM, LANGELAND: *Biologic effects of dental materials: toxicity and anti-microbial effect on endodontic antiseptics in vitro*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 36, 1987, 366ff
128. STÄDLER P, KQIKU L, WEIGLEIN A: *Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung mit unterschiedlichen Obturationsmethoden*. Dtsch Zahnärztl. Z, 7, 2004, 393-397
129. SZEP, KESSLER, MAY, LANGNER, GERHARDT, SCHRIEVER, BECKER, HEIDEMANN: *Haftkraft und Randschlussverhalten moderner Dentinhaftvermittlersysteme bei simuliertem Liquordruck in vitro*. Dtsch Zahnärztl. Z, 56, 2001, 532-537
130. TAGGER M, TAMSE A, KATZ A: *An improved method of three dimensional study of apical leakage*. Quint Int, 10, 1983, 981
131. TEKYATAN H, WILLERSHAUSEN B, WEIßENSTEIN G, BRISENO B: *Umfrage zu Endodontiemaßnahmen und definitiven Rekonstruktionen in deutschen Zahnarztpraxen*. Dtsch Zahnärztl. Z, 5, 2004, 264-269
132. TEPEL J: *Experimentelle Untersuchungen zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung*. Dtsch Zahnärztl Z, 53, 1998, 101
133. THODEN VAN VELZEN S K, GENET J M, KERSTEN H W, MOORER W R, WESSELINK P R: *Endodontie*. Deutscher Ärzte Verlag, Köln, 1988
134. THOMA M: *Endo-Revision - ganz einfach*. BZB, 9, 2004, 47-48
135. UNVERDORM D, PETSCHOLT A, HICKEL R: *Dichte von Wurzelkanalfüllungen – Vergleich bewährter und neuer Techniken*. Dtsch Zahnärztl Z, 47, 1992, 486

137. VOß, HEIDEMANN, RAAB, SCHÄFER, TETSCHERT, WEIGER, HÜLSMANN: *Die Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge*. zm, 23, 2004, 49
138. WEBER Th: *Memorix Zahnmedizin*. Thieme, Stuttgart, 1999
139. WENNBERG A; ORSTAVIK A: *Adhesion of root canal sealers to bovine dentine and gutta-percha*. Int Endod J, 23, 1990, 13
140. WESSELINK P R: *Conventional root canal therapy, III: root filling*. Endod in clinical practice (ed: Harty F.J.) Wright, Sevenoaks, 1990
141. WESSELINK P R: *Die Wurzelkanalfüllung (I)*. Endodontie, 4, 1995, 181
142. WHITE R R, Goldman M, LIN P S: *The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by plastic filling materials*. J Endod, 10, 1984, 558-562
143. WHITE R R, GOLDMANN M, LIN P S: *The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by endodontic filling materials. Part II*.
144. WU M, KONTAKTIOTIS E G, WESSELINK P R: *Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance*. Int Endod J, 26, 1993, 37
145. YOUNIS O, HEMBREE J H: *Leakage of different root canal sealants*. Oral Surg Oral Med Oral Path, 41, 1976, 777

## 9. Anhang

### 9.1. Tabelle der Einzelmessungen

Nr	Gruppe	Material	Technik	Charge	Ergebniss	Farbstoff- penetration	Farbstoff- penetration
						Biocem/Dentin	Gutta/Biocem
1	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	3	1	2
2	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	2	1
3	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	3	3
4	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	3	2	3
5	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	2	1	0
6	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	2	2	2
7	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	1	2
8	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	2	4
9	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	2	1	3
10	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	2	1
11	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	4	3
12	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	2	3
13	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	1	2
14	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	2	1	1
15	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	1	2	4
16	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	2	2
17	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	3	3
18	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	3	2	1
19	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	2	1	1
20	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	1	4
21	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	3	3	4
22	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	1	2
23	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	4	3
24	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	2	2	4
25	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	2	1	1
26	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	2	2
27	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	2	2	3
28	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	2	4
29	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	1	2
30	I.1.	Laser + Biocem	single cone	Charge A	4	3	4
31	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	2	1	0
32	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	3	1	2
33	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	1	0	1
34	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	2	1	1
35	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	1	1	0
36	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	3	1	0
37	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	3	2	2
38	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	4	2	3
39	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	1	1	1
40	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	2	0	2
41	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	1	1	0
42	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	4	3	2
43	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	1	2	3
44	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	2	2	2
45	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	3	1	3
46	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	1	0	1
47	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	3	2	1
48	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	2	3	4
49	I.2.	Laser + Biocem	laterale Kond	Charge A	4	4	2

50	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	1	1	0
51	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	1	2	1
52	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	4	2	1
53	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	1	1	1
54	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	3	2	2
55	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	2	1	3
56	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	1	2	1
57	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	4	1	2
58	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	3	3	3
59	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	3	1	1
60	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge A	1	2	2
61	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	4	1
62	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	1	1
63	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	2	4
64	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	2	3
65	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	4	1	1
66	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	2	2
67	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	1	3	2
68	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	1	3
69	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	1	4
70	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	2	1
71	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	1	2
72	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	2	2
73	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	4	1	4
74	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	2	2
75	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	3	3
76	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	4	2	1
77	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	1	4
78	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	1	2
79	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	4	2	1
80	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	1	2	3
81	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	2	2
82	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	1	3
83	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	1	2
84	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	0	1
85	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	2	2
86	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	1	1
87	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	4	2	2
88	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	2	2	4
89	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	1	1
90	I.1.	Laser + Biocem single cone	Charge B	3	3	2
91	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	1
92	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0
93	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	2	1	1
94	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	1
95	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0
96	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0
97	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	1
98	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	2	2	0
99	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	3	1
100	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0
101	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0
102	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0
103	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	2	1	1
104	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	3	1	1
105	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	1
106	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0
107	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	1

108	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0	
109	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0	
110	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0	
111	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	1	
112	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	1	0	
113	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	1	
114	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0	
115	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	3	0	2	
116	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	1	
117	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0	
118	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	2	0	
119	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	1	
120	I.2.	Laser + Biocem laterale Kond	Charge B	1	0	0	
					<b>Farbstoff- penetration Sealapex/</b>	<b>Farbstoff- penetration Gutta/ Sealapex</b>	
	<b>Grup- pe</b>	<b>Technik</b>	<b>Art</b>	<b>Material</b>	<b>Ergebniss Dentin</b>		
121	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	1	0
122	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
123	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
124	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
125	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
126	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	1	1
127	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
128	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	1
129	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	2
130	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
131	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
132	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
133	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
134	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	2	2	2
135	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	1
136	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
137	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
138	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	2	0	1
139	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	1
140	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
141	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
142	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	1	1
143	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	1	1

144	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	2	0
145	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
146	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	2
147	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	0
148	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	1	0	1
149	II.	konventionell	laterale Kond	Gutta + Sealapex	2	1	3
150	II.	konventionell	laterale Kond	Sealapex	1	0	0

### **Auswertungsschlüssel:**

Für die Qualität der Wurzelkanalfüllung

- 1- suffiziente Wurzelkanalfüllung in allen Bereichen, keine Mängel feststellbar
- 2- Wurzelfüllung weist in einem oder mehreren Abschnitten Luftblasen auf
- 3- Wurzelfüllung weist in einem oder mehreren Abschnitten Porositäten bzw. Inhomogenitäten auf
- 4- Wurzelfüllung insuffizient, sowohl Luftblasen als auch Porositäten nachweisbar

Für die Farbstoffpenetration

- 0- keine Farbstoffpenetration
- 1- Farbstoffpenetration bis 1,0mm
- 2- Farbstoffpenetration bis 2,3mm
- 3- Farbstoffpenetration bis 3,6mm
- 4- Farbstoffpenetration bis 4,9mm
- 5- Farbstoffpenetration bis 6,2mm

## 9.2. Danksagung

Die Erstellung der vorliegenden Arbeit war mir in diesem Umfang nur durch die Unterstützung vieler Menschen möglich, für deren Hilfe ich mich an dieser Stelle bedanken möchte. Es waren oft die kleinen Dinge, die Großes bewirkten.

Mein Dank geht an Herrn Professor Dr. Chr. Benz für die freundliche Überlassung des Themas sowie für die Unterstützung und Beratung bei der Fertigstellung meiner Arbeit.

Mein ganz besonderer Dank gilt daneben Herrn Dr. C. Haffner für die langjährige Unterstützung, die Geduld und die Anregungen beim Verfassen dieser Arbeit.

Bei der Firma GDF bedanke ich mich für die Bereitstellung der zu untersuchenden Materialien.

Abschließend noch ein spezieller Dank an meine Familie und alle die mich auf dem Weg begleitet haben, mir auch in kritischen Situationen immer wieder Mut gemacht haben sowie in meinen Auslandseinsätzen das Equipment, die Zeit und die Motivation lieferten - hier ist im speziellen mein Lebensgefährte hervorzuheben, seine moralische Unterstützung, die kritischen Nachfragen und das unermüdliche Antreiben waren stets das Zünglein an der Waage das mich weitermachen lies.

## Eidesstattliche Versicherung

**Freimann, Anja**

---

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

**Einsatz und Bewertung eines Wurzelfüllmaterials auf Harz-Komposit-Basis nach herkömmlicher sowie minimal-invasiver Wurzelkanaltherapie und unterstützendem Einsatz des Nd:YAG-Lasers**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

**München, den 28.04.2014**

---

Ort, Datum

**A. Freimann**

---

Unterschrift Doktorandin/Doktorand