

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Endodontologie  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Komm. Direktorin Prof. Dr. med. dent. Michelle A. Ommerborn

Effektivität verschiedener endodontischer Spül- und  
Reinigungssysteme (EndoActivator<sup>®</sup>, EDDY<sup>®</sup>, PUI) auf die  
Entfernung von Debris und der Schmierschicht aus geraden  
Wurzelkanälen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin der Medizinischen  
Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Lena Reese

2020

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

gez.:

Dekan/in: Univ.-Prof. Dr. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Univ.-Prof. em. Dr. Wolfgang H.-M. Raab

Zweitgutachter/in: Prof. Dr. Alfons Hugger

Für meine Familie.

# Zusammenfassung

Die vollständige Entfernung von Debris und der Schmierschicht aus dem komplexen Wurzelkanalsystem ist bis zum heutigen Zeitpunkt nicht möglich. Jedoch besteht die Option, mit Hilfe verschiedener Spül- und Reinigungssysteme die Resultate des Spülprotokolls deutlich zu verbessern. Ziel der vorliegenden Studie war daher die Effektivität verschiedener Aktivierungssysteme (EDDY<sup>®</sup>, EndoActivator<sup>®</sup>, PUI) auf die Entfernung von Debris und der Schmierschicht aus dem Wurzelkanal zu untersuchen.

120 extrahierte einwurzelige Zähne wurden randomisiert in 2 Kontroll- und 5 experimentelle Gruppen eingeteilt. Unter möglichst einheitlichen Bedingungen wurden die Wurzelkanäle präpariert und einem standardisierten Spülprotokoll unterzogen. Entsprechend der Gruppenzugehörigkeit wurde die Spüllösung mit (1) EDDY<sup>®</sup>, (2) EndoActivator<sup>®</sup> 15/.02, (3) EndoActivator<sup>®</sup> 25/.04, (4) EndoActivator<sup>®</sup> 35/.04 oder (5) PUI aktiviert. Die Proben wurden anschließend longitudinal geteilt und die Wurzelkanalwände rasterelektronenmikroskopisch hinsichtlich Vorkommen von Debris und der Schmierschicht anhand eines 5-Punkte Systems bewertet. Die statistische Auswertung erfolgte mittels non-parametrischer Tests.

Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Verwendung von Aktivierungssystemen im Vergleich zur rein manuellen Spülung zu einer signifikanten Reduzierung von Debris und der Schmierschicht ( $p \leq 0,001$ ) führen. Innerhalb der Versuchsgruppen gab es, bezogen auf die Entfernung der Schmierschicht im Gegensatz zu der Entfernung von Debris ( $p = 0,158$ ), einen signifikanten Unterschied ( $p = 0,006$ ). EDDY<sup>®</sup> zeigte die beste Reinigungsleistung im Vergleich zum EndoActivator<sup>®</sup> ( $p = 0,006$ ) und zur PUI ( $p = 0,042$ ). Das apikale Wurzelkanaldrittel wurde in allen Versuchsgruppen signifikant schlechter gereinigt, wobei eine progrediente Abnahme von koronal nach apikal festzustellen war.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass endodontische Spül- und Reinigungssysteme eine sinnvolle Ergänzung zur chemomechanischen Präparation des Wurzelkanals darstellen und somit in das Standardbehandlungsprotokoll jeder endodontischen Behandlung aufgenommen werden sollten.

# Abstract

Removal of the smear layer is a prerequisite for endodontic therapy. Results can be considerably improved by using different activation systems during the rinsing process. The aim of the present study was to investigate the effectiveness of different endodontic activation systems on the removal of debris and the smear layer from straight root canals.

A total of 120 extracted single root teeth were randomly assigned into 2 control and 5 test groups. The root canals were subjected to a standardized preparation and rinsing protocol regimen. The rinsing solutions in the test groups were activated with (1) EDDY<sup>®</sup> (2) EndoActivator<sup>®</sup> 15/.02, (3) EndoActivator<sup>®</sup> 25/.04, (4) EndoActivator<sup>®</sup> 35/.04 or (5) PUI. The teeth were divided longitudinally and the root canal walls were evaluated for the occurrence of debris and smear layer by scanning electron microscopy and a 5-point scoring system.

Results of the study showed that the use of activation systems compared to purely manual irrigation leads to a significant reduction of debris ( $p=0.001$ ) and smear layer ( $p=0.000$ ). Within the test groups, there was a significant difference as far as the removal of the smear layer was concerned ( $p=0.006$ ). There was no significant difference with regards to the removal of debris ( $p=0.158$ ). EDDY<sup>®</sup> showed the best cleaning performance in comparison to the EndoActivator<sup>®</sup> ( $p=0.006$ ) and PUI ( $p=0.042$ ). Comparison between the different sizes of the EndoActivator<sup>®</sup> tips did not show any significant difference ( $p\geq 0.106$ ). Cleaning of the apical root canal third was significantly less effective than that of the middle and coronal third, with a significant progressive decrease from coronal to apical.

Complete removal of the smear layer and debris is unfeasible, especially in the apical third of the root canal. But the present study confirms that endodontic activation systems are of beneficial use to chemomechanical preparation of the root canal and should be included in the standard treatment regimen for endodontic treatment. EDDY<sup>®</sup> performed better than PUI and the EndoActivator<sup>®</sup>.

# Abkürzungsverzeichnis

<b>Abb.</b>	Abbildung
<b>ANP</b>	Apical Negative Pressure, Apikale Unterdruckspülsysteme
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>CHX</b>	Chlorhexamed
<b>EA1</b>	Gruppe - EndoActivator® Größe 15/.02
<b>EA2</b>	Gruppe - EndoActivator® Größe 25/.04
<b>EA3</b>	Gruppe - EndoActivator® Größe 35/.04
<b>EDY</b>	Gruppe - EDDY® Ansatz
<b>EDTA</b>	Ethylendiamintetraessigsäure
<b>kHz</b>	Kilohertz
<b>Mat.</b>	Material
<b>md.</b>	mesiodistal
<b>mL</b>	Milliliter
<b>mm</b>	Millimeter
<b>NaOCl</b>	Natriumhypochlorit
<b>NK</b>	Negativkontrolle
<b>ov</b>	orovestibulär
<b>PK</b>	Positivkontrolle
<b>PUI</b>	Passive Ultraschallaktivierung
<b>REM</b>	Rasterelektronenmikroskop
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscopy
<b>sec</b>	Sekunden
<b>U/min</b>	Umdrehungen pro Minute
<b>µm</b>	Mikrometer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bedeutung der Schmierschicht .....	3
1.1.1 Entstehung und Definition .....	3
1.1.2 Aufbau und Funktion .....	3
1.1.3 Auswirkung auf die endodontische Behandlung .....	6
1.2 Bedeutung von Debris .....	8
1.3 Debris- und Schmierschichtentfernung.....	9
1.3.1 Konventionelle Spülung .....	9
1.3.1.1 Natriumhypochlorit (NaOCl) .....	10
1.3.1.2 Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA).....	11
1.3.1.3 Chlorhexidin (CHX).....	12
1.3.1.4 Weitere Spüllösungen .....	14
1.3.1.5 Weitere Aspekte .....	15
1.3.2 Aktivierungsmethoden der Spülflüssigkeit.....	16
1.3.2.1 Passive Ultraschallaktivierung (PUI).....	17
1.3.2.2 Schallaktivierung .....	20
1.3.2.2.1 EndoActivator® .....	21
1.3.2.2.2 EDDY® .....	24
1.4 Zusammenfassung der Literaturübersicht .....	26
1.5 Ziele der Studie .....	27
<b>2 Material und Methoden</b> .....	<b>28</b>
2.1 Vorbereitung der Zähne.....	29
2.2 Einteilung der Versuchsgruppen.....	31
2.3 Versuchsdurchführung.....	31
2.3.1 Kürzung und Markierung der Wurzeldrittel .....	31
2.3.2 Präparation der Wurzelkanäle.....	33
2.3.3 Spülprotokoll und Aktivierung.....	35
2.3.4 Trennen der Zähne .....	39
2.4 Betrachtung im REM.....	41
2.5 Auswertung der Scans.....	43
2.6 Statistische Auswertung .....	44
<b>3 Ergebnisse</b> .....	<b>45</b>
3.1 Deskriptive Statistik .....	45
3.1.1 Schmierschicht.....	45
3.1.2 Debris.....	47
3.2 Negativkontrolle .....	48
3.3 Positivkontrolle .....	48
3.4 Vergleich - Ansatzgrößen EndoActivator® .....	49
3.5 Vergleich der Aktivierungsgruppen.....	50
3.6 Vergleich der Wurzeldrittel.....	51

<b>4 Diskussion .....</b>	<b>54</b>
4.1 Diskussion - Material und Methoden .....	54
4.1.1 Messung Wurzelkrümmung .....	54
4.1.2 Aufbereitung der Zähne .....	56
4.1.3 REM .....	60
4.1.4 Auswertung der Scans .....	61
4.1.5 Beispiel REM-Scans und Scoringsystem .....	63
4.2 Diskussion der Ergebnisse .....	72
4.2.1 Kontrollgruppen.....	72
4.2.2 Versuchsgruppen .....	75
4.2.3 Vergleich der Wurzeldrittel .....	80
4.2.4 Praktikabilität der Systeme.....	82
4.3 Schlussfolgerungen .....	83
<b>5 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>85</b>
<b>7 Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>92</b>
<b>8 Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>94</b>
<b>9 Diagrammverzeichnis .....</b>	<b>95</b>
<b>10 Anhang.....</b>	<b>96</b>

# 1 Einleitung

Der langfristige Zahnerhalt ist das ausdrückliche Ziel einer endodontischen Behandlung. Sie umfasst die Prävention, Diagnostik und Therapie von endodontischen und periapikalen Pathologien.

Das Ziel einer endodontischen Therapie ist zum einen, die möglichst vollständige chemomechanische Präparation und zum anderen, der anschließende suffiziente Verschluss des komplexen Wurzelkanalsystems. Eine erfolgreiche Durchführung der Behandlung ist dabei von verschiedenen Faktoren abhängig.

Vor Allem die mechanische Präparation des Wurzelkanalsystems als Voraussetzung für eine suffiziente chemische Desinfektion, stellt einen essentiellen Schritt der endodontischen Behandlung dar. Durch die mechanische Aufbereitung des Wurzelkanals entstehen jedoch Debris und eine, der Wurzelkanalwand anhaftende Schmierschicht, die auch als *smear layer* bezeichnet wird (Torabinejad et al., 2002). Sowohl Debris als auch die Schmierschicht reduzieren die Wirkung der Spüllösungen und können die Dichtigkeit der Wurzelfüllung negativ beeinflussen (Violich and Chandler, 2010). Insbesondere beim Vorherrschen einer chronischen apikalen Parodontitis begründet durch eine bakterielle Infektion rückt die Antisepsis, und speziell die Desinfektion des Wurzelkanalsystems, in den Fokus der Behandlung. Um eine für die Heilung ausreichende Bakterienreduktion zu erzielen, können verschiedenen Methoden angewandt werden.

Allen gemein, ist dabei die chemische Irrigation des Wurzelkanalsystems mittels verschiedener Spülflüssigkeiten, welche neben der Elimination des *smear layers* auch die Entfernung von Debris-Partikeln, Mikroorganismen und eventuellen medikamentösen Einlagen anstrebt.

Zur weiteren Verbesserung der Desinfektion wurden verschiedene Aktivierungsmethoden der Spülflüssigkeit entwickelt.

Die Passive Ultraschallaktivierung (PUI) ist eine seit langer Zeit angewandte und gut untersuchte Möglichkeit. Ihre verbesserte Reinigungsleistung im

Gegensatz zur Konventionellen Spülung ohne zusätzliche Aktivierung wurde häufig bewiesen. Als weitere Alternativen sind die Schallaktivierung, Apikale Unterdruckspülsysteme (ANP), die Laseraktivierung oder spezielle Bürsten und Feilen zu nennen.

Trotz aufwendiger und umfassender Forschung erscheint das Ziel, einer Asepsis im Wurzelkanal, jedoch weiterhin unmöglich.

Die Intention dieser Studie war es daher, verschiedene Aktivierungssysteme auf ihre Fähigkeit der Debris- und *smear layer* Entfernung hin zu untersuchen und folgend eine klinische Handlungsempfehlung geben zu können.

Verglichen wurden hierzu verschiedene bereits etablierter Systeme zu einem auf dem Markt neu erhältlichen System (EDDY®). Die Reinigungsleistung der einzelnen Systeme innerhalb der verschiedenen Wurzelkanalabschnitte wurde untersucht und zuletzt die verschiedenen Ansatzgrößen des Reinigungssystems EndoActivator® miteinander verglichen.

# 1.1 Bedeutung der Schmierschicht

## 1.1.1 Entstehung und Definition

Wann immer man Zahnhartgewebe mit Hand- oder rotierenden Instrumenten bearbeitet, bildet sich auf ihrer Oberfläche von Hartgewebe eine Art Schmierschicht aus (Pashley, 1992).

Die vorliegende Arbeit bezieht sich auf die Schmierschicht, die während der Wurzelkanalaufbereitung auf der Wurzelkanaloberfläche entsteht. Sie muss unterschieden werden von der Schmierschicht, die sich bei der koronalen Kavitätenpräparation oder dem Debridement von Wurzeloberflächen bildet.

Auch im deutschen Sprachgebrauch und in der deutschen Literatur wird häufig der englische Terminus *smear layer* verwendet.

Der *smear layer* setzt sich aus organischen und anorganischen Substanzen zusammen. Neben abgetragenem Dentin besteht er auch aus Fragmenten von Odontoblasten und deren Fortsätzen, pulpalem Gewebe, nekrotischem Material, Mikroorganismen und ihren Nebenprodukten (Torabinejad et al., 2002, Violich und Chandler, 2010).

Zuerst beschrieben und untersucht wurde der „*smear layer*“ im Wurzelkanal 1975 von McComb und Smith (McComb und Smith, 1975). Sie grenzten ihn erstmalig von deutlich größeren Debris-Partikeln ab, die der Kanalwand oberflächlich aufliegen. Seitdem ist der *smear layer* Gegenstand vieler Studien.

## 1.1.2 Aufbau und Funktion

Der *smear layer* ist entlang eines aufbereiteten Kanals zu finden und besteht aus zwei konfluierenden Komponenten (Mader et al., 1984, Cameron, 1983).

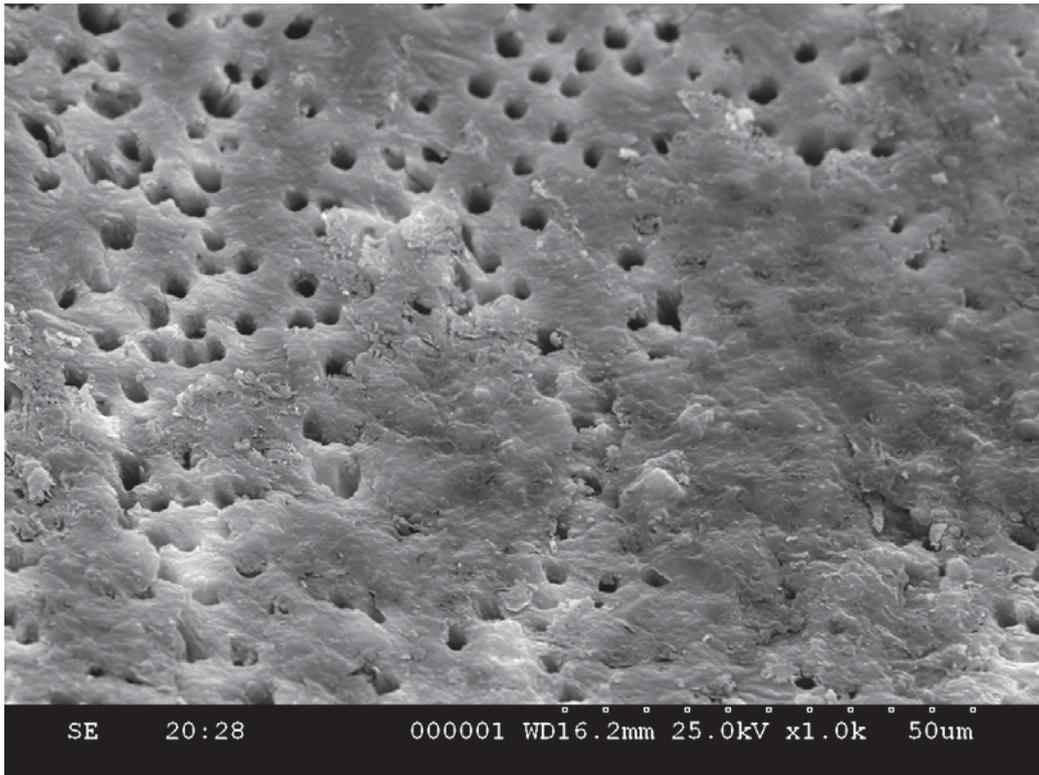
Die erste Komponente ist eine, der Kanalwand aufliegende, locker adhärente Schicht mit einer Dicke von ca. 1-2 Mikrometer (Pashley, 1992, Goldman et al., 1981, Mader et al., 1984). Die zweite Komponente befindet sich in den Dentintubuli bis zu einer Tiefe von bis zu 40 Mikrometer (Mader et al., 1984, Cameron, 1983). Dieses tubuläre „*packing*“-Phänomen ist dadurch

charakterisiert, dass sich das durch die Bearbeitung der Kanalwand mit der Feile abgetragene Material, in die Dentintubuli presst und dort segmentiert ansammelt (Mader et al., 1984). Dieses zweischichtige Erscheinungsbild ist typisch für den *smear layer*.

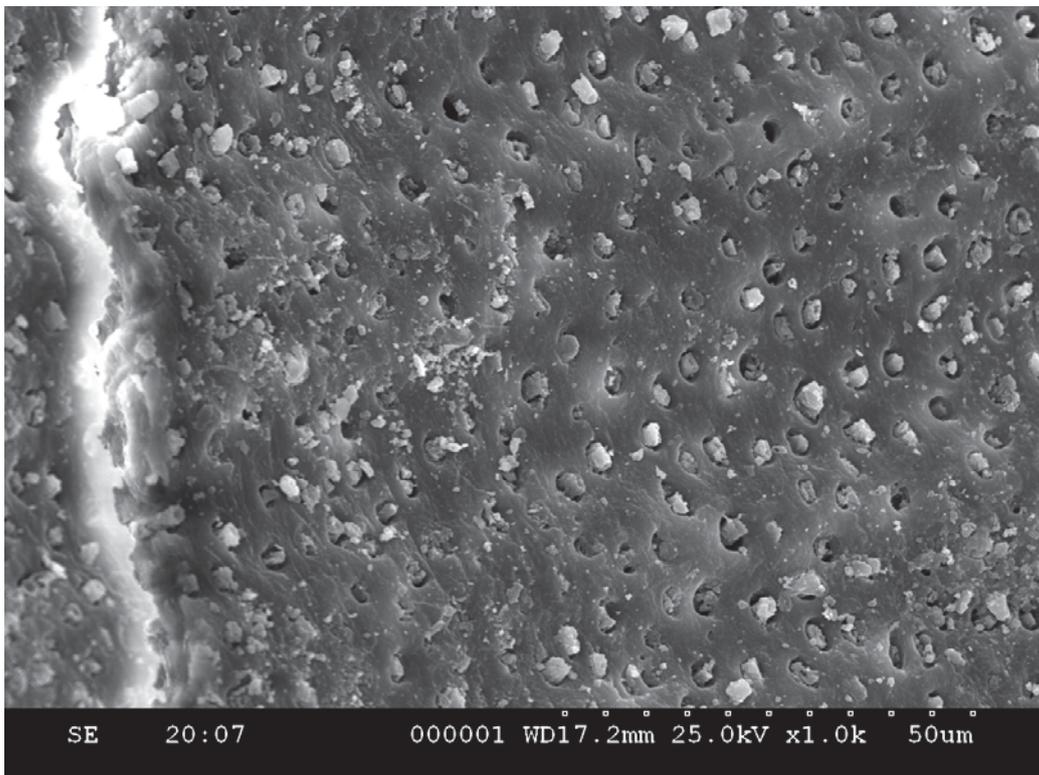
Unterschieden werden kann außerdem eine Anfangs- und eine Spätphase, in denen die Zusammensetzung des *smear layers* variiert. In der Anfangsphase enthält er mehr organische Komponenten (Cameron, 1988), während in der Spätphase mehr anorganische Komponenten hinzukommen. Der Grund dafür ist, dass am Anfang der Aufbereitung vor allem organische Bestandteile wie pulpaies Gewebe, Mikroorganismen und infiziertes Dentin entfernt werden und zum Ende dann immer mehr Zahnhartsubstanz abgetragen wird.

Die Schmierschicht ist außerdem abhängig vom Typ und der Beschaffenheit des Instrumentes und vom Zustand des Dentins (Violich und Chandler, 2010, Prati et al., 2004), wobei Prati et al. zeigten, dass die Morphologie des *smear layers* nur partiell von der Art des Aufbereitungsinstrumentes beeinflusst wird (Prati et al., 2004).

Wie auf den folgenden Bildern (Abb.1 und 2) zu sehen, hat die Schmierschicht bei Betrachtung unter dem (Raster-) Elektronenmikroskop eine amorphe, granuläre und irreguläre Struktur (Sen et al., 1995). Auch das zweischichtige Erscheinungsbild wird verdeutlicht.



**Abb. 1: Aufliegende Schmierschicht**



**Abb. 2: Intratubuläre Schmierschicht**

### 1.1.3 Auswirkung auf die endodontische Behandlung

Die Bedeutung der Schmierschicht für den Erfolg einer endodontischen Behandlung wird kontrovers diskutiert.

Einige Autoren argumentieren, dass der *smear layer* die Permeabilität des Dentins und somit den Austausch von Bakterien und anderen Störfaktoren vermindert (Pashley, 1990, Michelich et al., 1980). Die Schmierschicht wirkt somit als schützende Barriere zwischen Kanalinnerem und äußerem Milieu. Weitere Studien, die nicht zwingend für eine Entfernung des *smear layers* sprechen, zeigen an, dass es keinen Unterschied im Hinblick auf Undichtigkeiten der Wurzelfüllung gibt, wenn man den *smear layer* belässt. So konnten Bertacci et al. feststellen, dass der *smear layer* keinen Einfluss auf die Penetration des Wurzelfüllmaterials in laterale Kanäle hat (Bertacci et al., 2007).

Es gibt keine In-vivo-Studien, die langfristig einen positiven Einfluss der Entfernung der Schmierschicht auf den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung belegen. Jedoch gibt es viele Autoren die sich aus verschiedenen Gründen für eine Elimination der Schmierschicht aussprechen (Violich und Chandler, 2010, Torabinejad et al., 2002, Mader et al., 1984, Shahravan et al., 2007, Clark-Holke et al., 2003).

Violich und Chandler veröffentlichten 2010 einen Review-Artikel über den *smear layer* in der Endodontie und beleuchteten unter anderem sehr ausführlich die Frage, ob der *smear layer* entfernt werden sollte (Violich und Chandler, 2010). Folgend aufgelistete Argumente sprechen demnach für die Entfernung.

Die Schmierschicht enthält Bakterien, ihre Nebenprodukte und nekrotisches Material (McComb und Smith, 1975) und stellt somit ein Medium dar, von dem Bakterienvermehrung ausgehen könnte. Sie könnte zudem als Substrat für Bakterien dienen (George et al., 2005). Die Entfernung der Schmierschicht führt zu einer geringeren Adhäsion von Bakterien an die Dentinoberfläche, woraus geschlossen werden kann, dass das Belassen des *smear layers* die bakterielle Kolonisation fördert (Yang und Bae, 2002).

Im Gegensatz zu der oben aufgeführten Vermutung einiger Studiengruppen, dass die Schmierschicht als Barriere für Bakterien dient, zeigten Meryon et al., dass die Penetration von Bakterien in die Dentintubuli durch die Schmierschicht nicht verhindert wird (Meryon und Brook, 1990).

Ein weiteres Argument ist, dass die tubuläre Penetration von desinfizierenden Spüllösungen, medikamentösen Einlagen und des Füllungsmaterials bei einer intakten Schmierschicht reduziert wird (Abramovich und Goldberg, 1976, Wayman et al., 1979, Yamada et al., 1983). Somit wird unter anderem die effektive Desinfektion der infizierten Dentintubuli verhindert oder zumindest verzögert.

Außerdem stellt der *smear layer* eine Barriere zwischen den Füllungsmaterialien und der Kanalwand dar und könnte somit eine suffiziente Abdichtung des Kanallumens verhindern. Seine Struktur ist eher diskontinuierlich und lose adhärent, woraus zusätzlich ein potenzielles Risiko für Undichtigkeiten resultiert (Clark-Holke et al., 2003, Mader et al., 1984). Auch das Review von Shahravan et al. stellte heraus, dass die Entfernung der Schmierschicht einen positiven Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung hat (Shahravan et al., 2007).

## 1.2 Bedeutung von Debris

Debris sind der Kanalwand oberflächlich aufliegende Partikel. Sie können aus größeren Dentinfragmenten oder auch verbliebenem pulpalen Gewebe bestehen (Hülsmann et al., 1997).

Im Gegensatz zur Schmierschicht besteht keine Diskussion, ob diese vor der Obturation des Wurzelkanals entfernt werden sollten, da sie deutlich größer als die Schmierschichtablagerungen sind und Isthmen sowie laterale Kanäle verblocken können. Eine von Debris freie Kanaloberfläche gilt sowohl aus bakteriologischen Gründen als auch im Hinblick auf eine optimale Obturation des Wurzelkanals als wünschenswert (McComb und Smith, 1975).

Bei der Entfernung sollte jedoch die potentielle apikale Extrusion von Debris-Partikeln in das periapikale Gewebe kritisch betrachtet werden, da es in solchen Fällen zu postoperativen Beschwerden kommen kann (Verma, 2017).

Erstmalig grenzten Mc Comb und Smith 1975 Debris-Partikel von der Schmierschicht ab. In einigen älteren Studien werden die der Kanalwand aufliegenden Komponenten nicht unterschieden (Svec und Harrison, 1977). Für ein genaueres Verständnis sollte dies jedoch beachtet werden, da die Entfernung der Schmierschicht deutlich anspruchsvoller ist, als die Entfernung von Debris.

## 1.3 Debris- und Schmierschichtentfernung

Die aktuell vorherrschende Meinung ist es, den *smear layer* und Debris aus dem Wurzelkanal zu entfernen.

Zu diesem Thema wurde bereits vermehrt geforscht, jedoch gibt es noch keine Methode, die die vollständige Entfernung des *smear layers* auf der ganzen Länge des Wurzelkanals gewährleistet.

Grundlage jedes Ansatzes ist die Wurzelkanalspülung, welche mit unterschiedlichen Spülflüssigkeiten durchgeführt werden kann und auf welche im weiteren Verlauf als Erstes eingegangen wird.

Zudem gibt es verschiedene Aktivierungsmethoden mit dem Ziel die Wirkung der Spülflüssigkeit zu verbessern. Diese werden im Anschluss behandelt.

### 1.3.1 Konventionelle Spülung

Der Einsatz von Spülungen in der Endodontie ist eine essentielle Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung einer Wurzelkanalbehandlung. Die Spülung ist die einzige Möglichkeit, die Abschnitte des Wurzelkanals zu erreichen, die durch die manuelle oder maschinelle Aufbereitung nicht erfasst werden.

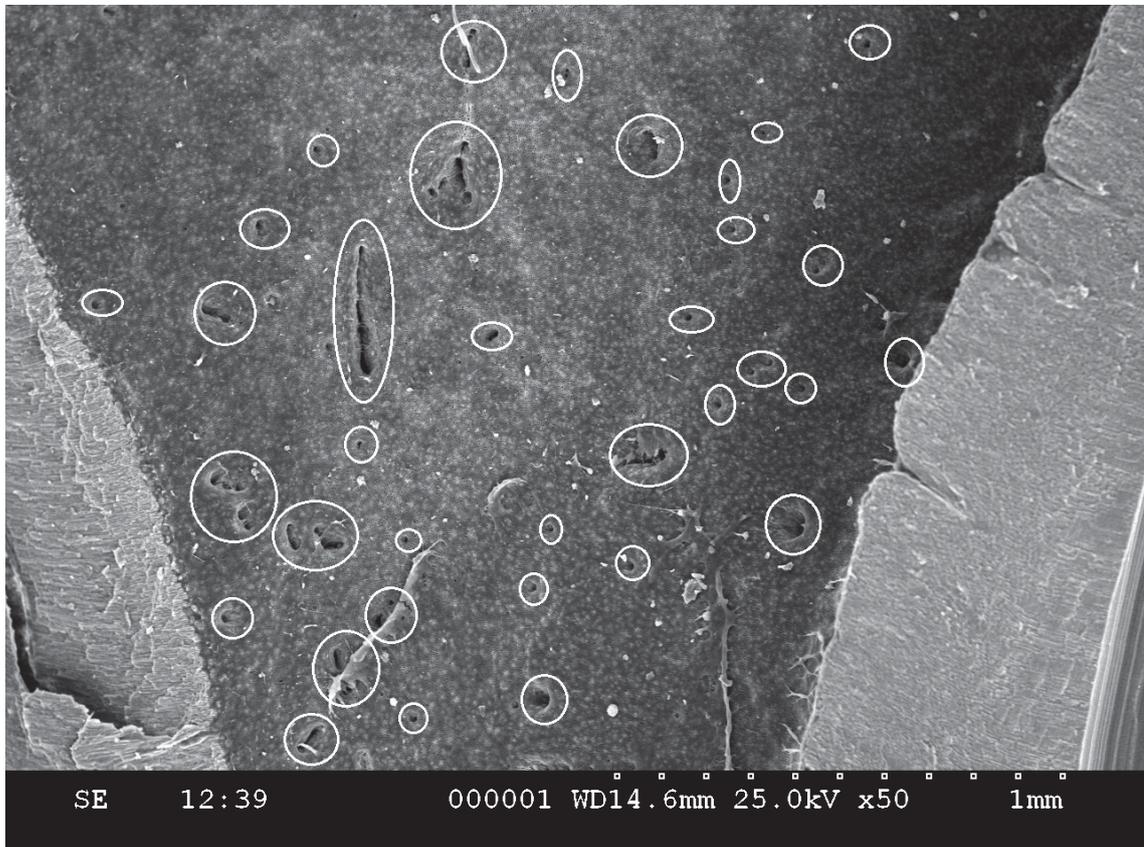
Hauptfunktion der Spülung ist es, zu desinfizieren. Zusätzlich dient die Spülung dazu, Debris-Partikel und die Schmierschicht zu entfernen, die Friktion zwischen Instrument und Dentin zu reduzieren, Gewebe zu lösen und den Zahn so wie die Feile zu kühlen (Haapasalo et al., 2014).

Bei der Bewertung von Spülmedien stehen somit die antimikrobiellen, desinfizierenden Effekte an vorderster Stelle (Zehnder, 2006). Des Weiteren sollte die Spülflüssigkeit jedoch auch biologisch verträglich und einfach zu applizieren sein (Barthel, 2006).

Der apikale Bereich stellt bei der Spülung des Kanals eine spezielle Herausforderung dar. Zum einen ist dieser Bereich schwer zugänglich, zum

anderen gilt es, das periapikale Gewebe nicht zu schädigen (Haapasalo et al., 2014).

Abbildung 3 bietet einen Eindruck der komplexen Anatomie im apikalen Bereich eines einwurzeligen Zahns.



**Abb. 3: Komplexe Anatomie des apikalen Drittels**

*Multiple Mündungen von Lateralen Kanälen im apikalen Bereich eines einwurzeligen Zahns (REM, 50x Vergrößerung)*

Keine bekannte Spülflüssigkeit kann die oben genannten Ansprüche optimal erfüllen und somit gilt eine Kombination als momentaner Goldstandard (Haapasalo et al., 2014, Zehnder, 2006).

### 1.3.1.1 Natriumhypochlorit (NaOCl)

Ursprünglich als Bleichmittel entwickelt, gewann Natriumhypochlorit Ende des 19. Jahrhunderts und während des ersten Weltkriegs als desinfizierendes Mittel an Bedeutung. Schon seit 1920 gilt es als das tragende Spülmedium in der Endodontie und zeichnet sich durch die hervorragende gewebeauflösende

Wirkung auf organische Verbindungen und den überlegenen antimikrobiellen Effekt aus (Zehnder, 2006).

Es ist die einzige Spülflüssigkeit, die organische Verbindungen, wie zum Beispiel den Biofilm oder nekrotisches Gewebe, effektiv auflöst (Beltz et al., 2003, Cobankara et al., 2010, Stojcic et al., 2010, Haapasalo et al., 2014). Außerdem weist es die Fähigkeit auf, Lipopolysaccharide zu neutralisieren, welche in der äußeren Membran gramnegativer Bakterien vorkommen (Buttler und Crawford, 1982).

Angewandt werden 0,5%ige bis 6%ige Lösungen, wobei hohe Konzentrationen von NaOCl effektiver sind als 1- oder 2%ige Lösungen (Haapasalo et al., 2014, Carson et al., 2005, Hand et al., 1978, Harrison und Hand, 1981). Um den Effekt von NaOCl zu maximieren, sollte die Lösung stetig erneuert werden, was bedeutet, dass das applizierte Volumen eine signifikante Rolle spielt (Siqueira et al., 2000). Außerdem sollte die Spülflüssigkeit in Bewegung sein (Haapasalo et al., 2014). Dies kann durch kontinuierliche Spülsysteme oder Aktivierungssysteme erreicht werden.

Jedoch muss neben der Steigerung der Effektivität auch die eventuell damit einhergehende Steigerung des toxischen Effekts auf das periapikale Gewebe bedacht werden, welcher durch Schmerzen bei Extrusion ins Gewebe deutlich wird.

Die Verwendung von NaOCl als Hauptspüllösung während der Aufbereitung ist derzeit der Goldstandard (Hülsmann et al., 2003). Auch von der DGZMK und der DGZ wird es als Spüllösung der ersten Wahl empfohlen (Barthel, 2006).

### **1.3.1.2 Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)**

EDTA ist eine organische Säure und ein Chelator, der neben dem Einsatz in der Endodontie auch in der diagnostischen Medizin zur Antikoagulation von Blutproben Verwendung findet. 1957 wurde sie in der Endodontie zur Unterstützung bei der Präparation von engen und kalzifizierten Wurzelkanälen durch Nygaard-Östby eingeführt (Hülsmann et al., 2003).

EDTA hat keinen bis geringen antimikrobiellen Effekt, aber löst anorganische Bestandteile des *smear layers* besonders gut (Hülsmann et al., 2003). Zudem wird eine antimykotische Wirkung beschrieben (Ates et al., 2005, Sen et al., 2000, Mohammadi und Shalavi, 2014).

Zur Wurzelkanalirrigation wird eine 17%ige Lösung empfohlen (Yamada et al., 1983) und eine Einwirkzeit von ca. 2 min, die je nach Indikation auf bis zu 5 min verlängert werden kann (Zehnder, 2006, Hülsmann et al., 2003).

Bei der Verwendung ist darauf zu achten, dass es während der Aufbereitung nicht in direkter Kombination mit NaOCl verwendet wird, da es den Effekt von NaOCl deutlich mindert (Haapasalo et al., 2014).

Es ist außerdem zu bedenken, dass die Kombination von EDTA gefolgt von NaOCl zu Erosionen der Kanaloberfläche führen kann (Craigbaumgartner und Mader, 1987), weshalb eine Extension der Spüldauer über eine Minute nicht empfohlen wird (Calt und Serper, 2002).

Das Review von Hülsmann et al. resümiert, dass die Anwendung von EDTA den Verbund zwischen Wurzelfüllmaterial und Kanalwand oder der adhäsiven Befestigung nachteilig beeinflussen könnte (Hülsmann et al., 2003), da in den Dentintubuli und an der Kanaloberfläche verbleibendes EDTA zu weiterer Demineralisation und Interaktion mit dem Sealer führen könnte (Biesterfeld und Taintor, 1980).

Aufgrund der herausragenden Eigenschaft, anorganische Verbindungen zu lösen, wird trotz der oben genannten Bedenken, eine Kombination von NaOCl und EDTA als abschließende Spülung zur Entfernung des *smear layers* empfohlen (Ciucchi et al., 1989, Peters und Barbakow, 2000, Haapasalo et al., 2014, Zehnder, 2006, Hülsmann et al., 2003, Menezes et al., 2003).

### **1.3.1.3 Chlorhexidin (CHX)**

CHX ist ein antiseptischer Wirkstoff, der in der Zahnmedizin multiple zum Einsatz kommt.

In der Endodontie gehört es, neben NaOCl und EDTA, zu den am häufigsten verwendeten Spüllösungen. CHX kann im Sinne einer zusätzlichen Spülung

verwendet werden. Es sollte aber nicht als Standardspüllösung angewandt werden, da es weder organische noch anorganische Verbindungen auflöst und Endotoxine nicht neutralisieren kann (Barthel, 2006).

Vorteilhaft sind die guten antimikrobiellen Eigenschaften (Haapasalo et al., 2014), obwohl NaOCl auch hier überlegen ist (Weber et al., 2003). Eine besondere Eigenschaft stellt die Substantivität am Dentin dar (White et al., 1999). Durch die Bindung des kationischen CHX-Moleküls an anionische Verbindungen des Wurzelkanals und des *smear layers* ist es über längere Zeit im Wurzelkanal verfügbar, woraus eine lange antimikrobielle Restaktivität resultiert (Weber et al., 2003).

Ein weiterer Vorteil ist, dass kein Nachweis von Erosionen nach der Anwendung von CHX folgend auf EDTA festgestellt werden konnte (Haapasalo et al., 2014). CHX könnte somit als zusätzliche Spülung nach der Entfernung der Schmierschicht anstatt von NaOCl angewandt werden (Zamany et al., 2003). Jedoch kommt es bei Kombination mit NaOCl (Mohammadi et al., 2017) und EDTA zu einer Ablagerung eines unlöslichen, bräunlichen Präzipitats (Gomes et al., 2013). Dieses legt sich auf die Wurzelkanaloberfläche und verblockt die Dentintubuli (Bui et al., 2008). Es kann ebenso wie die Schmierschicht einen negativen Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung haben (Vivacqua-Gomes et al., 2002). Die entstehenden Chloranilinverbindungen sind zytotoxisch und potentiell kanzerogen (Nocca et al., 2017).

CHX kann als Alternative zu NaOCl in den Fällen angewendet werden, bei denen eine erhöhte Gefahr besteht, dass die Spülflüssigkeit über den Apex hinaus in das periapikale Gewebe eindringt, denn CHX gilt als weniger zytotoxisch und verursacht keine Schmerzen bei der Extrusion in das periapikale Gewebe (Gomes et al., 2013). Dieses gilt bei offenen Foramina oder größeren Perforationen.

Eine weitere empfohlene Indikation ist die Verwendung in Revisionsfällen, da CHX eine besonders gute Wirksamkeit gegen grampositive Keime und Fungi aufweist, die gehäuft in Revisionsfällen zu finden sind und die gegen NaOCl und Kalziumhydroxid resistent sein können (Barthel, 2006).

Eine überlegene Wirkung von CHX gegenüber NaOCl bei der Elimination von *Enterococcus faecalis* wird mittlerweile jedoch kritisch betrachtet. So kommt es eher auf die Konzentration und die Applikationsform als auf das Spülmedium selbst an. Wobei hohe Konzentrationen effektiver als niedrigere und Flüssigkeiten effizienter als Gele sind (Luddin und Ahmed, 2013).

Außerdem sollte der zytotoxische Effekt auf Osteoblasten beachtet werden. Es konnte nachgewiesen werden, dass CHX dosisabhängig das Zellwachstum und die Kollagensynthese inhibiert. Auch wenn es auf den ersten Blick klinisch unbemerkt bleibt, besteht ein Potenzial für periapikale Toxizität (Lee et al., 2010), was gegen die oben genannten Indikationen sprechen würde. Eine schlussendliche Empfehlung kann derzeit in diesen Fällen nicht gegeben werden.

Zusammenfassend gilt CHX, bis auf Ausnahmeindikationen, als ergänzende Spülflüssigkeit und nicht als Spülmedium der ersten Wahl.

#### **1.3.1.4 Weitere Spüllösungen**

Alternativ kommen unter anderem Kalziumhydroxidlösungen, Alkohol, Wasserstoffperoxid, Essigsäure, Zitronensäure und andere Chelatoren zum Einsatz, die jedoch den oben genannten Spüllösungen in der Funktion als Hauptspüllösung unterlegen sind (Hülsmann et al., 2003).

Alkohol wird vor Allem zum Trocknen des Kanals am Ende der Aufbereitung und vor der Obturation eingesetzt. Außerdem kann es als Spülung zwischen dem Einsatz von NaOCl und CHX dienen. Die Anwendung von Wasserstoffperoxid gilt mittlerweile als obsolet, da es schlechtere antimikrobielle Eigenschaften als NaOCl aufweist, es potentiell gewebeschädigend ist und in Kombination die Wirkung von NaOCl mindert.

Andere Chelatoren, wie zum Beispiel Zitronensäure, demineralisieren Dentin stärker als EDTA und werden deshalb nicht bevorzugt verwendet.

### 1.3.1.5 Weitere Aspekte

Neben der Auswahl der Spülflüssigkeit, müssen weitere Aspekte bei der Wurzelkanalirrigation beachtet werden.

Neben der Größe und Beschaffenheit der Spülkanüle muss auf die richtige Anwendung geachtet werden. So werden 30-gauge schmale, seitlich geöffnete Spitzen (Haapasalo et al., 2014) und ausreichend schmale Ansätze (300-400 Mikrometer im Durchmesser) (Barthel, 2006) empfohlen.

Um ein Risiko für ein Überpressen der Spülflüssigkeit zu senken, ist es entscheidend, die Spülkanülen ohne Friktion in den Wurzelkanal einzubringen.

Generell gilt, dass die antimikrobielle Wirkung in Abhängigkeit von der Konzentration, der Temperatur, der Applikationsmenge und der Applikationsdauer steigt (Barthel, 2006).

Auch die Lagerung der Spülflüssigkeiten sollte beachtet werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Natriumhypochlorit aufgrund seiner hervorragenden antimikrobiellen und gewebeauflösenden Wirkung das am weitesten verbreitete Spülmedium darstellt. Jedoch besteht ein Defizit im Hinblick auf die Substantivität und die Fähigkeit den *smear layer* aufzulösen, weshalb eine zusätzliche Anwendung von EDTA empfohlen wird (Mohammadi et al., 2017, Zehnder, 2006, Craigbaumgartner und Mader, 1987, Yamada et al., 1983).

CHX kann in speziellen und seltenen Fällen als Alternative zu NaOCl oder als zusätzliche Spülung angewendet werden.

### **1.3.2 Aktivierungsmethoden der Spülflüssigkeit**

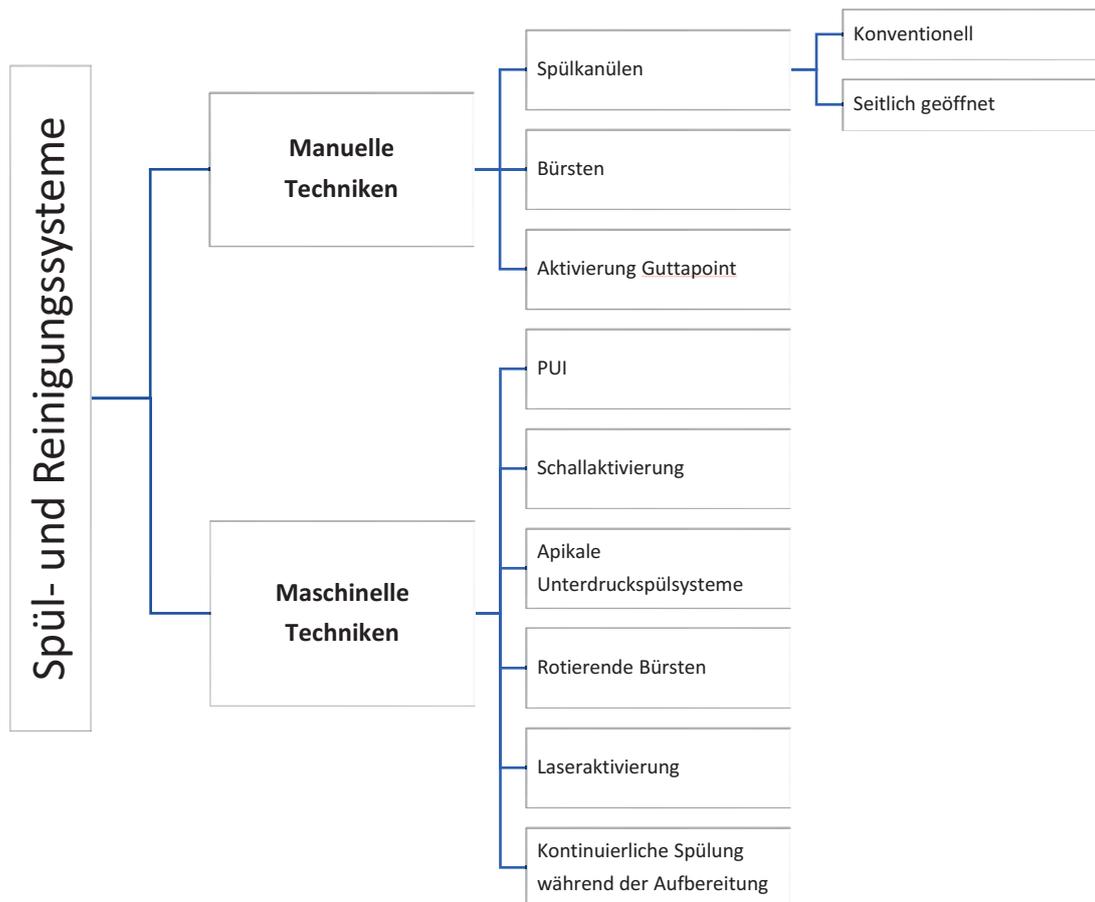
Die Literatur besagt, dass die Effektivität von Spülflüssigkeiten und Aktivierungssystemen vor allem im apikalen Bereich des Wurzelkanals begrenzt ist (Haapasalo et al., 2014, Prati et al., 2004).

Auch eine Kombination der oben genannten Spülflüssigkeiten bei rein manueller Anwendung entfernt die Schmierschicht nicht vollständig, weshalb eine Verbesserung des Spülprotokolls erstrebenswert ist.

Ein aktuelles Review stellt die Überlegenheit von Aktivierungssystemen im Vergleich zu der rein manuellen Spülung in Bezug auf die Sauberkeit des Wurzelkanals heraus (Virdee et al., 2018).

Verschiedene Aktivierungssysteme stehen zu Verfügung. Hierzu zählt unter anderem die Aktivierung mittels Schall oder Ultraschall. Aber auch die Anwendung Apikaler Unterdruckspülsysteme, spezieller Bürsten oder Feilen kann an dieser Stelle genannt werden.

Abbildung 4 zeigt eine Übersicht von Spül- und Reinigungssystemen und Reinigungsmethoden.



**Abb. 4: Übersicht der Aktivierungsmethoden und –systeme**  
 Modifiziert nach (Gu et al., 2009)

### 1.3.2.1 Passive Ultraschallaktivierung (PUI)

Der Ultraschall basiert auf mechanischen Schwingungen mit Frequenzen von über 20 kHz, die oberhalb der menschlichen Hörgrenze liegen.

Ultraschall wird in der Zahnmedizin multiple eingesetzt. Neben der Parodontitistherapie, der Zahnreinigung, der Instrumentenaufbereitung und der oralchirurgischen Diagnostik und Therapie findet er auch in der Endodontie unter anderem bei der Präparation und der Säuberung von Wurzelkanälen Anwendung. Hierbei muss die Passive Ultraschallaktivierung von der Aktiven Ultraschallaktivierung unterschieden werden.

Die Aktive Ultraschallaktivierung, welche die Aktivierung der Spülflüssigkeit und teilweise Aufbereitung des Kanals vereint, beruht auf dem Kontakt von Feile und Kanalwand. Sie ist mittlerweile als obsolet anzusehen, da die Gefahr

der Erzeugung von apikalen Perforationen und Stufen besteht. Der Dentinabtrag ist hierbei unkontrollierbar.

Die passive Ultraschallaktivierung kommt ohne Kontakt zwischen Aktivierungsansatz und Dentinoberfläche aus. Die Feile oder der Draht mit einer ISO-Größe von ca. 10-20 oszilliert dabei frei im Kanallumen.

Physikalisch betrachtet wird elektrische Energie vom Ultraschallansatz durch Piezoelektrizität oder Magnetorestriktion in Ultraschallwellen umgewandelt und auf das Spülmedium übertragen (van der Sluis et al., 2007). Somit entstehen Mikroströmungen und Kavitation innerhalb der Spülflüssigkeit (Ahmad et al., 1992). Die Kavitation beruht auf der Entstehung und dem Kollaps von durch Ultraschall erzeugten Gas- bzw. Dampfbläschen. Folge der Kavitation ist außerdem das physikalische Phänomen „*acoustic microstreaming*“.

Nach Nowak (2014) wird *acoustic streaming* die Strömung genannt, die ihre Energie aus einem Impulsübertrag der Schallwelle auf die Flüssigkeit bezieht. Dieser Impulsübertrag hängt unter anderem von der Dämpfung der Schallwelle im Medium ab. Eine stärkere Dämpfung führt zu einem stärkeren Impulsübertrag und somit zu einer stärkeren Strömung. Die Dämpfung wird zum Beispiel bei vorhandenen Blasen in der Flüssigkeit erhöht. Wenn die Blasen durch den (Ultra-)Schall selbst erzeugt werden, nennt man das akustische Kavitation. Durch diese Art von Kavitation entstehen sehr viel größere Strömungsgeschwindigkeiten, das so genannte *acoustic streaming*. (Nowak, 2014)

Die akustische Strömung die innerhalb des Wurzelkanals bei der endodontischen Behandlung entsteht wird als *acoustic microstreaming* bezeichnet. Die somit erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten haben das Potenzial Wurzelkanäle effektiver zu säubern. Das freie Oszillieren der Feile im Kanal ist jedoch Voraussetzung für ein möglichst ausgeprägtes *acoustic microstreaming* (Ahmad et al., 1992).

Das Strömungsmuster entlang der Feile korrespondiert zu den für eine Schallwelle charakteristischen Schwingungsknoten und Schwingungsbäuchen (van der Sluis et al., 2007).

Die maximale Schwingungsamplitude befindet sich an der Feilenspitze (Ahmad et al., 1987). Aufgrund dessen verspricht man sich eine besonders effiziente Reinigung in diesem Bereich.

Der exakte physikalische Mechanismus, der für die Effektivität von PUI verantwortlich ist, ist jedoch noch nicht vollständig ergründet (van der Sluis et al., 2007).

Mozo et al. (2012) beschreiben zwei Möglichkeiten Ultraschall zu erzeugen. Zum einen über Magnetostruktion und zum anderen über Piezoelektrizität. In der Endodontie werden piezoelektrische Geräte den Magnetostrukturen vorgezogen, da so deutlich weniger Wärme entsteht und das lineare Bewegungsmuster die ungewollte Stufenbildung verhindert. Piezoelektrische Geräte erreichen außerdem mit 40 kHz eine höhere Frequenz im Gegensatz zu 24 kHz der Magnetostrukturen. (Mozo et al., 2012)

Die Passive Ultraschallaktivierung wurde 1980 erstmals von Weller et al. beschrieben (Weller et al., 1980) und gilt mittlerweile als erprobter Goldstandard in der Endodontie.

Die Verwendung von PUI im Spülprotokoll führt im Gegensatz zur konventionellen Spülung ohne zusätzliche Aktivierung zu einer höheren mechanischen Aktivität der Spülflüssigkeit und einer besseren Penetration in die Bereiche, die ansonsten nicht von der Spülflüssigkeit erfasst werden. Somit kommt es zu einer größeren Bakterienreduktion und Debris- und *smear layer* Entfernung aus dem Kanal (Mozo et al., 2012, van der Sluis et al., 2007).

Nur wenige Studien konnten keine Verbesserung der PUI gegenüber dem alleinigen Spülprotokoll ohne Aktivierung feststellen (Schmidt et al., 2015).

Abbildungen 5 und 6 zeigen typische Vertreter der Geräte und Ansätze zur Passiven Ultraschallaktivierung. Sie wurden in dieser Studie verwendet.



**Abb. 5: VDW.Ultra®**  
*Ultraschallgerät der Firma VDW (München)  
 Bildmaterial zur Verfügung gestellt von VDW*



**Abb. 6: Ansätze zur Passiven Ultraschallaktivierung**  
*Irrisafe™ (Acteon Group, Bordeaux), Länge von 21 und 25 mm, Breite ISO25  
 Bildmaterial zur Verfügung gestellt von VDW*

### 1.3.2.2 Schallaktivierung

Die Schallaktivierung basiert im Gegensatz zur Ultraschallaktivierung auf einer niedrigeren Frequenz und einer höheren Amplitude. Die Frequenzen variieren von 1 kHz bis 6 kHz (van der Sluis et al., 2007).

Die Schallwelle und somit auch das Schwingungsmuster der Feile stellt sich generell etwas anders dar als das des Ultraschalls. Die Schwingungsknoten liegen deutlich weiter auseinander und die –bäuche sind somit länger. Die Amplitude der Welle, d.h. die Auslenkung der Feile ist größer. Weiterhin ist das Schwingungsmuster des Schallansatzes grundsätzlich elliptisch, jedoch verändert es sich bei Kontakt mit der Kanalwand in ein longitudinal oszillierendes bzw. irregulärerer Muster (Janner, 2003, Walmsley et al., 1989). Die ausgeprägten Strömungsturbulenzen (*acoustic microstreaming*), die bei der PUI entstehen, konnten bei der Schallaktivierung bisher nicht nachgewiesen werden. Nachfolgend werden zwei verschiedene Systeme vorgestellt.

#### *1.3.2.2.1 EndoActivator®*

Der EndoActivator® ist ein Gerät zur schallunterstützten Aktivierung von Spülflüssigkeiten.

Es handelt sich um ein schnurloses Handstück, das mit 3 verschiedenen, flexiblen Aufsätzen verwendet werden kann (S=15/02, M=25/04, L=35/04). Diese Aufsätze sind jeweils 22 mm lang, zeigen bei 18 mm, 19 mm und 20 mm Tiefenmarkierungen und sind laut Herstellerinformation unbeschichtet und nicht schneidend.

Im Jahr 2008 veröffentlichte Ruddle seinen Anwenderbericht „*tsunami Irrigation*“, in dem er den EndoActivator® und seine Handhabung vorstellte. Seitdem wurden einige Studien durchgeführt, die vor allem die Reinigungsleistung des EndoActivators® untersuchen.

Hierbei wird oft die Entfernung des *smear layers* als anzustrebendes Ziel (Kumar et al., 2015, Singh et al., 2014, Uroz-Torres et al., 2010, Yeung et al., 2014, Saber Sel und Hashem, 2011, Caron et al., 2010, Arslan et al., 2016, Blank-Goncalves et al., 2011, Capar und Aydinbelge, 2014, Elnaghy et al., 2017, Guo et al., 2014, Kanter et al., 2011, Mancini et al., 2013, Niu et al., 2014, Rödiger et al., 2010, Schiavotelo et al., 2017, Suman et al., 2017, Urban et al., 2017) aber auch die Penetration der Spülflüssigkeit in laterale Kanäle (de Gregorio et al., 2010), die Penetration von *Sealer* oder Spülflüssigkeit in Dentintubuli (Chaudhry et al., 2017, Bolles et al., 2013, Generali et al., 2017,

Paragliola et al., 2010), die Entfernung von Medikamenten-Einlagen (Li et al., 2015, Alturaiki et al., 2015, Kumar et al., 2017, Pabel und Hulsmann, 2017) oder von Debris (Elnaghy et al., 2017, Arslan et al., 2016, Kanter et al., 2011, Klyn et al., 2010, Mancini et al., 2013, Niu et al., 2014, Rödiger et al., 2010, Urban et al., 2017) überprüft.

Die Studien liefern teils sehr heterogene Ergebnisse.

Einige Studien belegen, dass eine Aktivierung der Spülflüssigkeit mit dem EndoActivator® keinen Vorteil im Vergleich zur konventionellen Spülung liefert (Klyn et al., 2010, Uroz-Torres et al., 2010), wobei Klyn et al. die Sauberkeit des Kanals an der Entfernung von Debris bemaßen und nicht an der Entfernung des *smear layers*.

Der größte Teil der Literatur beschreibt aber eine deutlich bessere Reinigungsleistung und *smear layer* Entfernung bei der Verwendung von Schallaktivierung im Gegensatz zur konventionellen Spülung mit EDTA und NaOCl (Blank-Goncalves et al., 2011, Mancini et al., 2013, Caron et al., 2010, Rödiger et al., 2010, Yeung et al., 2014, Alturaiki et al., 2015, de Gregorio et al., 2010, Kumar et al., 2015, Singh et al., 2014, Paragliola et al., 2010).

Verglichen mit der PUI entfernt es Debris schlechter aus dem Wurzelkanal (van der Sluis et al., 2007). Andere Studien beschreiben eine besserer Reinigungsleistung des EndoActivators® gegenüber der PUI (Rödiger et al., 2010, Khalap et al., 2016, Kanter et al., 2011, Schiavotelo et al., 2017)

Es scheint, als ob der EndoActivator® das zervikale und mittlere Drittel deutlich besser reinigt als den apikalen Teil (Singh et al., 2014, Rödiger et al., 2010, Mancini et al., 2013).

Blank-Goncalves et al. stellten im Gegensatz dazu fest, dass der EndoActivator® auch das apikale Drittel selbst von gekrümmten Kanälen gut säubert (Blank-Goncalves et al., 2011). Sie führten jedoch auch ein aufwendiges Spülprotokoll durch, welches dem Spülprotokoll der in dieser Arbeit präsentierten Studie ähnelt.

Auch die Entfernung von Medikamenten-Einlagen mit dem EndoActivator® wurde untersucht. Alturaiki et al. fanden heraus, dass der EndoActivator® die Einlage besser entfernt als die apikale Master Feile, das EndoVac® System oder die Passive Ultraschallaktivierung (Alturaiki et al., 2015).

Ebenso kann man an der Penetration der aktivierten Flüssigkeit in angelegte laterale Kanäle (de Gregorio et al., 2010) oder in die Dentintubuli (Paragliola et al., 2010) die Effektivität der Aktivierungssysteme bemessen. Beide Gruppen kamen zu dem Ergebnis, dass der EndoActivator® der Passiven Ultraschallaktivierung unterlegen ist. Jedoch zeigt die Anwendung des EndoActivators® immer noch bessere Ergebnisse, als die konventionelle Spülung.

Bei einer Spülung mit NaOCl sollte auch immer eine eventuelle apikale Extrusion berücksichtigt werden. Kommt es durch einen erhöhten hydrodynamischen Effekt bei der Aktivierung von NaOCl mit dem EndoActivator®-System (Ruddle, 2015) auch zu einer erhöhten apikalen Extrusion? Yost et al. betrachteten erst kürzlich dieses Phänomen und fanden heraus, dass es durch die Aktivierung mit dem EndoActivator®, im Gegensatz zu einer rein manuellen Spülung oder der Aktivierung mit einem Laser, zu einer geringeren Extrusion der Spülflüssigkeit kommt (Yost et al., 2015).

Zusammenfassend wird bei der Durchsicht der Literatur deutlich, dass der Großteil der Studien eine verbesserte Reinigungsleistung im Gegensatz zur rein manuellen Irrigation feststellte. Der Vergleich zu anderen Systemen wird in der Literatur sehr umstritten diskutiert und ein festgelegtes Spülprotokoll für die Aktivierung mit dem EndoActivator® wurde bisher nicht ausgesprochen.

Dem Behandler bleibt zudem unklar, unter welchen Umständen welche der angebotenen Größen des Systems zum Einsatz kommen sollte. So wurde in den Studien häufig die mittlere Größe (25/.04) gewählt. Kaum einer der Autoren beschreibt jedoch, warum diese Wahl getroffen wurde. Gleiches gilt jedoch auch für die Ansatzgrößen bei der PUI. In vielen Studien differieren außerdem die gewählten Größen der PUI und des EA. Der *Taper* ist bei den Ansätzen der PUI generell geringer als bei den Ansätzen des EndoActivators®.

#### 1.3.2.2.2 EDDY®

EDDY® ist eine schallaktivierbare, flexible, oszillierende Polyamid-Spitze, die zur Aktivierung von Spülflüssigkeit genutzt werden kann und im Gegensatz zum EndoActivator® oder der PUI erst seit kurzem auf dem Markt ist.



**Abb. 7: EDDY® Ansatz**

*Einmalprodukt zur Anwendung mit einem Airscaler  
Bildmaterial zur Verfügung gestellt von VDW*

Der Antrieb erfolgt über einen Airscaler mit bis zu 6.000 Hz. Der Airscaler ist ein luftdruckbetriebenes Handstück, das auf den Turbinenanschluss gesteckt wird. Die durch Luftströmung entstehenden Schallwellen lösen Vibrationen des im Handstück befindlichen Metallstabes aus, was zu Oszillation des inserierten Ansatzes führt (Gankerseer und Walmsley, 1987, Kocher und Plagmann, 1997, Janner, 2003). Der Hersteller wirbt mit einem geringen Bruchrisiko, einfacher und zeitsparender Handhabung, Schonung des Dentins und einem verstärkten Reinigungseffekt. Die physikalischen Effekte *Kavitation* und *acoustic microstreaming*, die ansonsten nur bei der PUI beschrieben wurden, sollen laut Herstellerangaben ebenfalls durch EDDY® hervorgerufen werden können. Das ist wissenschaftlich jedoch nicht belegt.

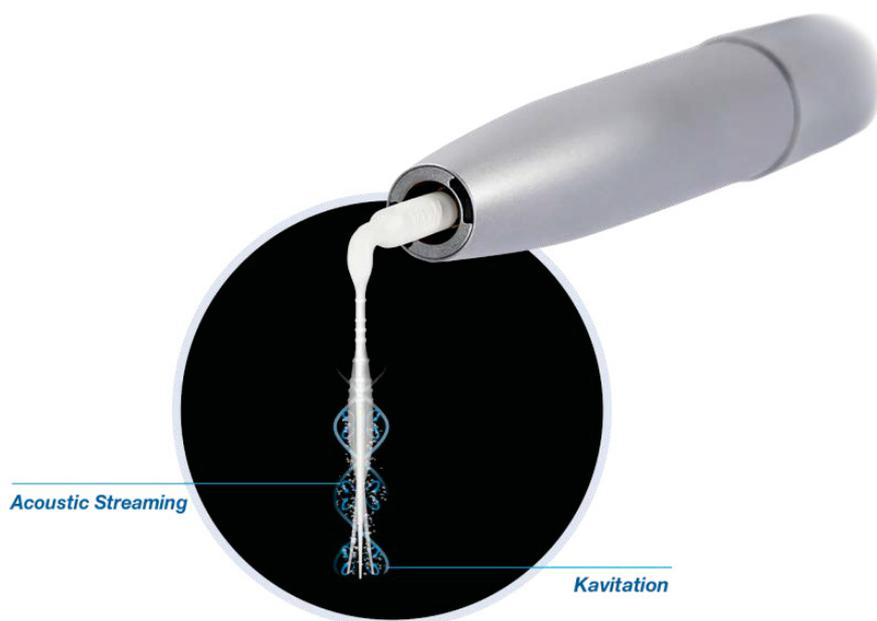
Bis zu diesem Zeitpunkt sind erst wenige veröffentlichte Studien bekannt, die die Entfernung von Debris und des *smear layers* untersuchen. Urban et al. stellten eine verbesserte Reinigungsleistung der PUI und des EDDYs® im Gegensatz zur manuellen Spülung fest (Urban et al., 2017). Der EndoActivator® hingegen zeigte diesen Unterschied nicht auf. Dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen Ultraschall- und Schallaktivierung gibt aber einen deutlichen Vorteil gegenüber rein manueller Spülung bestätigte eine weitere Studie (Haupt et al., 2019).

Plotino et al. konstruierten ein artifizielles Wurzelkanalsystem und platzierten Debris-ähnliches Material und stellten fest, das EDDY® im Gegensatz zu anderen Schall- oder Ultraschallsystemen Debris besser entfernt (Plotino et al., 2019). Ein ähnliches Design nutze die Arbeitsgruppe um Swimberghe. Die Anwendung mit EDDY® führte zu einer effektiveren Entfernung von Debris aus Isthmi im Vergleich zur PUI oder dem EndoActivator® (Swimberghe et al., 2019).

Eine Studie, die die Entfernung von *E. faecalis* aus den Dentintubuli untersuchte, zeigte keinen Unterschied zwischen der konventionellen Spülung und der Aktivierung mittels EDDY® (Zeng et al., 2018). Ein Vergleich zu anderen Aktivierungssystemen wurde hier nicht durchgeführt.

Betrachtet man die Entfernung von Kalziumhydroxid aus dem Wurzelkanal, scheint die Aktivierung mittels EDDY® effizienter zu sein als mittels PUI und dem EndoActivator® (Marques-da-Silva et al., 2019), bzw mindestens so effizient wie PUI (Donnermeyer et al., 2019).

Rein visuell überzeugt die Spitze in der Anwendung durch die starke Trübung und Dynamik der Spülflüssigkeit.



**Abb. 8: Schwingungsmuster EDDY®**

*Werbung des Herstellers mit physikalischen Effekten, die bisher nur bei der PUI nachgewiesen werden konnten. Die gute Reinigungsleistung der PUI wird auf diese Effekte zurückgeführt.*

*Bildmaterial zur Verfügung gestellt von VDW*

## 1.4 Zusammenfassung der Literaturübersicht

Zusammenfassend wurde bei der Durchsicht der Literatur deutlich, dass der *smear layer* und Debris vor der Wurzelkanalobturation entfernt werden sollten. NaOCl gilt als das Spülmedium der ersten Wahl. In der Abschlussspülung sollte zusätzlich eine Spülung mit EDTA erfolgen. CHX kann in Ausnahmefällen eine sinnvolle Ergänzung oder Alternative darstellen.

Es ist nicht möglich den Kanal in vollem Umfang aufzubereiten und zu säubern (van der Sluis et al., 2007). Keine Methode gewährleistet eine zuverlässige und vollständige Entfernung des *smear layers* auf der ganzen Länge des Kanals (Violich und Chandler, 2010, Guo et al., 2014, Haupt et al., 2019). Jedoch stellen Aktivierungssysteme eine sinnvolle Ergänzung zu der chemomechanischen Präparation dar und verbessern die Sauberkeit im Wurzelkanal deutlich.

Vor Allem das apikale Wurzelkanaldrittel lässt sich schwieriger reinigen.

Bis zum heutigen Zeitpunkt besteht kein Konsens über die Empfehlung der Art der Aktivierung. Die aktuelle Literatur liefert zum Teil sehr unterschiedliche Ergebnisse.

Die PUI, die bisher als Goldstandard galt, bekommt starke Konkurrenz durch neuere Systeme, die unter anderem auf Schallaktivierung basieren.

Das schallbetriebene System EDDY® wurde in der Literatur bisher kaum untersucht. Die Ergebnisse der bisher verfügbaren Literatur zu diesem System erscheinen jedoch vielversprechend.

Ein weiterer Punkt, auf den bisher noch kein Augenmerk gelegt wurde, ist die Größe der Aktivierungsspitzen. Mit dem EndoActivator® steht ein System mit drei verschiedenen Ansatzgrößen zur Verfügung, deren Anwendungsindikation weder durch den Hersteller noch durch bestehende Literaturquellen aufgezeigt wird.

## 1.5 Ziele der Studie

Das Ziel dieser Studie ist es, die Effektivität der verschiedenen Systeme zur Aktivierung der Spülflüssigkeit im Hinblick auf die Entfernung von Debris und der Schmierschicht aus geraden Wurzelkanälen, zu überprüfen.

Folgende Nullhypothesen werden aufgestellt:

1. Die Anwendung einer Spülaktivierung führt zu keiner verbesserten Entfernung der Schmierschicht und von Debris im Vergleich zur Wurzelkanalspülung ohne Aktivierung
2. Die verwendete Methode zur Spülaktivierung (PUI, EndoActivator®, EDDY®) weist keinen Unterschied in Bezug auf die Entfernung von Debris und der Schmierschicht in geraden Wurzelkanälen auf.
3. Die Entfernung der Schmierschicht und von Debris erfolgt im koronalen, mittleren und apikalen Wurzelkanalabschnitt gleichermaßen.
4. Die Verwendung unterschiedlich großer Ansätze hat keinen Einfluss auf die Reinigungseffektivität des EndoActivators®.

## 2 Material und Methoden

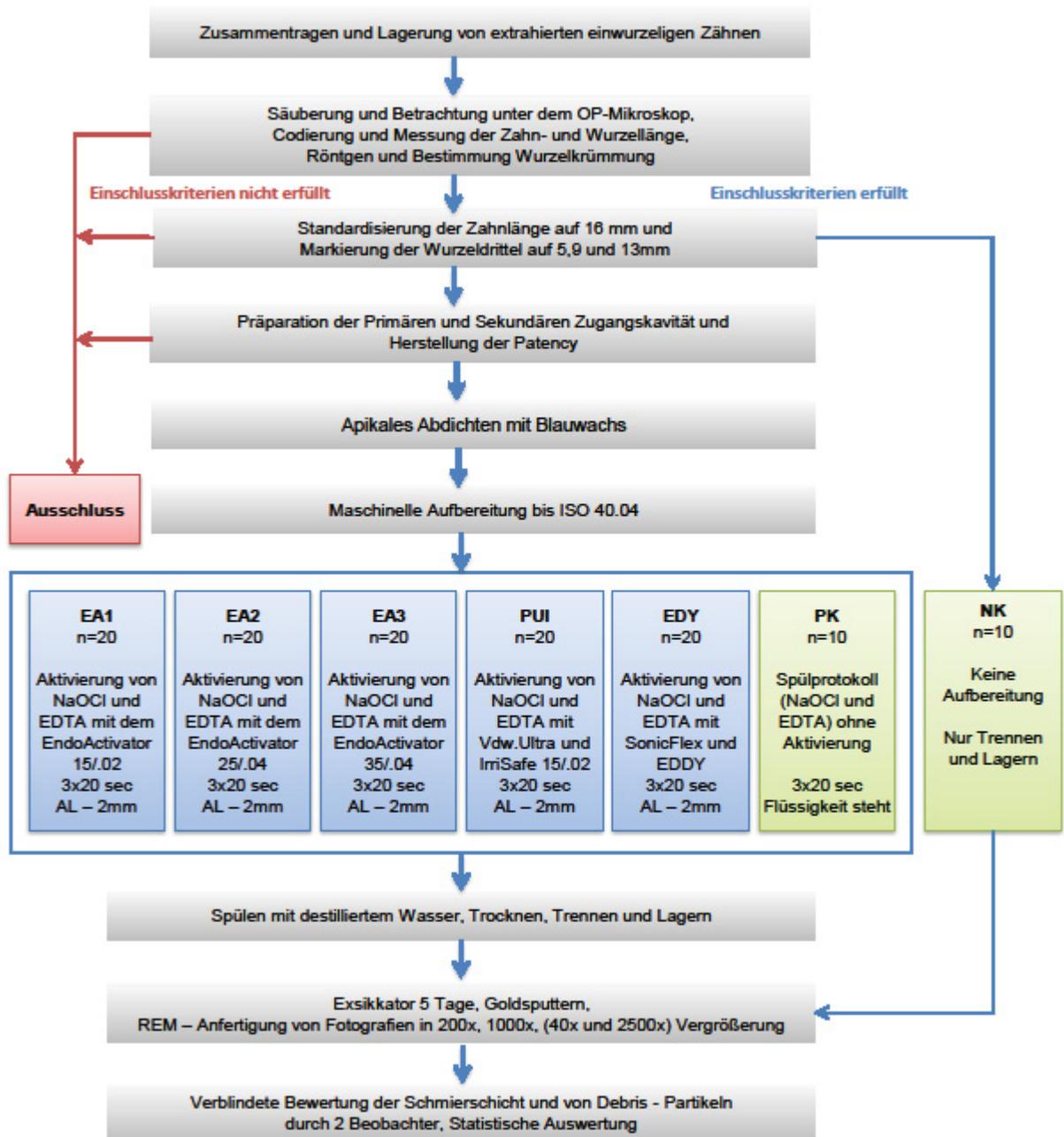


Abb. 9: Versuchsdesign

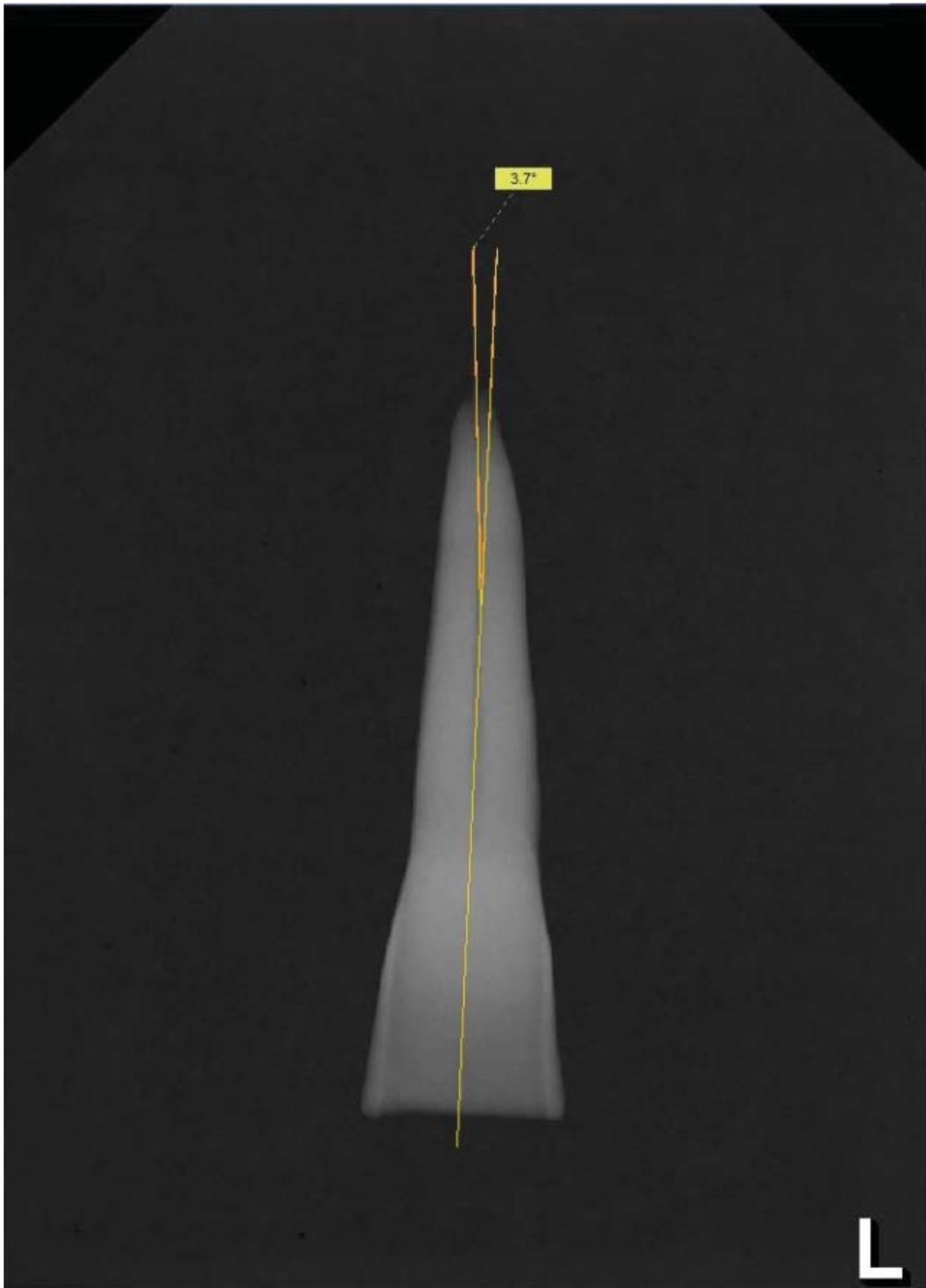
## 2.1 Vorbereitung der Zähne

Nach positivem Votum der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (Ref. Nr.: 5321) wurden für diese Studie über 200 extrahierte einwurzelige Ober- und Unterkieferzähne der zweiten Dentition gesammelt und bis zur weiteren Verwendung in 0,1%iger Thymollösung (Mat.1, s. Materialliste im Anhang) gelagert. Die Gesamtzahl der in die Studie eingeschlossenen Zähne liegt bei 120. Die Zähne wurden äußerlich von Geweberesten und Zahnstein mit einem Airscaler (Mat.2) und Handscaler (Mat.3) befreit und anschließend unter 16-facher Vergrößerung mit einem Operationsmikroskop (Mat.4) betrachtet. Die obligat zu erfüllenden Kriterien zum Einschluss der Zähne in die Studie zeigt Tabelle 1.

Einwurzelige Zähne mit einem Kanal
Wurzellänge von mindestens 10 mm
Zahnlänge von mindestens 16 mm
Weitgehend kariesfreie Zähne
Weitgehend restaurationsfreie Zähne
Zähne der zweiten Dentition mit abgeschlossenem Wurzelwachstum
Keine Risse oder Frakturen
Keine Obliteration oder Kalzifikation
Wurzelkrümmung kleiner gleich 20°
Apikaler Kanaldurchmesser kleiner gleich ISO 20

**Tabelle 1: *Einschlusskriterien***

Zähne, die äußerlich die Kriterien erfüllten, wurden mit einem Permanentmarker beschriftet. Außerdem wurden im Vorfeld die Zahnlänge und die Wurzellänge der gesammelten Zähne gemessen und die Wurzelkrümmung mit der Methode nach Schneider (Schneider, 1971) bestimmt. Hierfür wurden die Zähne in orovestibulärer und mesiodistaler Richtung geröntgt und die Krümmung mit Hilfe eines digitalen Röntgenprogramms (Mat.5) berechnet (s.Abb.10). Zähne mit einer Wurzelkrümmung über 20° oder Zähne, die röntgenologisch zwei Kanäle aufwiesen, wurden an dieser Stelle ausgeschlossen.



**Abb. 10: Messung der Wurzelkrümmung nach Schneider (1971)**  
Winkel zwischen einer Geraden durch die Hauptachse des Kanals und einer Geraden zwischen dem Punkt an dem der Kanalverlauf die Gerade verlässt und dem Apex

## 2.2 Einteilung der Versuchsgruppen

Insgesamt wurden 120 Zähne randomisiert in 5 Versuchsgruppen (jeweils n=20) und 2 Kontrollgruppen (jeweils n=10) eingeteilt (s. Tabelle 2 und 3). Die 10 Zähne der Negativkontrolle wurden separat gelagert und ohne Aufbereitung und Aktivierung gekürzt, getrennt und untersucht. Die restlichen 110 Zähne wurden, wie in den nächsten Abschnitten beschrieben, bearbeitet.

<b>EA1</b>	Schallaktivierung mit dem EndoActivator®, Ansatz 15/02
<b>EA2</b>	Schallaktivierung mit dem EndoActivator®, Ansatz 25/04
<b>EA3</b>	Schallaktivierung mit dem EndoActivator®, Ansatz 35/04
<b>PUI</b>	Passive Ultraschallaktivierung, VDW.Ultra®, Irrisafe™, Ansatz 15/02
<b>EDY</b>	Schallaktivierung, Ansatz EDDY®

**Tabelle 2: Übersicht der Versuchsgruppen**

<b>PK</b>	Aufbereitung und Durchführung Spülprotokoll ohne Aktivierung
<b>NK</b>	Keine Aufbereitung und keine Aktivierung

**Tabelle 3: Übersicht der Kontrollgruppen**

## 2.3 Versuchsdurchführung

Für die Versuchsdurchführung wurde zunächst ein Zahn per Zufall ausgewählt. An dieser Stelle ist es wichtig zu betonen, dass dem Behandler die Gruppeneinteilung des Zahnes, erst nach der Aufbereitung bekannt wurde, um eventuelle Beeinflussung zu vermeiden.

### 2.3.1 Kürzung und Markierung der Wurzel Drittel

Der ausgewählte Zahn wurde zuerst mittels einer elektronischen Schieblehre (Mat.6) vermessen (s. Abb. 11). In einer Excel-Tabelle (Mat.7, s. Anhang)

wurde die ursprüngliche Länge des Zahns, die Wurzelkrümmung, die Wurzellänge, die Länge nach dem Kürzen und die Länge bei Sondierung notiert.

Später wurde die Tabelle durch weitere Informationen ergänzt. So wurde die subjektive Friktion bei der Aufbereitung in 3 Stufen eingeteilt und notiert. Auch wurden Besonderheiten beim Röntgen, bei der chemomechanischen Präparation, beim Trennen und bei der Betrachtung unter dem REM notiert. Letztendlich wurde die Tabelle durch die Auswertung ergänzt.



**Abb. 11: Vermessung und Markierung der Zähne**

Die Markierungen der Wurzeldrittel wurden zunächst mit einem Permanentmarker gesetzt. Mit Hilfe einer diamantierten Scheibe (Mat.8) und einem Handstück (Mat.9) wurden sie dann als 3 horizontale Rillen in die Lingualfläche präpariert und der Zahn gleichzeitig auf 16 mm eingekürzt.

Die 3 Rillen markierten die Begrenzungen der Wurzeldrittel und befanden sich wie folgend beschrieben im Abstand von 5 mm, 9 mm und 13 mm zum anatomischen Apex.

Die Einteilung der Wurzeldrittel erfolgte nachdem 125 Zähne, die die Einschlusskriterien erfüllten, gesammelt worden waren. Von diesen 125 Zähnen wurde die durchschnittliche Wurzellänge bestimmt. Aufgerundet betrug sie 13,6 mm. Da die Zähne nur bis 1 mm vor dem anatomischen Apex präpariert werden sollten, wurde von einer durchschnittlichen aufzubereitenden

Wurzellänge von 12,6 mm ausgegangen. Aus dieser Rechnung ergab sich abgerundet eine Länge von 4 mm für jedes Wurzel Drittel und die Markierungen erfolgten somit auf einer Höhe von 5, 9 und 13 mm zum anatomischen Apex (s. Abb.12).



**Abb. 12:** *Markierung und Kürzen der Zähne*

### **2.3.2 Präparation der Wurzelkanäle**

Als erster Schritt in der Aufbereitung wurden die Zähne trepaniert. Die primäre und sekundäre Zugangskavität wurde mittels eines roten Winkelstücks (Mat.10 mit einer diamantierten Walze (Mat.11) und eines grünen Winkelstücks (Mat.12) mit Gates-Glidden-Bohren (Mat.13) geschaffen und die Patency mit einer Stahlfeile (Mat.14) der Größe ISO 10 überprüft bzw. hergestellt (s. Abb.13). Die über den Apex reichende Spitze galt hier als Beweis.



**Abb. 13: Überprüfung der Apikalen Patency**

Konnte auch eine Feile der ISO-Größe 25 über den Apex hinausgeschoben werden, wurde der Zahn verworfen. Ein Ausschluss des Zahns folgte auch dann, wenn ein Zugang aufgrund von Obliteration nicht möglich war.

Vor der eigentlichen Wurzelkanalaufbereitung wurden nun der Apex des Zahns mit Heißkleber (Mat.15) verschlossen, um die physiologische Lagerung des Zahns im periapikalen Gewebe zu simulieren (s. Abb. 14).



**Abb. 14: Apikales Abdichten mittels Heißkleber**

Bis auf die 10 Zähne der Negativkontrolle wurden die restlichen 110 Zähne wie folgt aufbereitet:

Die manuelle Präparation des Gleitpfades wurde mit Stahlfeilen der Größe ISO 10 bis ISO 15 durchgeführt. Anschließend erfolgte die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung auf einer Arbeitslänge von 15 mm mit einem Endo-Motor (Mat.16), einem Handstück (Mat.17) und Nickel-Titan-Feilen (Mat. 18) in folgender Reihenfolge der Feilen:

1. FlexMaster® 15/02
2. FlexMaster® 20/02
3. M<sub>two</sub>® 20/06
4. M<sub>two</sub>® 25/06
5. M<sub>two</sub>® 30/05
6. M<sub>two</sub>® 35/05
7. M<sub>two</sub>® 40/04
8. M<sub>two</sub>® 25/07



**Abb. 15: Maschinelle Aufbereitung**

Zwischen jeder Feile wurde mit 1,5 mL 3%igem NaOCl (Mat.19) mit einer nach apikal offenen 30 gauge Spülkanüle (Mat.20) möglichst 1 mm vor der Arbeitslänge gespült. Außerdem wurde mit einer ISO 10 Stahlfeile rekapituliert. Bei der Verwendung der Feilen wurde darauf geachtet, dass diese bei höchstens 10 Proben eingesetzt und im Falle stärkerer Gebrauchspuren, wie zum Beispiel Aufwindungen oder Knicken, schon vorher verworfen wurden.

### **2.3.3 Spülprotokoll und Aktivierung**

In allen Versuchsgruppen galten die gleichen Bedingungen. Der einzige Unterschied bestand in der Art der Aktivierung.

Nach der Aufbereitung wurde der Kanal zunächst mit 5 mL NaOCl gespült. Nach Spülung mit der Hälfte der 5 mL wurde die Flüssigkeit mit dem jeweiligen Aktivierungssystem auf 13 mm (Arbeitslänge – 2 mm) für 20 Sekunden aktiviert. Anschließend erfolgte die Spülung mit den restlichen 2,5 mL NaOCl. Genau das gleiche Aktivierungsprotokoll erfolgte dann mit 3 mL 17%iger EDTA (Mat.21), aufgeteilt auf 1,5mL und 1,5 mL, und anschließend wieder wie oben beschrieben mit 5 mL NaOCl. Um eine Interaktion der Spülflüssigkeiten möglichst gering zu halten, wurde beim Wechsel der Spülflüssigkeiten durch Aspiration der Spritze, der Rest der Spülflüssigkeit herausgesogen.

Die Einstellung der Motoren und der Ansätze, sowie die Ansatzgröße wurden zuvor, falls nicht in der Bedienungsanleitung explizit formuliert, bei den Herstellern erfragt und wie unten beschrieben angewandt (s. Tabelle 4, S.41). Eine Besonderheit stellt hier die EDDY<sup>®</sup>-Aktivierungsspitze (Mat.22) auf dem Schallansatz (Mat.2) dar, da der Antriebsdruck zunächst mit einem Manometer (Mat.23) überprüft wurde (s. Abb. 17).

### **Gruppe EA1, EA2, EA3:**

- Aktivierung der Spülflüssigkeiten mit dem EndoActivator<sup>®</sup> (Mat.24) für 60 Sekunden (3 mal 20 sec.) auf einer Länge von 13 mm (s. Abb. 16)
- Ansatz 15/02, 25/.04 oder 35/.04 (je nach Gruppenzuordnung)
- Stufe 3 = 10.000 U/min = 167 Hz
- hierbei langsame Auf- und Abbewegungen
- Verwerfen der Ansätze nach Anwendung bei 5 Proben



**Abb. 16: Aktivierung mit dem EndoActivator<sup>®</sup>**

### **Gruppe PUI:**

- Passive Ultraschallaktivierung mit dem VDW.Ultra Motor (Mat.25) für 60 Sekunden (3 mal 20 sec.) auf einer Länge von 13 mm
- Ansatz Irrisafe 15/02 (Mat.26)
- hierbei langsame Auf- und Abbewegungen
- 30 % Schwingungsamplitude, 28 kHz
- Verwerfen der Ansätze nach 10 Proben

## Gruppe EDY:

- Aktivierung mit dem schallaktivierten Ansatz EDDY® (Mat.22) für 60 Sekunden (3 mal 20 sec.) auf einer Länge von 13 mm
- Ohne Kühlung bzw. Wasserzufuhr
- hierbei langsame Auf- und Abbewegungen
- Antriebsdruck von 3 bar, Frequenz von ca. 6 kHz, Stufe 1 = Schwingweite von 120 +/- 15 Mikrometer
- Einmalig für die Einheit: Einstellung des Antriebsdrucks durch ein Prüfmanometer (s. Abb.17)
- Verwerfen der Ansätze nach 5 Proben

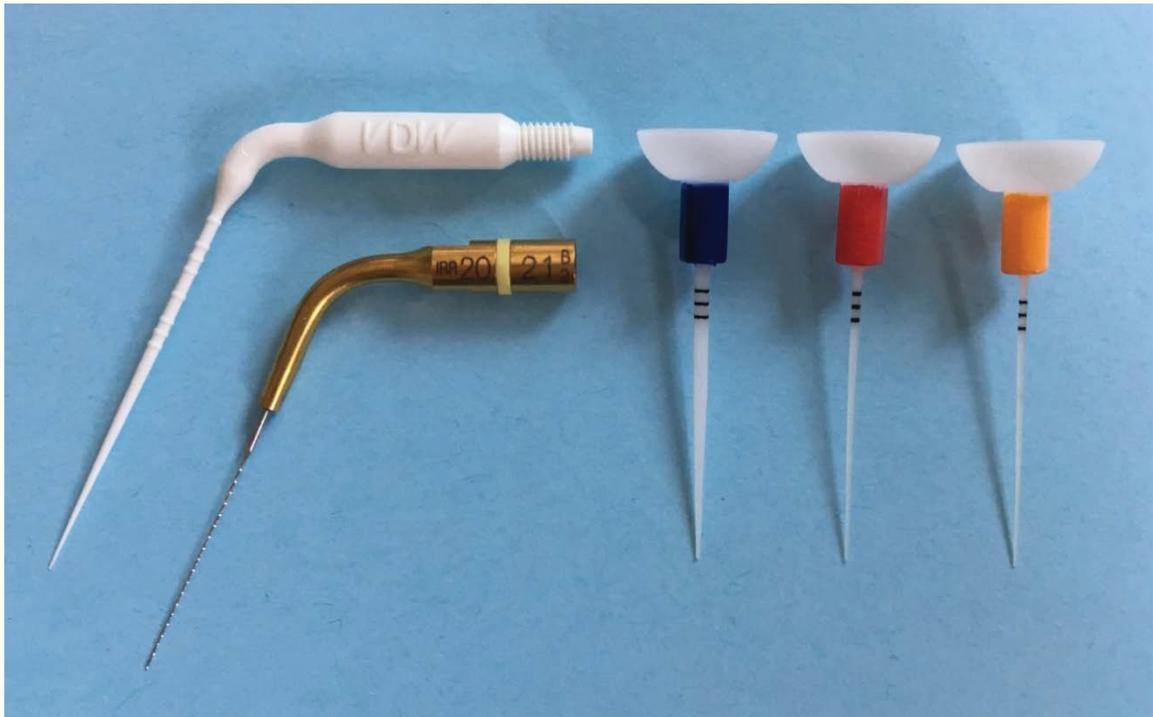
Die Zähne der **Negativkontrolle** (n=10) wurden nicht aufbereitet, sondern nur gekürzt, markiert und getrennt.

Die Zähne der **Positivkontrolle** (n=10) wurden nach der Aufbereitung nur dem Spülprotokoll ohne zusätzliche Aktivierung unterzogen. Die Spülflüssigkeit wurde für die eigentliche Zeit der Aktivierung jeweils 20 Sekunden im Kanal stehen gelassen.



**Abb. 17: Prüfmanometer**

*Das Prüfmanometer wird zwischen Airscaler und Ansatz der Einheit gesteckt. Die Drücke können nun nach Bedienung des Fußpedals abgelesen werden. Einstellen des gewünschten Antriebsdruckes durch Verschieben des Fußpedals.*



**Abb. 18: Übersicht der Aktivierungsspitzen**

Zur besseren Einstellung der Aktivierungslänge wurden Markierungen mit einem Permanentmarker gesetzt. Hier sind sie noch nicht ersichtlich. Rechts erkennt man die Spitzen des EndoActivators® in aufsteigender Größe von rechts nach links. Der goldfarbene Ansatz ist die Irrisafe Spitze mit einer ISO 20er Größe und 21 mm Länge.

Gruppe	Ansätze zur Aktivierung	Ansatz-größe	Aktivierungs-dauer	Aktivierungs-länge	Einstellung und Antriebsdaten
<b>EA1</b>	EndoActivator®	15/.02	3 x 20 sec	13 mm	Stufe 3 (= 190+/-5 Hz) 10.000 U/min 160-190 Hz
<b>EA2</b>	EndoActivator®	25/.04	3 x 20 sec	13 mm	Stufe 3 (= 190+/-5 Hz) 10.000 U/min 160-190 Hz
<b>EA3</b>	EndoActivator®	35/.04	3 x 20 sec	13 mm	Stufe 3 (= 190+/-5 Hz) 10.000 U/min 160-190 Hz
<b>PUI</b>	Irrisafe® Feile VDW.Ultra	15/.02	3 x 20 sec	13 mm	30 % Schwingungs-amplitude 28 kHz
<b>EDY</b>	EDDY® Sonicflex 2003L	25/.06	3 x 20 sec	13 mm	Antriebsdruck 3 bar Frequenz ca. 6 kHz Schwingweite Stufe 1 (= 120 +/- 15 µm)
<b>PK</b>	Keine Aktivierung	Flüssigkeit steht für 3 x 20 sec im Kanal			
<b>NK</b>	Keine Aufbereitung				

**Tabelle 4: Übersicht der Gruppen und Einstellungen**

### 2.3.4 Trennen der Zähne

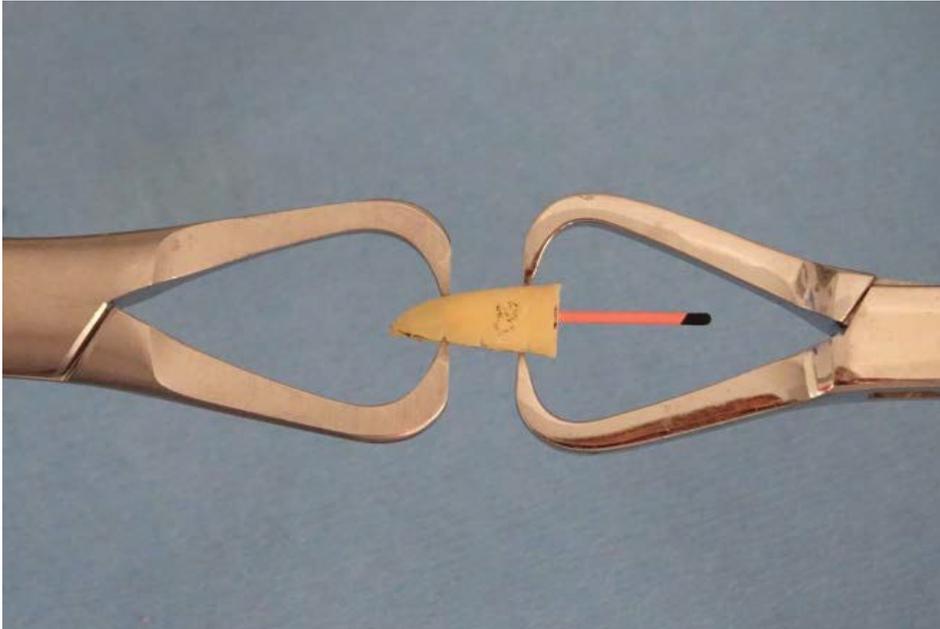
Nach der Aktivierung wurden alle Zähne der Versuchsgruppen und der Positivkontrolle mit 5 mL destilliertem Wasser (Mat.27) gespült und danach mit Papierspitzen (Mat.28) getrocknet.

Im Anschluss wurden die Zähne mit Hilfe der diamantierten Scheibe in eine mesiale und eine distale Hälfte getrennt (s. Abb.19). Bei der Trennung wurde darauf geachtet, dass die endgültige Trennung der Wurzel nicht durch die Trennscheibe erfolgte. Hierzu wurde ein Guttapercha *Point* (Mat.29) der Größe ISO 40 in den Kanal eingebracht. Von außen wurden zwei longitudinale Rillen jeweils von oral und von vestibulär mit der diamantierten Scheibe gefräst, die jedoch den Kanal nicht eröffneten. Die endgültige Teilung erfolgte manuell mit zwei Kronenabnehmerzangen (Mat.30), um keinen Schleifstaub in das Kanallumen eindringen zu lassen (s. Abb.20).

Die getrennten Wurzelhälften wurden erneut beschriftet und bis zur weiteren Bearbeitung staubdicht in einem luftdichten Behältnis gelagert.



Abb. 19: *Trennen der Zähne – Schritt 1*



**Abb. 20: Trennen der Zähne – Schritt 2**



**Abb. 21: Getrennter Zahn – Aufsicht**

*Eine häufigere Komplikation bei der Trennung stellt die Fraktur einer Wurzelhälfte dar. Gut erkennbar sind die Markierungen an der oralen Wurzeloberfläche des Zahns und die Zugangskavität. Außerdem ist hier sehr schön erkennbar, dass die letztendliche Teilung durch die Zangen erfolgte und nicht durch die Trennscheibe (glänzende, bearbeitete Oberfläche zu matter Oberfläche).*

## 2.4 Betrachtung im REM

Zur Vorbereitung der Proben, wurde die geeignete der beiden Wurzelhälften ausgewählt und 5 Tage in einem Exsikkator (Mat.31) getrocknet. Anschließend wurde sie auf einer Metallplatte (Mat.32) mit Klebepads (Mat.33) fixiert und mit Hilfe von Kathodenzerstäubung mit Gold beschichtet (Mat.34)(s. Abb.22). Zur Sicherheit wurde mit der zweiten Hälfte ebenso verfahren, um bei Bedarf auf sie zurückgreifen zu können.

Unter dem Rasterelektronenmikroskop (Mat.35) wurden Scans von jedem Wurzeldrittel in jeweils 2 Vergrößerungen (200-fach und 1000-fach) angefertigt und abgespeichert. Falls interessante Strukturen zu erkennen waren, wurden bei Bedarf zusätzliche Detailaufnahmen in 40-facher und 2500- bis 3000-facher Vergrößerung angefertigt.

Bei der Anfertigung der Fotografien wurde besonderer Wert auf die spontane und zufällige Auswahl des Bereichs gelegt. Zur Orientierung dienten die Kerben, die die Wurzeldrittel begrenzten. Für das untere Drittel wurde zufällig ein Bereich zwischen dem Apex und der untersten Kerbe eingestellt. Das mittlere Drittel wurde von der unteren und der mittleren Markierung und das obere von der Mittleren und der Oberen eingerahmt. Die oberen 3 mm, die die Zugangskavität darstellen, wurden nicht untersucht.

Zunächst wurde in einer möglichst kleinen Vergrößerung der Wurzelkanal und anhand der Rillen die Wurzelkanalabschnitte aufgesucht. Innerhalb eines Abschnitts wurde dann zufällig ein Bereich eingestellt, in dieser Position vergrößert und gescannt (200-fach und 1000-fach). Falls der Bereich nicht scharf gescannt werden konnte (zu helle und dunkle Darstellung), wurde der Vorgang für eine andere zufällig ausgewählte Position wiederholt. Konnte eine Struktur des Wurzelkanals nicht erklärt werden oder weichte stark von der Norm ab, wurde dieser Zahn verworfen.



**Abb. 22: Gesputterte Zahnhälften**

*Bei genauer Betrachtung ist ersichtlich, dass die Wurzelkanaloberfläche makroskopisch unterschiedlich erscheinen. Zahn 59 und 85 mit engeren Lumina zeigen eine glattere Oberfläche als Zahn 68, der vor Allem im oberen Drittel deutlich breiter ist.*

## 2.5 Auswertung der Scans

Bei der Auswertung der Bilder wurde zum einen die Menge an Debris und zum anderen die Schmierschicht bewertet. Die *Scans* wurden von zwei unabhängigen Untersuchern ausgewertet und bei unterschiedlichen Bewertungen nochmals diskutiert.

Die Menge an Debris wurde nach folgenden Kriterien bei einer 200-fachen Vergrößerung bewertet (Hülsmann et al., 1997):

<b>1</b>	Saubere Kanaloberfläche; nur wenige Debrispartikel
<b>2</b>	Einige kleine Ansammlungen an Debris
<b>3</b>	Viele Ansammlungen an Debris; < 50% der Kanaloberfläche
<b>4</b>	> 50% der Kanaloberfläche sind mit Debris bedeckt
<b>5</b>	(Annähernd) Komplette Kanaloberfläche mit Debris bedeckt

**Tabelle 5: Bewertung Debris**

Die Auswertung der Schmierschicht erfolgte nach dem 5-Score Index System nach Hülsmann (Hülsmann et al., 1997) bei einer 1000-fachen Vergrößerung:

<b>1</b>	Kein <i>smear layer</i> , Dentintubuli offen
<b>2</b>	Geringe Menge an <i>smear layer</i> , Einige Dentintubuli offen
<b>3</b>	Homogener <i>smear layer</i> bedeckt das meiste der Kanaloberfläche, Wenige oder keine offenen Dentintubuli
<b>4</b>	Kanalwand komplett mit homogenem <i>smear layer</i> bedeckt, Keine offenen Dentintubuli
<b>5</b>	Massiver, inhomogener <i>smear layer</i> bedeckt die gesamte Kanalwand, Keine offenen Dentintubuli

**Tabelle 6: Bewertung smear layer**

## 2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm „IBM SPSS Statistics 25“ (Mat.36). Hierbei wurde auf non-parametrische Tests zurückgegriffen. Zur einfaktoriellen Varianzanalyse wurde der Kruskal Wallis Test herangezogen. Die Paarvergleiche wurden manuell mit dem Mann-Whitney-U Test durchgeführt. Es erfolgte anschließend, bei Bedarf, die manuelle Bonferroni-Korrektur.

Das Signifikanzniveau wurde für alle Untersuchungen bei  $p=0.05$  festgelegt. Die Datenerfassung und die Erstellung von Tabellen und Diagrammen erfolgten in einer Excel-Tabelle (Mat.7).

# 3 Ergebnisse

In diesem Abschnitt soll zunächst ein Überblick der Ergebnisse mittels ausgewählter Diagramme und Tabellen vermittelt werden. Folgend wird auf die aufgestellten Nullhypothesen in den Unterkapiteln einzeln eingegangen. Die Schmierschicht und Debrispartikel werden stets getrennt betrachtet.

## 3.1 Deskriptive Statistik

### 3.1.1 Schmierschicht

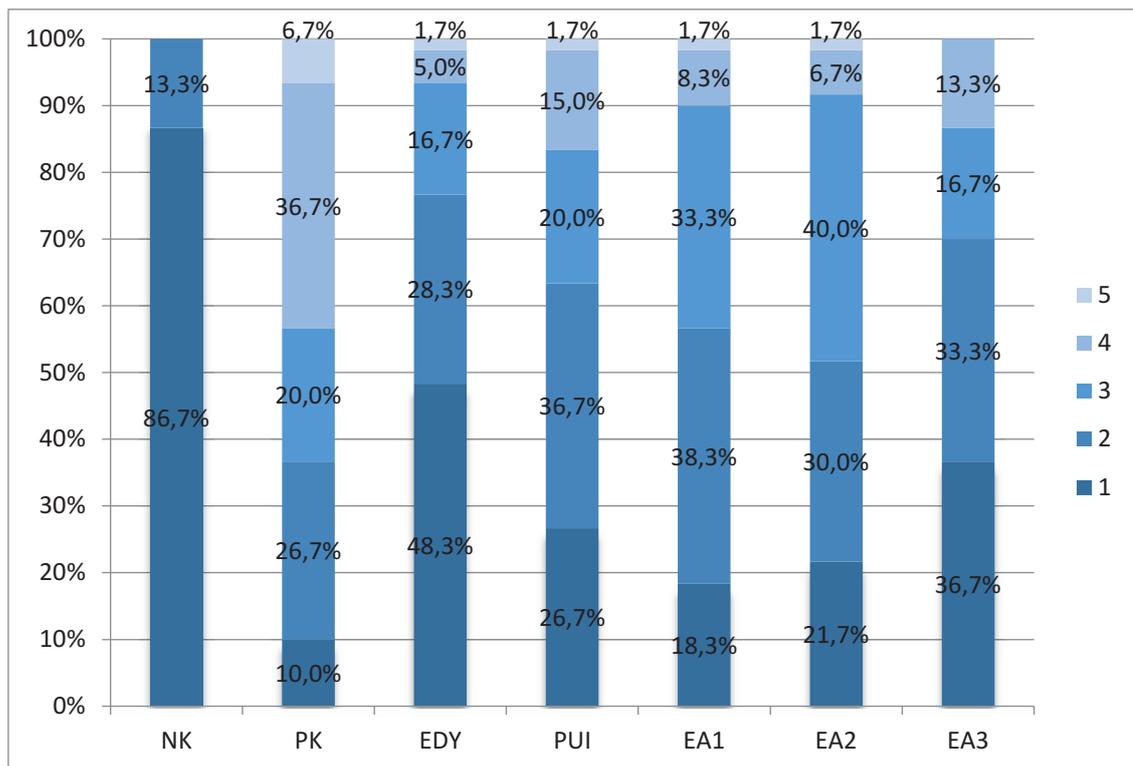


Diagramm 1: Smear layer – Prozentuale Verteilung innerhalb der Gruppen

		NK	PK	EDY	PUI	EA1	EA2	EA3
<b>Smear layer</b>	<b>1</b>	26	3	29	16	11	13	22
	<b>2</b>	4	8	17	22	23	18	20
	<b>3</b>	0	6	10	12	20	24	10
	<b>4</b>	0	11	3	9	5	4	8
	<b>5</b>	0	2	1	1	1	1	0
Total		30	30	60	60	60	60	60

**Tabelle 7: Schmierschicht – Verteilung der Proben innerhalb der Gruppe**

	N	Mean	Std. Dev.	Median
<b>NK</b>	30	1,13	0,346	1
<b>PK</b>	30	3,03	1,159	3
<b>EDY</b>	60	1,83	0,994	2
<b>PUI</b>	60	2,28	1,075	2
<b>EA1</b>	60	2,37	0,938	2
<b>EA2</b>	60	2,37	0,956	2
<b>EA3</b>	60	2,07	1,039	2

**Tabelle 8: Schmierschicht – Mittelwert, Standardabweichung, Median**

Erläuterung der Tabellen und Diagramme:

Pro Aktivierungsgruppe wurden n=20 Zahnhälften verwendet, es wurden 3 Abschnitte (Wurzeldrittel) bewertet. So ergaben sich 60 Werte pro Gruppe. Die Kontrollgruppen umfassten n=10 Zähne bzw. Hälften. Daraus ergeben sich somit 30 Werte pro Kontrollgruppe.

Die smear layer und Debris –Scores von 1 bis 5 sind im Material und Methoden - Teil in den Tabellen 5 und 6 (s. S.43) beschrieben. 1 stellt eine sehr saubere Wurzelkanaloberfläche dar, wobei 5 eine sehr verschmutzte Oberfläche beschreibt. Mittelwert, Standardabweichung und Median sollten aus streng statistische Sicht in diesem Fall nicht verwendet werden, jedoch lassen sich die Ergebnisse anhand dieser gut veranschaulichen.

### 3.1.2 Debris

		NK	PK	EDY	PUI	EA1	EA2	EA3
<b>Debris</b>	<b>1</b>	29	14	48	39	41	39	47
	<b>2</b>	1	6	8	13	15	14	9
	<b>3</b>	0	7	4	3	3	6	3
	<b>4</b>	0	2	0	5	1	1	1
	<b>5</b>	0	1	0	0	0	0	0
<b>Total</b>		30	30	60	60	60	60	60

Tabelle 9: Debris – Verteilung der Proben innerhalb der Gruppe

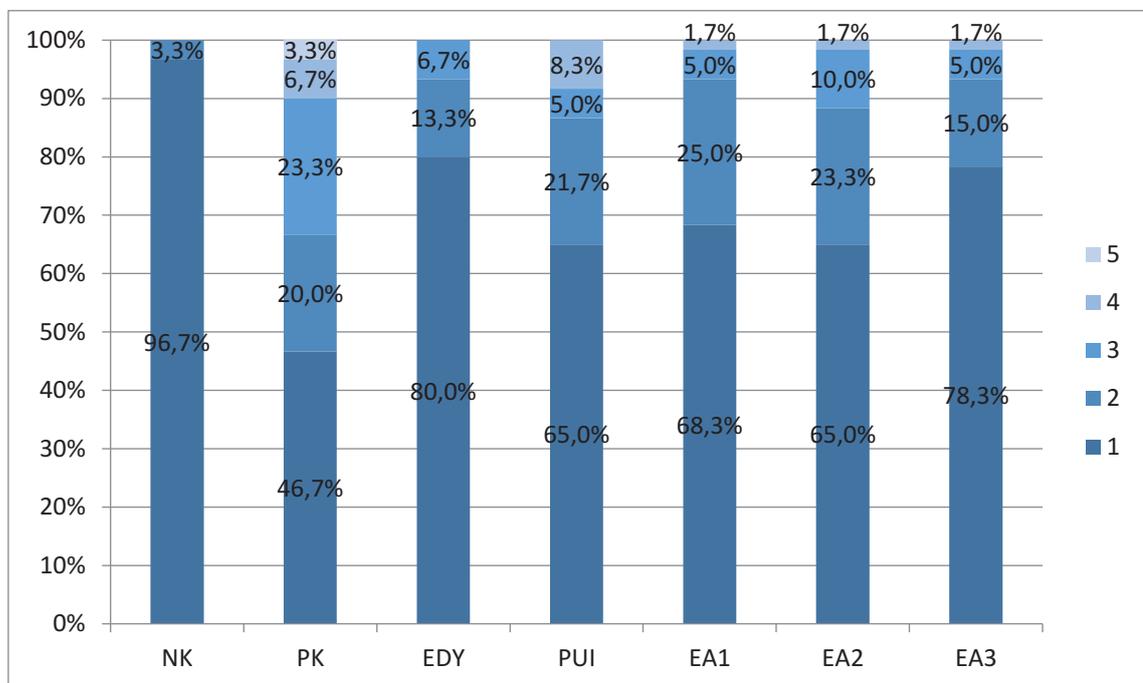


Diagramm 2: Debris– Prozentuale Verteilung innerhalb der Gruppen

	N	Mean	Std. Dev.	Median
<b>NK</b>	30	1,03	0,183	1
<b>PK</b>	30	2,00	1,145	2
<b>EDY</b>	60	1,27	0,578	1
<b>PUI</b>	60	1,57	0,927	1
<b>EA1</b>	60	1,40	0,669	1
<b>EA2</b>	60	1,48	0,748	1
<b>EA3</b>	60	1,30	0,646	1

Tabelle 10: Debris – Mittelwert, Standardabweichung, Median

## 3.2 Negativkontrolle

Die Intention der Einbeziehung der Negativkontrolle ist der Nachweis der Schmierschicht und Debrisentstehung durch die Aufbereitung des Zahns mit Instrumenten.

Mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests wurde die Gruppe der Negativkontrolle mit allen anderen Gruppen, welche zusammengefasst wurden, verglichen. Es zeigte sich ein p-Wert von kleiner als 0,001 bei dem Vergleich der Schmierschicht und von 0,01 beim Vergleich der Debrisverschmutzung. Somit konnte nachgewiesen werden, dass die aufbereiteten Zähne eine signifikant stärkere Schmierschicht- und Debrisverschmutzung aufwiesen als die Unaufbereiteten.

Rein deskriptiv wiesen 26 der 30 untersuchten Wurzeldrittel der Negativkontrolle einen Schmierschichtgrad von 1 auf. Bei der Bewertung von Debris wurde lediglich ein Wurzeldrittel dem Grad 2 zugeordnet.

Somit waren 96,7% der Zähne frei von Debris und 86,7% frei von einer Schmierschicht.

## 3.3 Positivkontrolle

Mittels des Mann-Whitney-U-Tests konnte anschließend nachgewiesen werden, dass die Anwendung einer Spülaktivierung zu einer effektiveren Schmierschicht- und Debrisentfernung führt.

Es wurden zunächst global die Zähne der Positivkontrolle mit den Zähnen der Aktivierungsgruppen (PUI, EDY, EA1, EA2, EA3), welche zusammengefasst wurden, analysiert. Das Resultat des Mann-Whitney-U Test war ein p-Wert von kleiner als 0,001 für die Schmierschicht und von 0,001 für Debris.

Über 43% der Zähne der Positivkontrolle wiesen einen Schmierschichtgrad von größer gleich 4 auf. Innerhalb der Aktivierungsgruppen erhielten hingegen nur 11% der Zähne diese Bewertung (s. Tabelle 11).

91% der aktivierten Zähne wiesen keine oder nur geringe Ansammlungen von Debrispartikeln auf. Innerhalb der Positivkontrolle fielen 66,7% in diese Kategorie.

Smear Layer	Aktivierung		Debris - Partikel	Aktivierung	
	nein	ja		nein	ja
1	10,0%	30,3%	1	10,0%	30,3%
2	26,7%	33,3%	2	26,7%	33,3%
3	20,0%	25,3%	3	20,0%	25,3%
4	36,7%	9,7%	4	36,7%	9,7%
5	6,7%	1,3%	5	6,7%	1,3%
Total	100,0%	100,0%	Total	100,0%	100,0%

**Tabelle 11: Vergleich Konventionelle Spülung und Aktivierung**  
*Prozentuale Verteilung der Scores*

Des Weiteren erfolgte der Vergleich der Positivkontrolle mit jeder einzelnen Versuchsgruppe, um zu prüfen, welches System der rein manuellen Spülung überlegen ist.

Es ergab sich ein signifikanter Unterschied zugunsten der EDDY®-Aktivierung ( $p < 0,001$ ) und für die Aktivierung mittels der verschieden großen EndoActivator®-Spitzen ( $p \leq 0,033$ ).

Die Aktivierung mittels PUI führte zu einer signifikant besseren Schmierschichtentfernung ( $p = 0,04$ ) aber zu keiner signifikant verbesserten Debrisentfernung ( $p = 0,59$ ).

### 3.4 Vergleich - Ansatzgrößen EndoActivator®

Verschiedene Größen der Aktivierungsspitze des EndoActivators® führten zu keiner signifikant unterschiedlichen Reinigungsleistung. Der Kruskal Wallis Test ergab einen p-Wert von 0,106 für die Schmierschicht und einen p-Wert von 0,259 für Debris. Folgend wurden deshalb die Gruppen des EndoActivators® zusammengefasst und als eine Gruppe betrachtet. Tabelle 12 zeigt die p-Werte der einzelnen Paarvergleiche nach Bonferroni-Korrektur.

Schmierschicht			Debris		
Ansätze	EA1	EA2	Ansätze	EA1	EA2
EA1			EA1		
EA2	0,921		EA2	0,600	
EA3	0,065	0,070	EA3	0,254	0,108

**Tabelle 12: Korrigierte P-Werte - Vergleich EndoActivator® Ansätze**

Rein deskriptiv war jedoch ein Unterschied zu Gunsten der größeren Aktivierungsspitze feststellbar.

### 3.5 Vergleich der Aktivierungsgruppen

Um eine Empfehlung der Art der Aktivierung aussprechen zu können, wurden nun die Aktivierungsgruppen untereinander verglichen (EDY, PUI, EA).

Der Kruskal Wallis Test ergab bei dem Vergleich aller Gruppen einen signifikanten Unterschied für die Schmierschicht ( $p=0,006$ ) und keinen signifikanten Unterschied für Debris ( $p=0,153$ ). Es kann also angenommen werden, dass die Sauberkeit des Wurzelkanals, bezogen auf die Schmierschicht, abhängig von der Art der Aktivierung ist. Bezüglich des Debris wurden die Gruppen nicht weiter verglichen.

Es erfolgten die paarweisen Vergleiche des *smear layers* und anschließend die Bonferroni-Korrektur.

Mittelwerte sollten aus streng mathematischer Sicht nicht berechnet werden, jedoch lassen sich die Ergebnisse anhand der Mittelwerte gut veranschaulichen. Aus ihnen wird deutlich, dass die stärkste Reinigungsleistung der EDDY®-Ansatz mit einem Mittelwert von 1,83 gefolgt vom EA (2,27) und der PUI (2,28), zeigte.

Wie die deskriptive Statistik schon erahnen lässt, ergab sich ein signifikanter Unterschied im Vergleich des EDDY®-Ansatzes zu der Passiven Ultraschallaktivierung ( $p=0,042$ ) und dem EndoActivator® ( $p=0,006$ ).

Im Vergleich der beiden zuletzt aufgeführten Geräte ergab sich kein signifikanter Unterschied ( $p=2,805$ ).

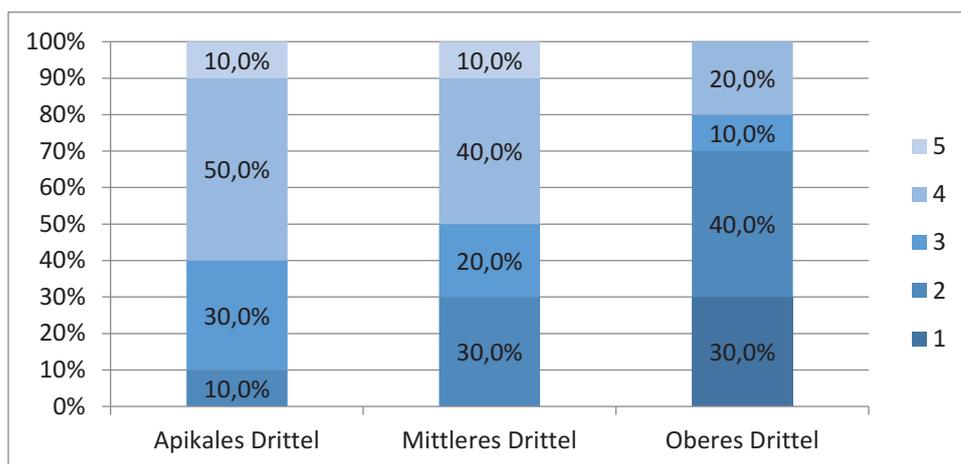
### 3.6 Vergleich der Wurzel Drittel

Zur statistischen Auswertung wurden zunächst die Positivkontrollen alleine betrachtet und in der weiteren Analyse auf die Gesamtheit der Aktivierungsgruppen geschaut. Als Letztes wurden Vergleiche innerhalb der einzelnen Aktivierungsgruppen angestrebt.

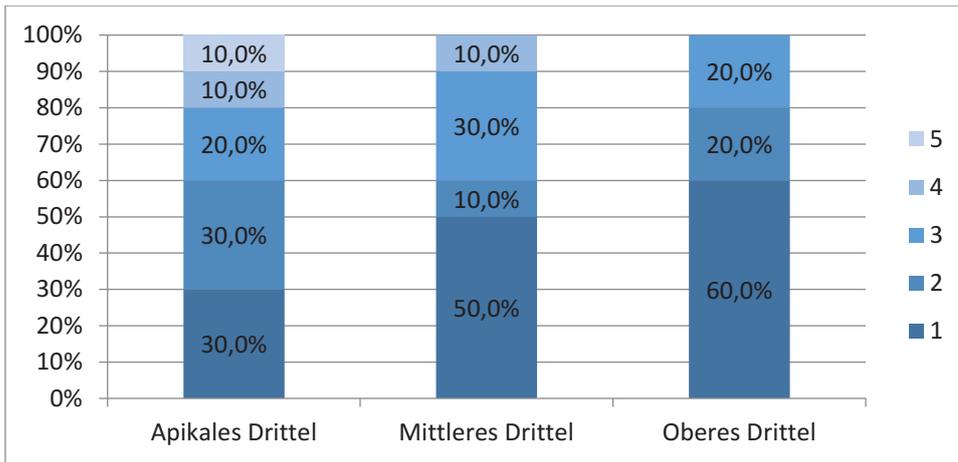
Es zeigte sich, dass es bei der rein manuellen Spülung einen signifikanten Unterschied zwischen den Dritteln bezüglich der Schmierschichtentfernung ( $p=0,023$ ) aber nicht bezüglich der Debrisentfernung ( $p=0,349$ ) gibt.

Das apikale Drittel wird signifikant schlechter von der Schmierschicht befreit als das Obere (korrigierter  $p$ -Wert=0,033). Zwischen den anderen Dritteln gibt es keinen signifikanten, nur einen deskriptiven Unterschied zu Gunsten des jeweils weiter koronal gelegenen Drittels (s. Diagramm 3 und 4).

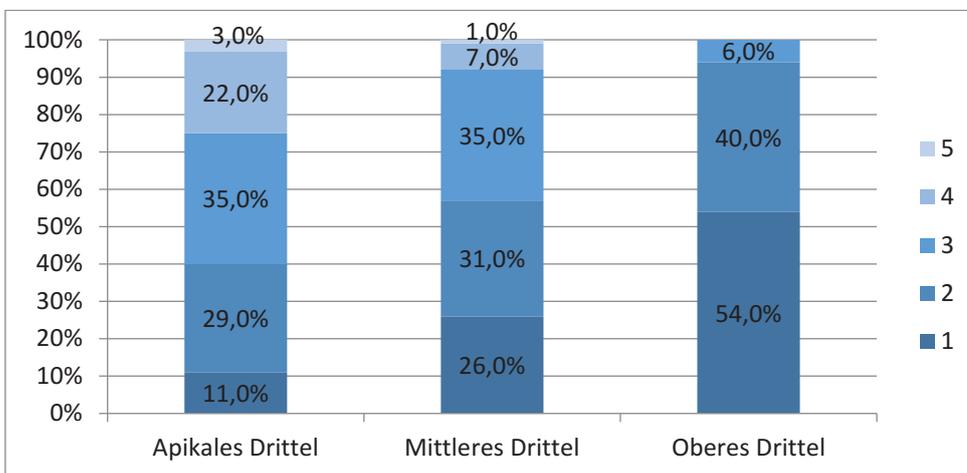
Innerhalb der Aktivierungsgruppen zeigte sich ein ähnliches Bild (s. Diagramm 5 und 6). In den folgenden Vergleichen wurden die Aktivierungsgruppen zusammengefasst und der Kurskal Wallis für den Vergleich der Wurzel Drittel berechnet. Der  $p$ -Wert lag bei kleiner als 0,001 für den *smear layer* und bei 0,001 für Debris.



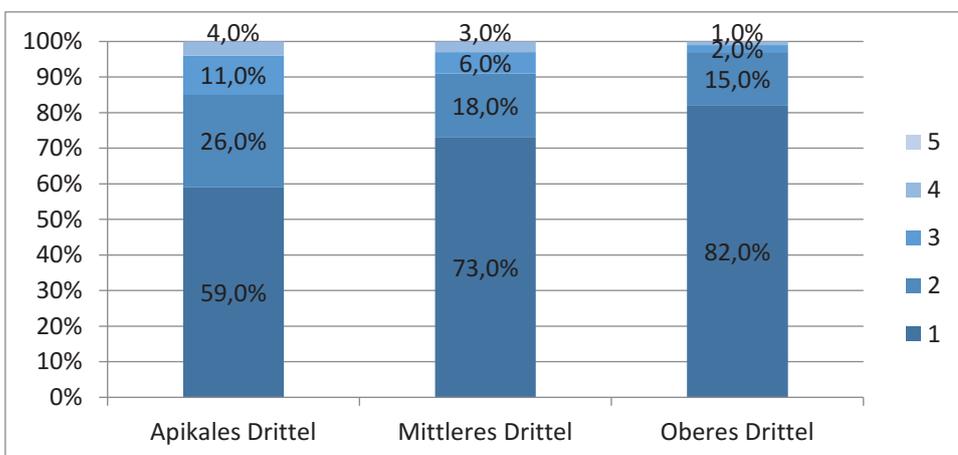
**Diagramm 3: Smear layer PK – Wurzel Drittel**  
Verteilung der Verschmutzungsgrade innerhalb der Wurzel Drittel



**Diagramm 4: Debris PK – Wurzel Drittel**  
Verteilung der Verschmutzungsgrade innerhalb der Wurzel Drittel



**Diagramm 5: Smear layer Aktivierungsgruppen - Wurzel Drittel**  
Verteilung der Verschmutzungsgrade innerhalb der Wurzel Drittel



**Diagramm 6: Debris Aktivierungsgruppen - Wurzel Drittel**  
Verteilung der Verschmutzungsgrade innerhalb der Wurzel Drittel

Um den Unterschied genauer zu beleuchten, wurden nun einzelne Mann-Whitney-U Tests mit anschließender Bonferroni-Korrektur gerechnet (s. Tabelle 13, S.59). Hierbei zeigte sich ein signifikanter Unterschied für die Schmierschicht zwischen allen Dritteln ( $p \leq 0,003$ ), wobei das jeweils weiter apikal gelegene Drittel verschmutzter war als das mehr koronal gelegene. Der Vergleich der Debrisverschmutzung zeigte einzig einen signifikanten Unterschied zwischen dem apikalen und dem koronalen Drittel ( $p < 0,001$ ). Auch hier galt oben genannter Zusammenhang.

Schmierschicht			Debris		
Wurzeldrittel	Oberes	Mittleres	Wurzeldrittel	Oberes	Mittleres
Oberes			Oberes		
Mittleres	<0,001		Mittleres	0,300	
Apikales	<0,001	0,003	Apikales	<0,001	0,111

**Tabelle 13: korrigierte P-Werte – Vergleich Wurzeldrittel**

Für eine noch genauere Analyse wurden nun die Wurzeldrittel innerhalb der einzelnen Gruppen betrachtet.

Mit Hilfe der Kruskal-Wallis Berechnung zeigte sich, dass es, bis auf die EDDY®-Aktivierung, keinen signifikanten Unterschied bezüglich der Debris-Partikel gab.

Bezogen auf den *smear layer* gab es in jeder Gruppe einen signifikanten Unterschied zwischen den Dritteln ( $p < 0,023$ ), wobei oben genannter Zusammenhang bestätigt wurde.

Die weiteren Vergleiche bezogen sich auf die Schmierschicht.

Zwischen den distanzmäßig am weitesten entfernten Dritteln (apikales und koronales) zeigten, nach der Bonferroni-Korrektur, alle Aktivierungsgruppen einen signifikanten Unterschied.

Der Vergleich des apikalen und des mittleren Drittels ergab, bis auf die Gruppe „EA2“, keinen signifikanten Unterschied.

Zwischen dem mittleren und dem oberen Drittel zeigte sich hingegen, bis auf die EDDY®-Aktivierung, ein signifikanter Unterschied.

## **4 Diskussion**

Das Hauptziel der Studie war es, die Effektivität verschiedener Spül- und Reinigungssysteme auf die Sauberkeit gerader Wurzelkanäle zu vergleichen. Die Untersuchung intentioniert die Optimierung des abschließenden Spülprotokolls nach erfolgter Wurzelkanalaufbereitung.

### **4.1 Diskussion - Material und Methoden**

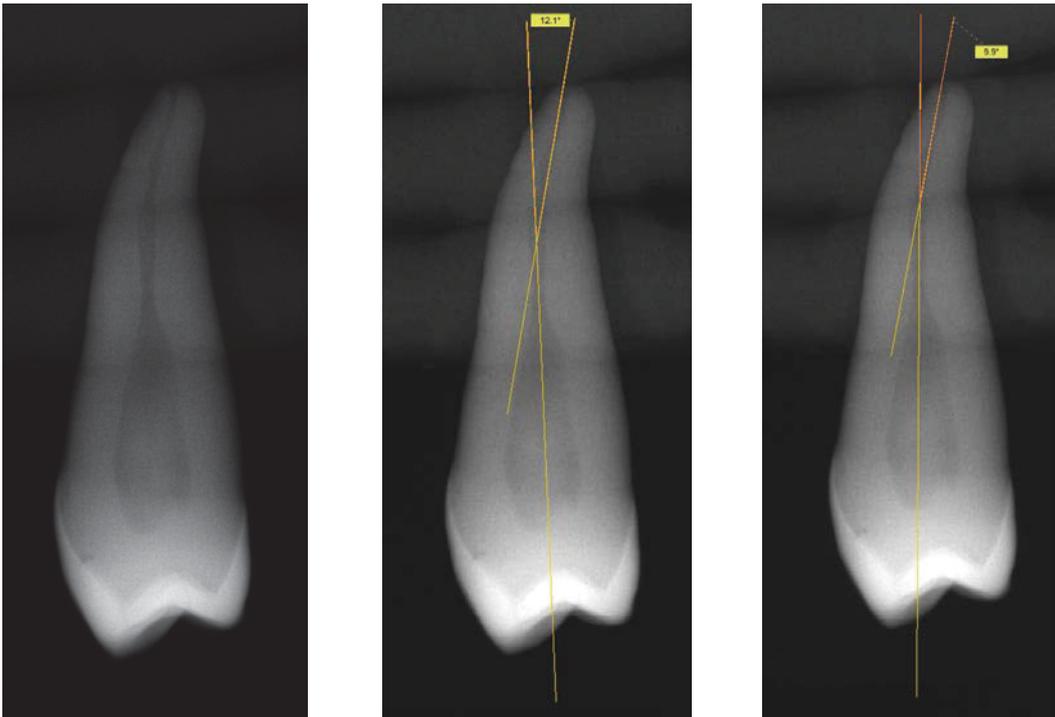
Es wurde versucht, in jeder Phase der Versuchsdurchführung möglichst standardisierte Bedingungen zu schaffen. Dazu gehörte die Beschränkung auf einwurzelige Zähne, die keine einflussnehmenden Pathologien aufwiesen. Außerdem sollten die Zähne möglichst gerade und das Wurzelwachstum abgeschlossen sein. Hierzu wurde die Wurzelkrümmung gemessen und die Patency überprüft.

#### **4.1.1 Messung Wurzelkrümmung**

Die Wurzelkrümmung wurde mit der Methode nach Schneider (Schneider, 1971) bestimmt. Diese Messung ist einfach und schnell durchzuführen und gibt eine gute Übersicht über die Wurzelkrümmung.

Nachteilig an der Methode ist jedoch, dass die Bestimmung der Längsachse des Hauptverlaufes des Kanals und des Punktes an dem der Kanal diese Hauptachse verlässt, durchaus einen Spielraum von einigen Winkelgraden lässt.

Die beispielhafte Zeichnung aus oben genannter Veröffentlichung lässt dies schon vermuten (Schneider, 1971). Folgend wird dies noch einmal schematisch verdeutlicht (s. Abb. 23).



**Abb. 23: Alternative Positionierung der Achsen**

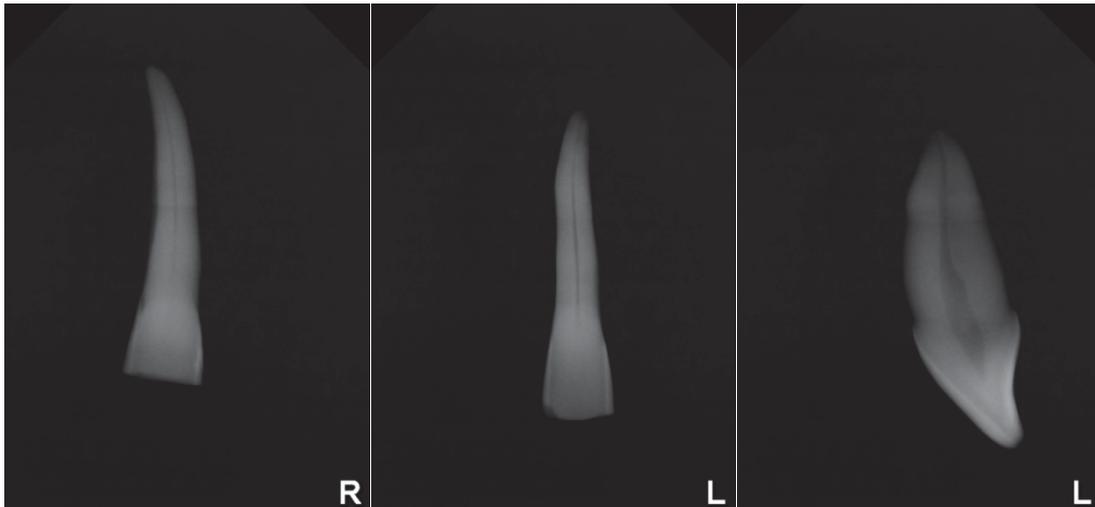
*Definition Wurzelkrümmung (Schneider, 1971): Winkel zwischen Längsachse des Kanals und Achse die durch den Apex und den Punkt verläuft, an dem der Kanal die Längsachse verlässt*

*Durchführung 2 spontaner voneinander unabhängiger Messungen:*

*Messung 1 (12°) und Messung 2 (10°)*

Ein weiterer Nachteil ist außerdem, dass verschiedene Krümmungsradien nicht beachtet werden (s. Abb. 24). Eine Krümmung auf einer kleinen Länge (ein kleiner Krümmungsradius) wirkt sich vermutlich anders auf die Beanspruchung der Feile und somit auf die *smear layer* Entstehung aus, als eine Gesamtkrümmung des Zahns (großer Krümmungsradius).

Außerdem werden S-förmige Kanalverläufe nicht berücksichtigt. In diesen Fällen wurde der Zahn zunächst gekürzt und eine erneute Röntgenaufnahme bei der initialen Sondierung mit einer Feile durchgeführt. Im Anschluss wurde die Wurzelkrümmung anhand des Feilenverlaufs gemessen.



**Abb. 24: Verschiedene Wurzelkrümmungen**

Die Beschränkung auf Zähne mit einer Wurzelkrümmung kleiner gleich  $20^\circ$  reduziert die oben genannten Problematiken zwar deutlich, schließt sie aber nicht vollständig aus.

Da ein Spielraum von  $5^\circ$  realistisch scheint, wäre eine Beschränkung auf Zähne mit einer Wurzelkrümmung von kleiner gleich  $15^\circ$  optimal. Außerdem könnte man zusätzlich die Bestimmung der Wurzelkanalgeometrie nach Pruett mit einbeziehen (Pruett et al., 1997). Mit dieser Methode würde zusätzlich der Krümmungsradius betrachtet werden.

Die Methode zur Messung der Wurzelkrümmung (Rödig et al., 2010, Caron et al., 2010, Blank-Goncalves et al., 2011) und die Grenze von  $20^\circ$  (Mancini et al., 2013, Rödig et al., 2010) sind in vergleichbaren Studien jedoch üblich. Auch klinisch konnten während der Aufbereitung weder taktil, noch an der Biegung der Feilen ausgeprägte Anzeichen einer Krümmung festgestellt werden. Die verwendete Methode ist somit als suffizient zu werten.

### **4.1.2 Aufbereitung der Zähne**

Auch bei der Aufbereitung wurde auf möglichst standardisierte Bedingungen geachtet. Die Zähne wurden nach einem standardisierten Protokoll von dem gleichen Behandler aufbereitet. Dieser Punkt ist essentiell, da die interindividuelle Durchführung in den Details sehr unterschiedlich sein kann.

Außerdem wurde die gleiche Menge an Spülflüssigkeit (21 mL NaOCl und 3 mL EDTA) mit einem subjektiv gleichen Applikationsdruck, auf der am weitesten möglichen Insertionstiefe, bis zu 14mm, verwendet.

Erwartungsgemäß zeigte sich infolge der anatomischen Variationsbreite eine unterschiedliche Friktion in den verschiedenen Bereichen des Wurzelkanals. Es könnte somit sein, dass bei einem Zahn alle Feilen auf annähernd voller Länge Friktion haben, wo hingegen bei einem anderen Zahn nur einige Feilen wenig Friktion im apikalen Drittel aufweisen. Bei zuletzt genannter Gegebenheit, wäre auch die Insertionstiefe der Spülkanüle von Anfang an deutlich tiefer. Die Menge der Schmierschicht und von Debris würde in diesen beschriebenen Fällen vermutlich sehr unterschiedlich ausfallen. Diese Vermutung wird von Peters et al. (2003) unterstützt. Sie untersuchten die Auswirkung des ProTaper® Systems auf unterschiedliche Anatomien des Wurzelkanals und fanden heraus, dass diese Art von Feilen schmale Kanäle besser und suffizienter aufbereitet als weite Kanäle (Peters et al., 2003).

Die einheitliche Schmierschichtentstehung als Voraussetzung zur Schaffung homogener Ausgangsbedingungen stellt somit eines der größten Probleme des Studiendesigns dar.

Eine Überlegung wäre es, die Zähne nach Friktion einzuteilen, jedoch ist auch dann nicht klar auf welcher Höhe im Wurzelkanal die Friktion und somit die Schmierschichtentstehung erhöht ist. Das liegt an der Diversität des Querschnitts des Wurzelkanals. Auch bei einer hohen Friktion der Feile, heißt es nicht, dass die Feile der Kanalwand vollständig aufliegt. So gibt es immer Bereiche, die von der Feile nicht bearbeitet werden. Trotzdem wurde in dieser Studie die Friktion der Feile bei jeder Probe dokumentiert (s. Tabelle im Anhang). Sie wurde subjektiv in 4 Stufen eingeteilt. Auswirkung auf die Ergebnisse hat dies jedoch nicht.

Eine hingegen vielversprechende Verbesserungsoption wäre die ausschließliche Verwendung von Zähnen mit bekanntermaßen engen Wurzelkanälen, wie zum Beispiel Unterkiefer Inzisiven. Wenn diese Zähne nur einen Kanal besitzen, weisen sie in den meisten Fällen in mesio-distaler Dimension einen geraden und wenig konischen Kanalverlauf auf und ähneln sich stark in ihrer Anatomie. Weil mit der in dieser Studie verwendeten Methode

vor Allem die mesiale und distale Wurzelkanaloberfläche betrachtet wird, wäre diese Voraussetzung eine deutliche Verbesserung zur Erlangung möglichst standardisierter Bedingungen. Eine einheitlichere und höhere Friktion würde somit zu einer besseren Aufbereitung (Peters et al., 2003) und einer einheitlicheren Schmierschichtentstehung führen.

Dieser Kritikpunkt des Studiendesigns wurde von vielen zuvor zitierten Arbeitsgruppen ebenfalls nicht beachtet. Einige Arbeitsgruppen verwenden zwar ausschließlich eine Zahngruppe, wie zum Beispiel Oberkiefer Inzisiven (Capar und Aydinbelge, 2014, Guo et al., 2014), Eckzähne (Kanter et al., 2011) oder Unterkiefer Prämolaren (Mancini et al., 2018, Urban et al., 2017), jedoch weisen diese Zähne eher weite und konische Wurzelkanäle auf, in denen die Aufbereitung und Schmierschichtentstehung sehr heterogen ausfällt.

Die Effektivität der Aktivierungssysteme kann alternativ auch an anderen Parametern getestet werden, die eventuell einheitlichere Bedingungen ermöglichen. Studiendesigns, die nicht an die Voraussetzung der Schmierschichtentstehung gebunden sind, sollten somit in Erwägung gezogen werden.

Plotino et al. untersuchten die Entfernung von künstlich erzeugten und platzierten Debris aus artifiziellen einheitlichen Wurzelkanälen (Plotino et al., 2019). Ein ähnliches Design verwendete die Arbeitsgruppe um Swimberghe (2019). Sie nutzen transparente Resinblöcke mit standardisierten Wurzelkanälen und Isthmi, aus denen die Entfernung eines debrishaltigen Gels untersucht wurde (Swimberghe et al., 2019).

Ein weiteres Studiendesign, welches die Effizienz von Aktivierungssystemen auf die Entfernung von platziertem Kalziumhydroxid aus geraden Wurzelkanälen vergleicht, hat ebenfalls den Vorteil, dass die Ausgangsbedingungen, durch die manuelle und visuell überprüfbare Platzierung des Medikaments, einheitlicher sind (Donnermeyer et al., 2019).

Als Nachteil dieser Methoden könnte jedoch zu nennen sein, dass die artifiziellen Modelle und Partikel *in vivo* Bedingungen deutlich schlechter simulieren.

Zurückkommend auf das in dieser Arbeit präsentierte Studiendesign, widmet sich der folgende Abschnitt nun dem *Vapor lock* Effekt. Um diesen im apikal

geschlossen Wurzelkanalsystem zu simulieren, wurde der Apex mit Heißkleber verschlossen. Eine Missachtung dieser physiologischen Simulation würde zu verfälschten Ergebnissen führen (Tay et al., 2010).

Der Effekt des *Vapor locks*, verhindert die suffiziente Desinfektion und Reinigung des Wurzelkanals. Durch entstehende Gasbläschen und fehlender Mikrozirkulation, vor allem im apikalen Bereich, wird die Wirkung der applizierten Spüllösung herabgesetzt. Mit Hilfe von Aktivierungssystemen, kann dieser Effekt reduziert werden (Agarwal et al., 2017).

Eine entsprechende Aufbereitung mit adäquatem *Taper* ist Voraussetzung für eine suffiziente Spülung des Wurzelkanalsystems. Je größer die apikale Aufbereitungsgröße ist, desto besser fällt die bakterielle Reduktion aus (Rodrigues et al., 2017). Menschliche Molaren wurden in der zuvor zitierten Studie bis 35/.04 und einwurzelige Zähne bis 50/.04 aufbereitet.

Die Arbeitsgruppe um Brunson fand heraus, dass eine apikale Aufbereitungsgröße von ISO 40 mit einem 0.04 *Taper* die optimale Aufbereitungsgröße ist, um ein Maximum an Spülflüssigkeit zu gewährleisten, dass das apikale Drittel penetriert und dabei die Stabilität des Zahns nicht zu stark beeinflusst (Brunson et al., 2010). Die Werte wurden mit einem ANP-System ermittelt.

Auch die Arbeitsgruppe um Xu bestätigte, dass bei einer Aufbereitungsgröße von ISO 40/.04 apikal weniger Debris vorzufinden ist als bei kleiner aufbereiteten Zähnen (Xu et al., 2018).

In dieser Studie wurden die Zähne bis ISO 40/.04 aufbereitet. Eine größere Erweiterung schwächt die Wurzel und erhöht die Gefahr der Penetration von Spülflüssigkeit oder *Sealer* in das umliegende Gewebe.

Beim abschließenden Spülprotokoll wurde ein Volumen von 10 mL 3%igem NaOCl und 3 mL 17%iger EDTA gewählt. Diese Menge wurde auf drei Aktivierungsvorgänge, je 30 Sekunden und 6 Spüleinheiten, aufgeteilt.

Zehnder resümiert, dass es keine Notwendigkeit gibt, NaOCl in Konzentrationen über 1% anzuwenden, da es zu keiner zusätzlichen Eliminierung von Mikroorganismen führt und schwere Irritationen bei der Extrusion von hohen Konzentrationen (5,25%) beschrieben wurden (Zehnder, 2006). Wichtiger sind die ständige Zufuhr von frischem NaOCl über eine

ausreichende Zeit und die Verbesserung der Penetration der Spülflüssigkeit (Zehnder, 2006). Durch die Verwendung von Aktivierungssystemen wird eine erhöhte Penetration des Wurzelkanalsystems erreicht (de Gregorio et al., 2010).

Selbst bei einem sehr hohen Spülvolumen von 10 mL 17%iger EDTA und 10 mL 5%igem NaOCl und jeweils einminütiger Aktivierung beider Spülflüssigkeiten im abschließenden Spülprotokoll, ergeben sich keine vollständig sauberen Kanalwände (Capar und Aydinbelge, 2014).

Das oben genannte Spülprotokoll wurde in Anregung an die Veröffentlichung von Blank-Goncalves et al. gewählt, die sehr gute Resultate, selbst in gekrümmten Wurzelkanälen erzielten (Blank-Goncalves et al., 2011).

Die Spülung erfolgte 1 mm vor Arbeitslänge mit einer nach apikal geöffneten Kanüle.

Es spielt keine Rolle ob NaOCl oder EDTA im abschließenden Spülprotokoll aktiviert wird (Schmidt et al., 2015). Vorzugsweise werden beide Spülflüssigkeiten aktiviert.

### **4.1.3 REM**

Wie bereits im Material- und Methodenabschnitt beschrieben, erfolgte die Auswahl des zu bewertenden Wurzelkanalabschnittes zufällig, um eine mögliche Beeinflussung des Untersuchers auszuschließen.

Ein Punkt der imponierte, war, dass die Wurzelkanäle an zwei nahe gelegenen Stellen zum Teil eine sehr unterschiedlich stark ausgeprägte Schmierschicht aufwiesen und auch die Anzahl an vorhandenen bzw. offenen Tubuli variierte.

Eine mögliche Ursache dieses beschriebenen Phänomens konnte die bereits oben angesprochene Problematik der anatomischen Varianz des Kanalquerschnitts und -durchmessers sein, während der Instrumentenquerschnitt und -durchmesser gleich bleibt und sich nicht flexibel der Wurzelkanalanatomie anpasst. Bei der Anzahl und der Größe der Tubuli könnte auch das Alter des Patienten eine Rolle spielen.

Es ist also fraglich, ob die Bewertung eines sehr kleinen Abschnittes ein aussagekräftiges Ergebnis liefert.

Urban et al. wählten den am stärksten verschmutzten Teil der Drittel aus (Urban et al., 2017). Nachteilig an dieser Methode ist jedoch, dass diese Auswahl das Drittel nicht repräsentativ vertritt. Diese Arbeitsgruppe schloss auch uninstrumentierte Areale aus, da sich dort keine Schmierschicht ausbildet. Diese Methode spiegelt jedoch nicht die typische klinische Situation wieder.

Ein weiterer Kritikpunkt der REM-Analyse ist, dass nur zweidimensionale Darstellungen möglich sind (Urban et al., 2017).

#### **4.1.4 Auswertung der Scans**

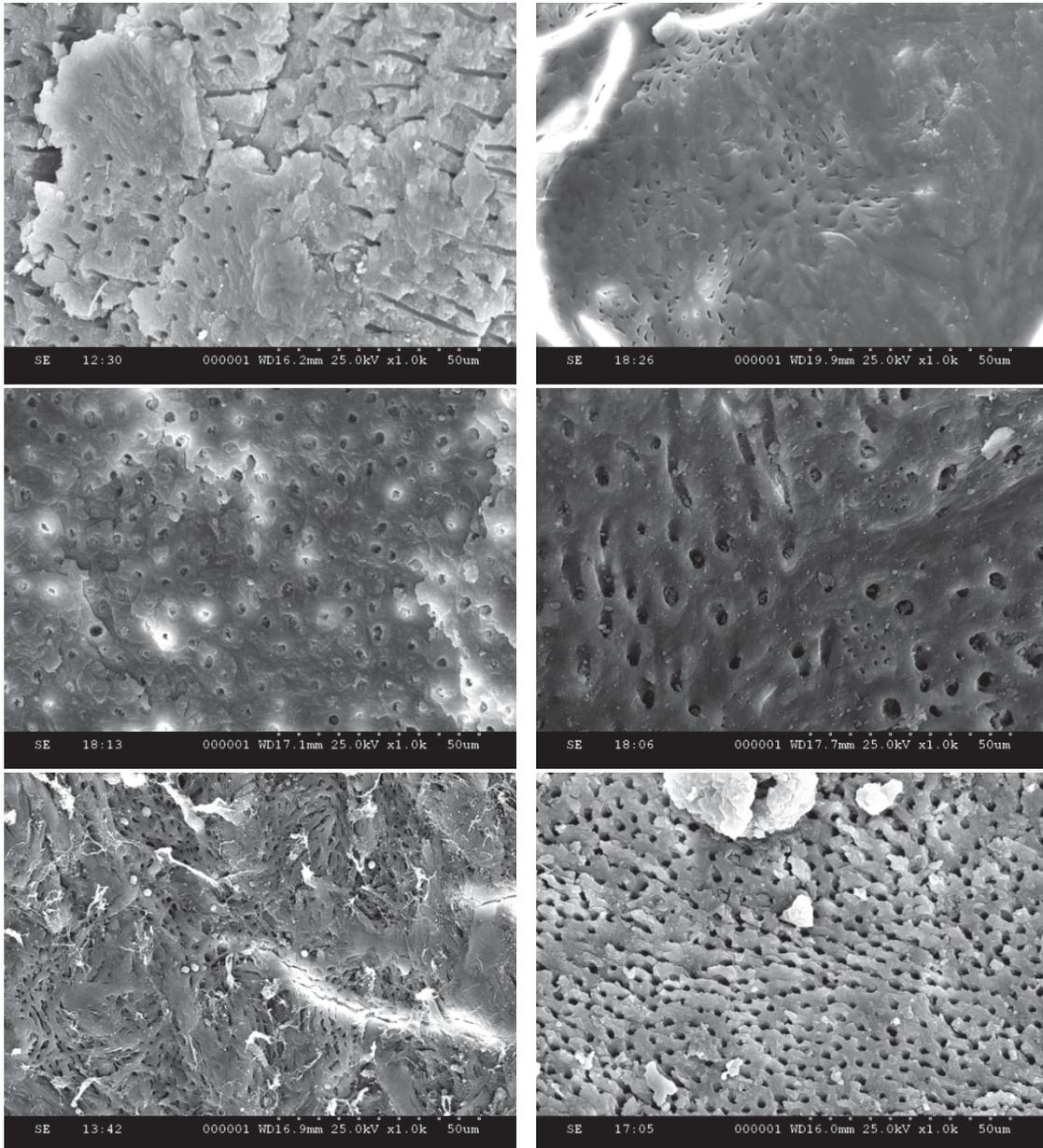
Die Bewertung der Bilder erfolgte anhand der fünf *Scores* nach Hülsmann (Hülsmann et al., 1997). Die Verwendung von *Scoring*-Systemen in Untersuchungen mit ähnlichem Studiendesign ist üblich (Uroz-Torres et al., 2010, Yeung et al., 2014, Urban et al., 2017, Suman et al., 2017, Schiavotelo et al., 2017, Rödiger et al., 2010, Niu et al., 2014, Mancini et al., 2018, Mancini et al., 2013, Kumar et al., 2015, Khaord et al., 2015, Kanter et al., 2011, Guo et al., 2014, Elnaghy et al., 2017, Caron et al., 2010, Capar und Aydinbelge, 2014, Blank-Goncalves et al., 2011, Arslan et al., 2014), jedoch bleibt ein subjektiver Spielraum bei der Bewertung der Bilder.

Die variable Anatomie der Wurzelkanaloberfläche kommt erschwerend hinzu. Zur Minimierung dieser Fehlerquelle, wurden Probedurchläufe an mehreren Bildern und Zähnen durchgeführt, so dass sich die Untersucher kalibrieren konnten und die Deutung der Bilder optimiert wurde. Somit gab es wenige Differenzen bei der Bewertung.

Die angewandte Methode wird somit als suffizient eingestuft.

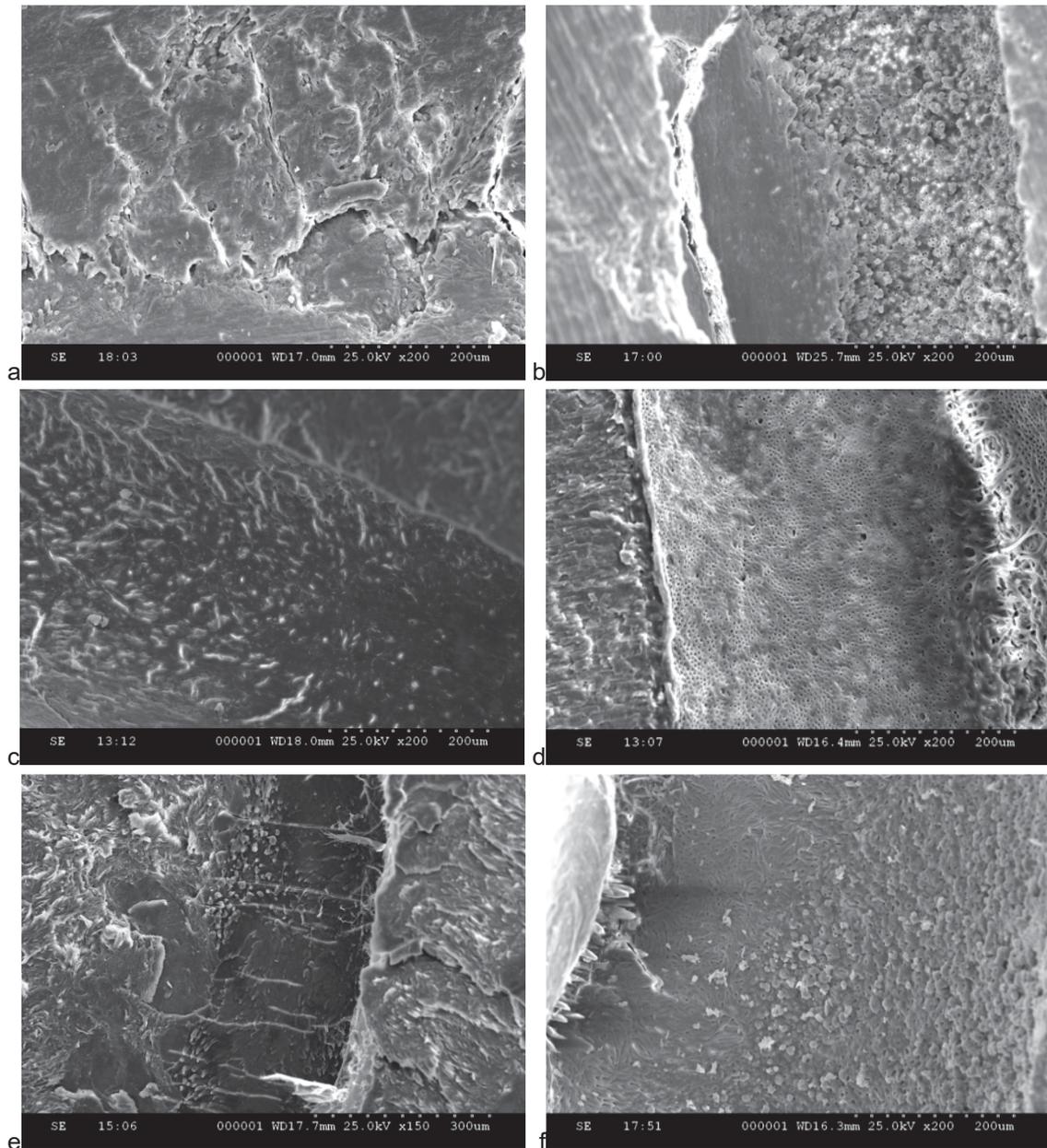
Alternativ zu der angewandten Methode könnte man den Anteil der offenen Dentintubuli an der Kanaloberfläche bestimmen (Schmidt et al., 2015). Nachteilig an dieser Methode ist jedoch, dass nicht alle Anteile des Kanals die gleiche Anzahl und Größe an Dentintubuli aufweisen. Gleiches gilt für verschiedene Zähne.

Auf den folgenden zwei Seiten sind innerhalb der Studie entstandenen Scans zu sehen, die die anatomische Varianz der Wurzelkanaloberfläche verdeutlichen (s. Abb. 25 und 26).



**Abb. 25: Variables Erscheinungsbild der Wurzelkanaloberfläche – 1**

*Scans in 1000x Vergrößerung – die sehr unterschiedliche Darstellung der Wurzelkanaloberfläche aufgrund der anatomischen Varianz erschwert die Bewertung deutlich. Folglich sollte eine Kalibrierung der Untersucher in einigen Probendurchläufen erfolgen. Vor Allem die unaufbereiteten Zähne und Oberflächen zeigten eine starke anatomische Varianz.*

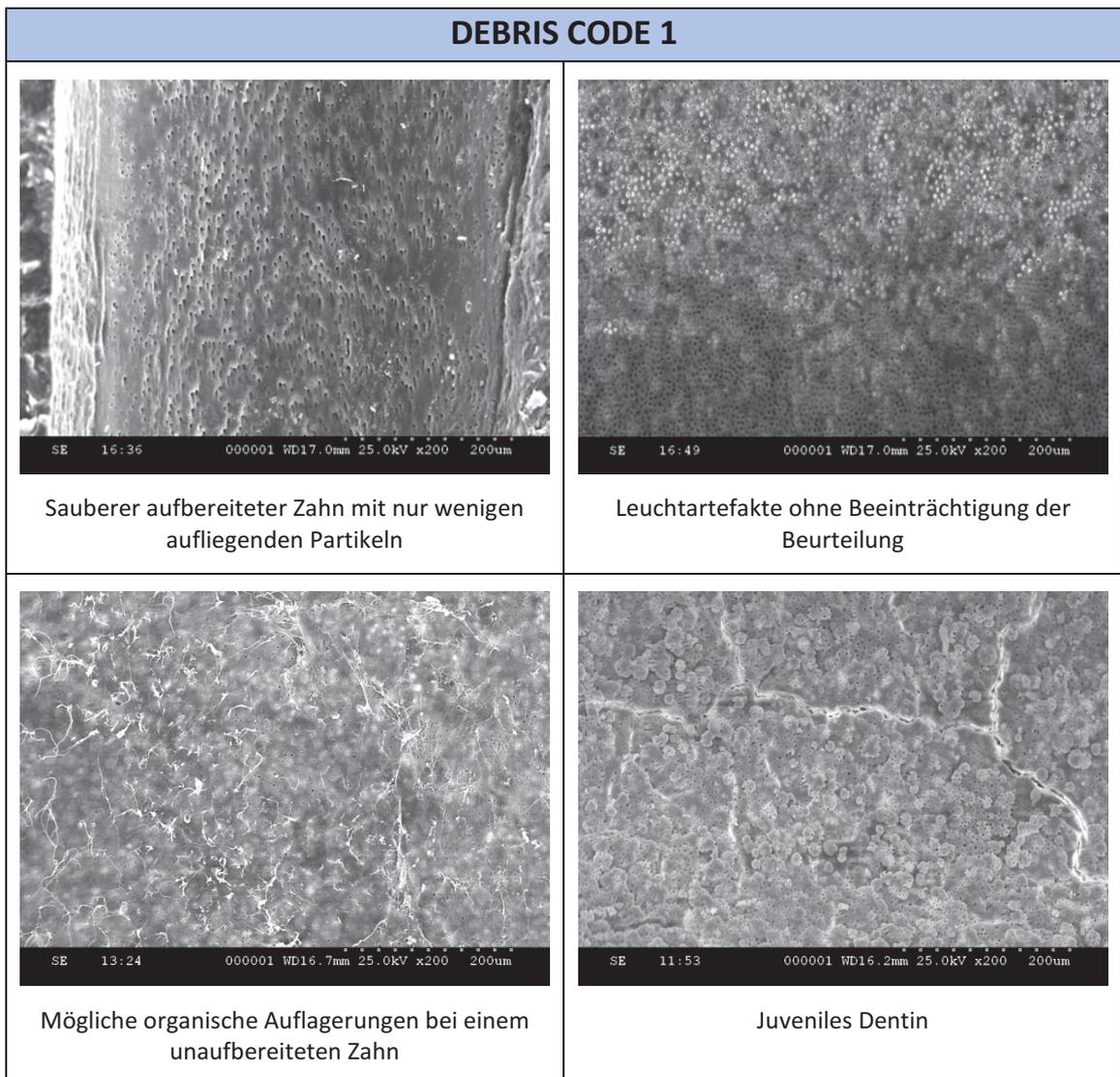


**Abb. 26: Variables Erscheinungsbild der Wurzelkanaloberfläche - 2**

*Auffällige Darstellung der Wurzelkanaloberfläche in 200-facher Vergrößerung –  
a – der aufbereitete und einer Aktivierung unterzogene Zahn wurde ausgeschlossen, da die dargestellten Strukturen nicht exakt gedeutet werden konnten  
b – vermutet wird die Darstellung von juvenilem unaufbereitetem Dentin neben dem aufbereiteten Wurzelkanal  
c – sehr dunkle Darstellung im REM, starke spaltförmige leuchtende Artefakte  
d – im Gegensatz zu c sehr scharfe Darstellung, vermutlich recht junges Dentin mit großen Tubuli, aufbereitete neben unaufbereiteter Wurzelkanaloberfläche  
e – Ausschluss des Zahns aufgrund schwerer Deutung (s.a)  
f – vermutlich juvenile Dentinstruktur, eventuell zeigt sich ein großer Fremdkörper im linken oberen Bildrand*

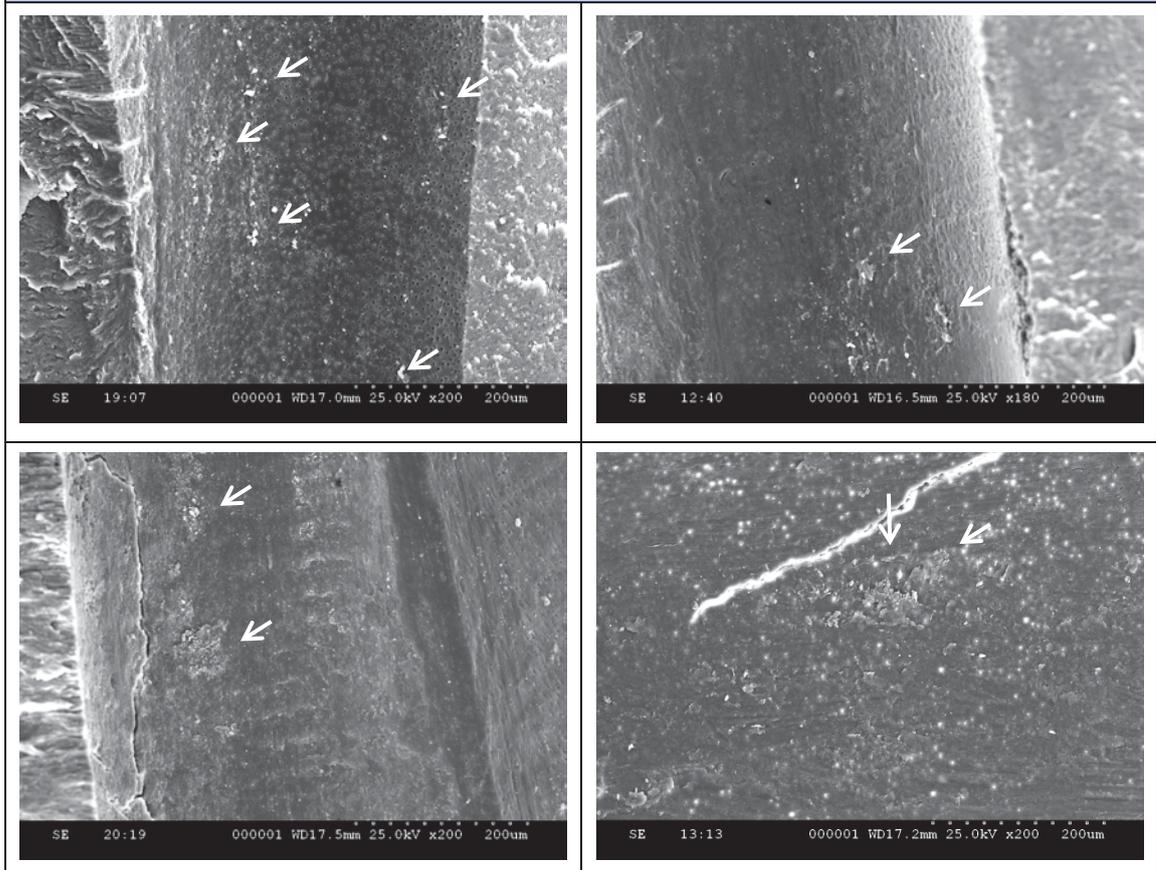
## 4.1.5 Beispiel REM-Scans und Scoringsystem

Die folgenden REM Scans zeigen typische aber doch sehr unterschiedliche Vertreter der einzelnen Gruppen. Die Erläuterung der Codierung nach Hülsmann ist unter den Abbildungen angeführt (Hülsmann et al., 1997).

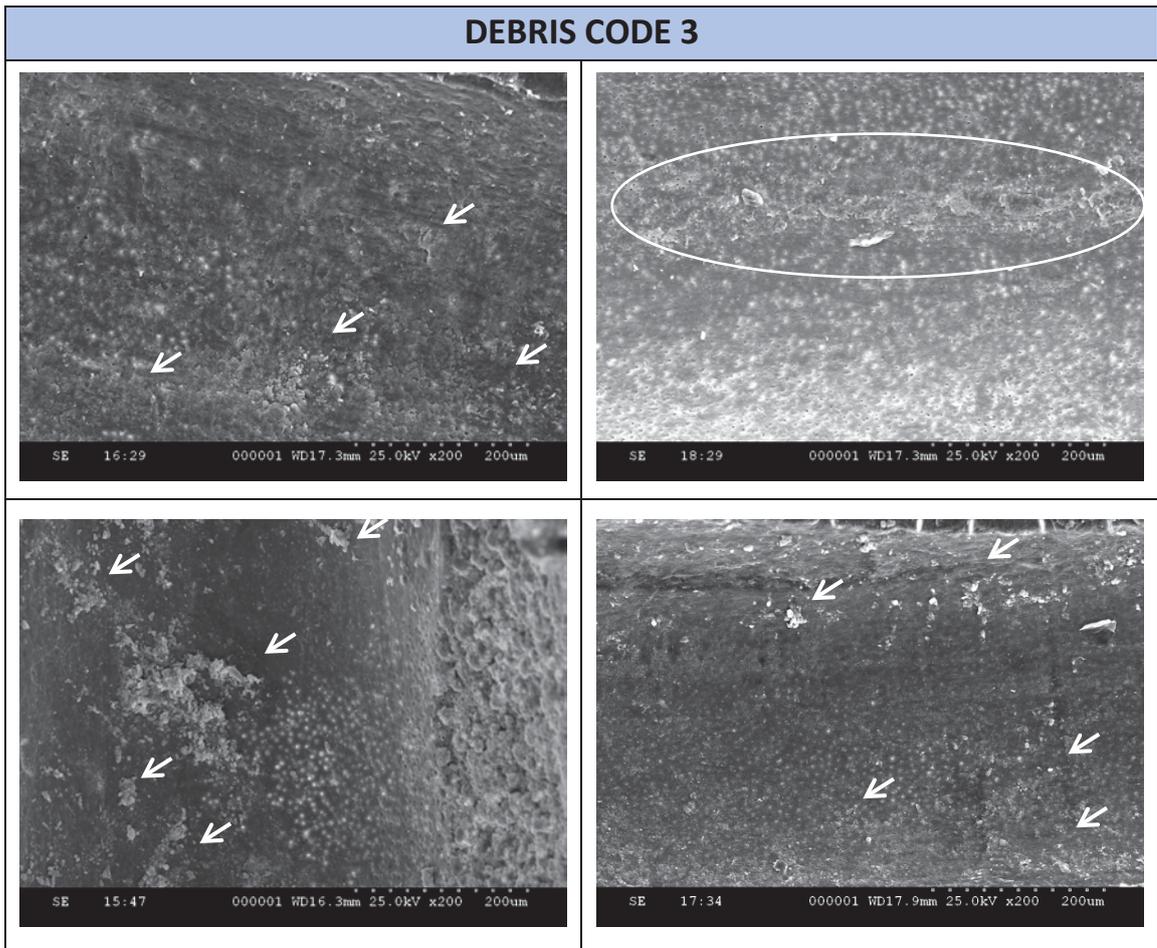


**Abb. 27: Debris Code 1**  
*Saubere Kanaloberfläche, nur wenige Debrispartikel*

## DEBRIS CODE 2

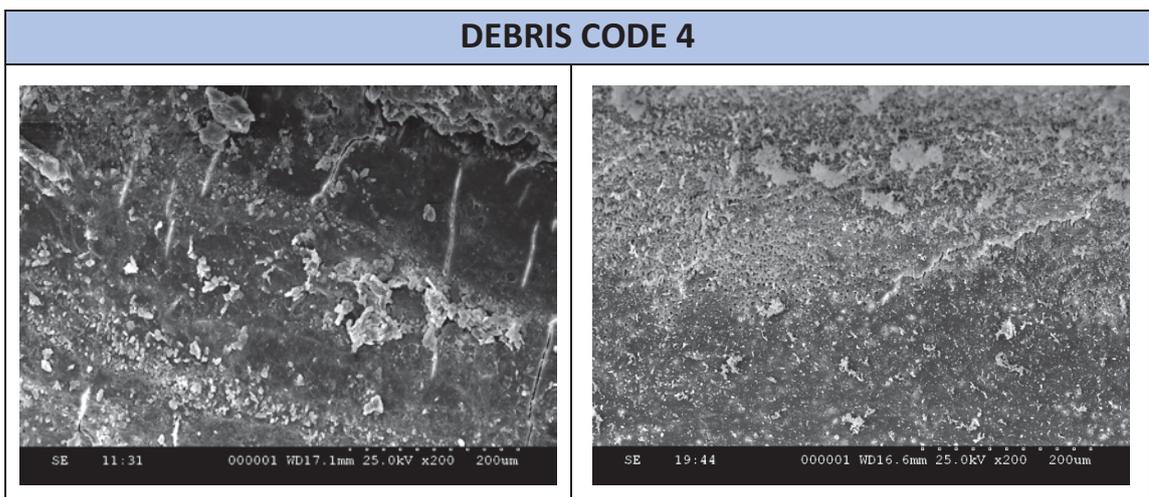


**Abb. 28: Debris Code 2**  
*Einige kleine Auflagerungen an Debris*



**Abb. 29: Debris Code 3**

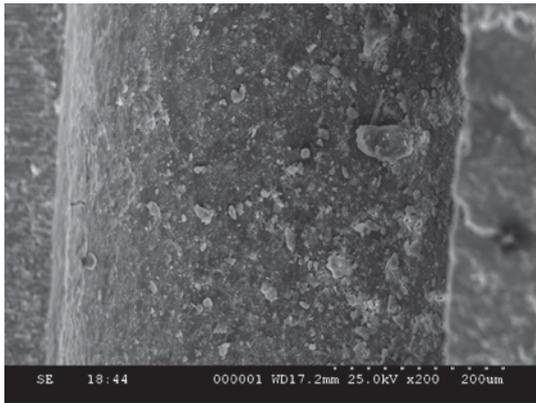
*Viele Auflagerungen von Debris, < 50% der Kanaloberfläche bedeckt*



**Abb. 30: Debris Code 4**

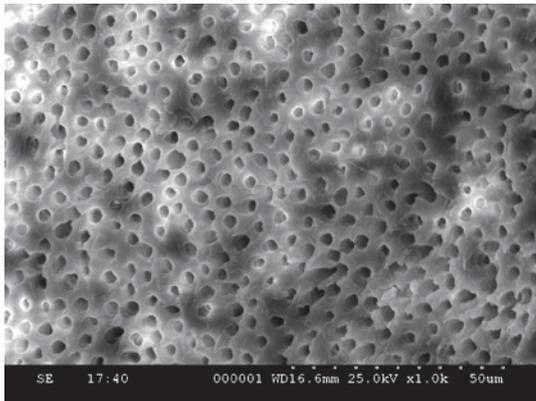
*Viele Auflagerungen von Debris, >50% der Kanaloberfläche bedeckt*

## DEBRIS CODE 5

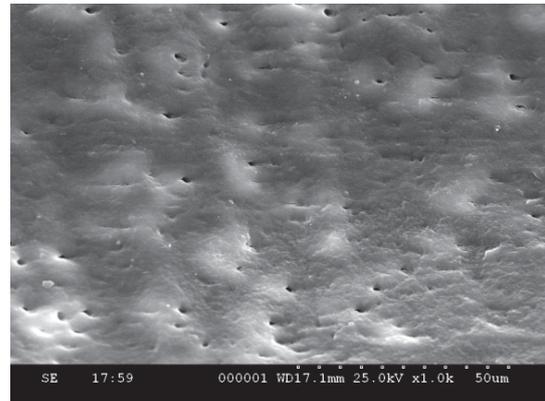


**Abb. 31: Debris Code 5**  
(Annähernd) Vollständige Kanaloerfläche mit Debris bedeckt

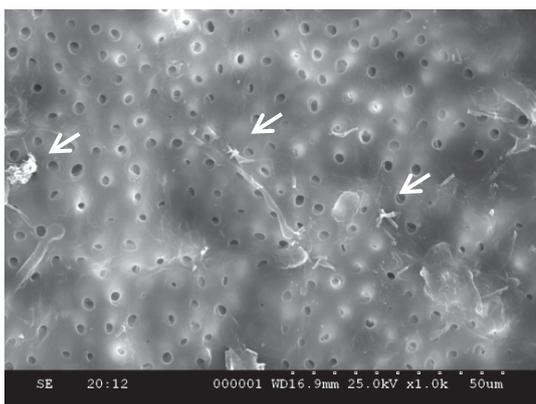
## SCHMIERSCHICHT CODE 1



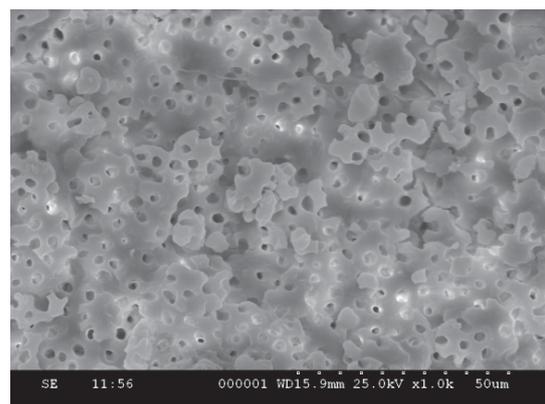
Sauberer aufbereiteter Zahn ohne Schmierschicht



Anatomische Variante



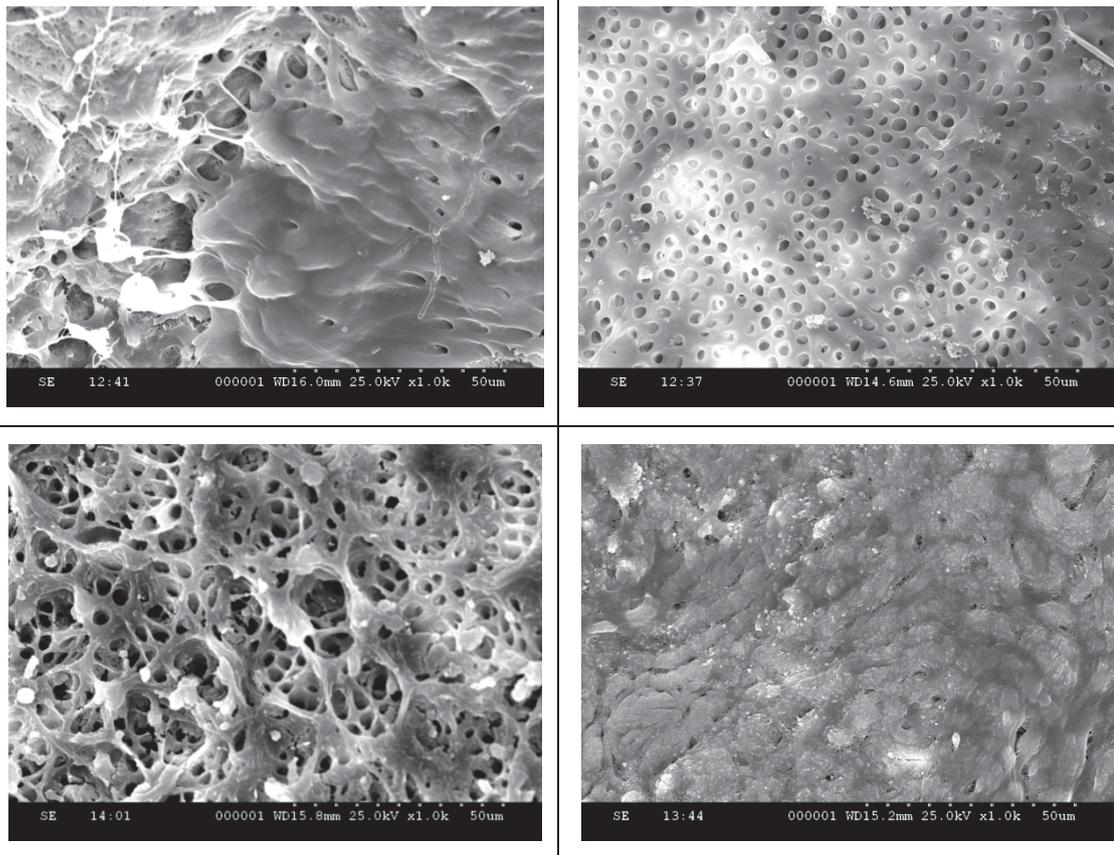
Mögliche organische Auflagerungen nach Entfernung der Pulpa, unaufbereiteter Zahn



Juveniles Dentin

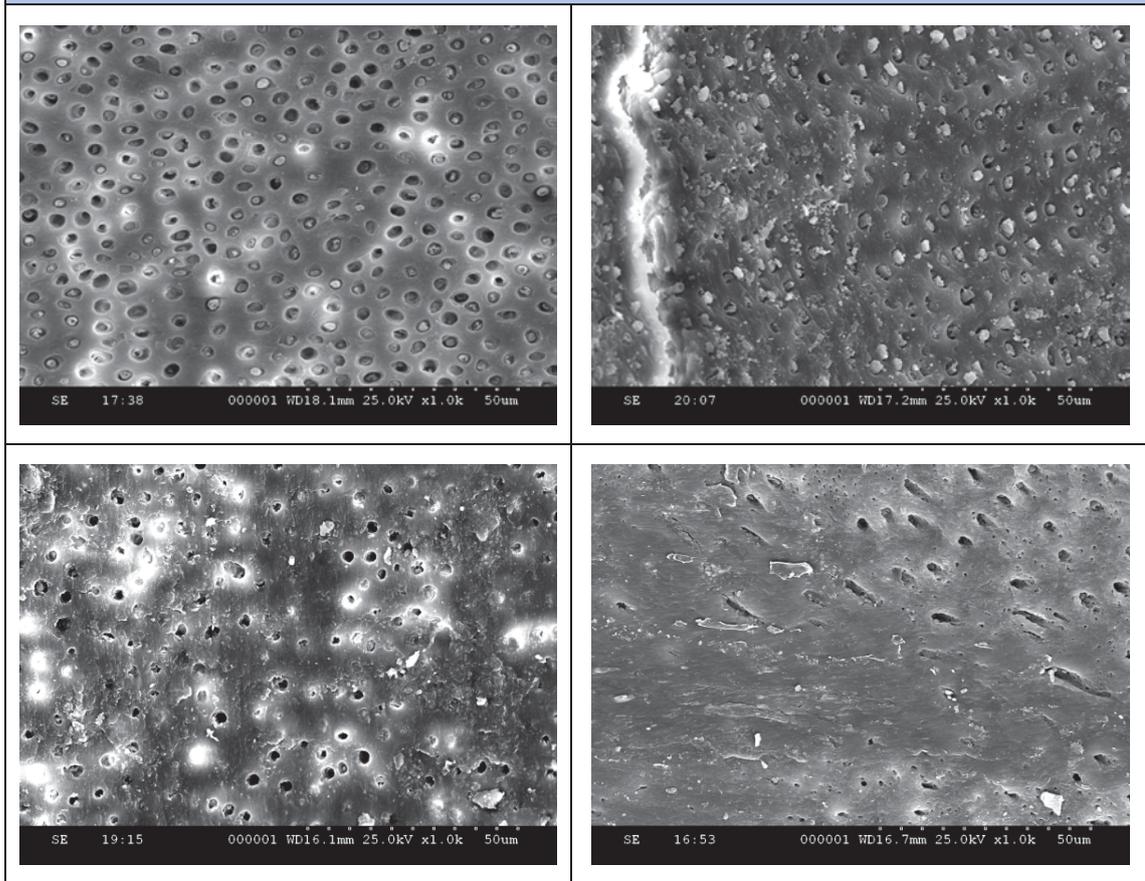
**Abb. 32: Schmierschicht Code 1**

## SCHMIERSCHICHT CODE 1 - UNAUFBEREITETE ZÄHNE



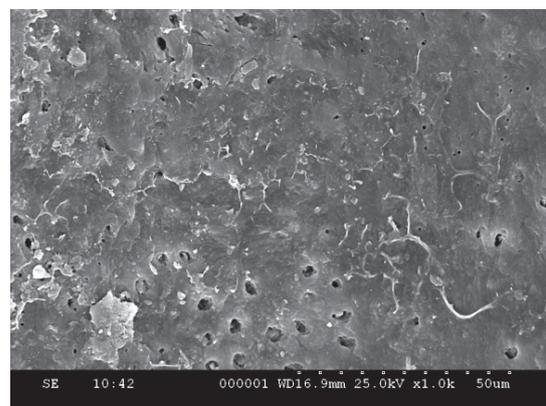
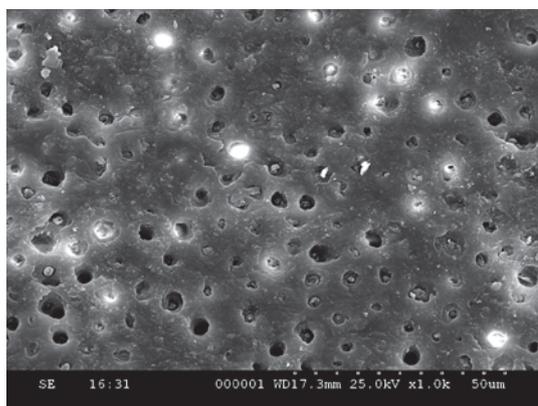
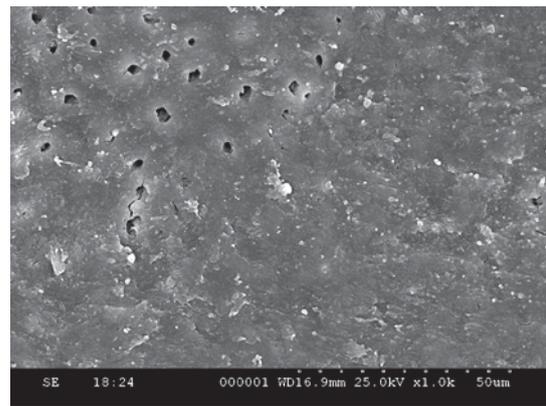
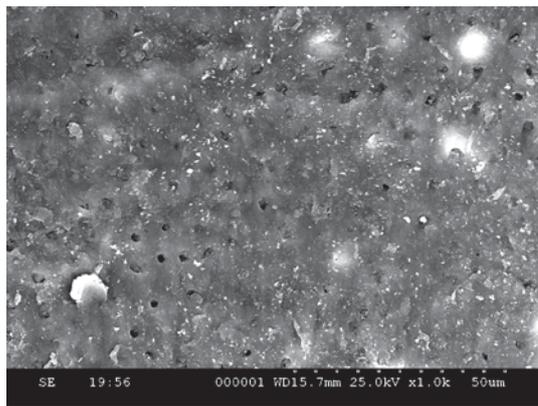
**Abb. 33: Schmierschicht Code 1 – Unaufbereitete Zähne**  
*Kein Smear layer, Dentintubuli offen*

## SCHMIERSCHICHT CODE 2



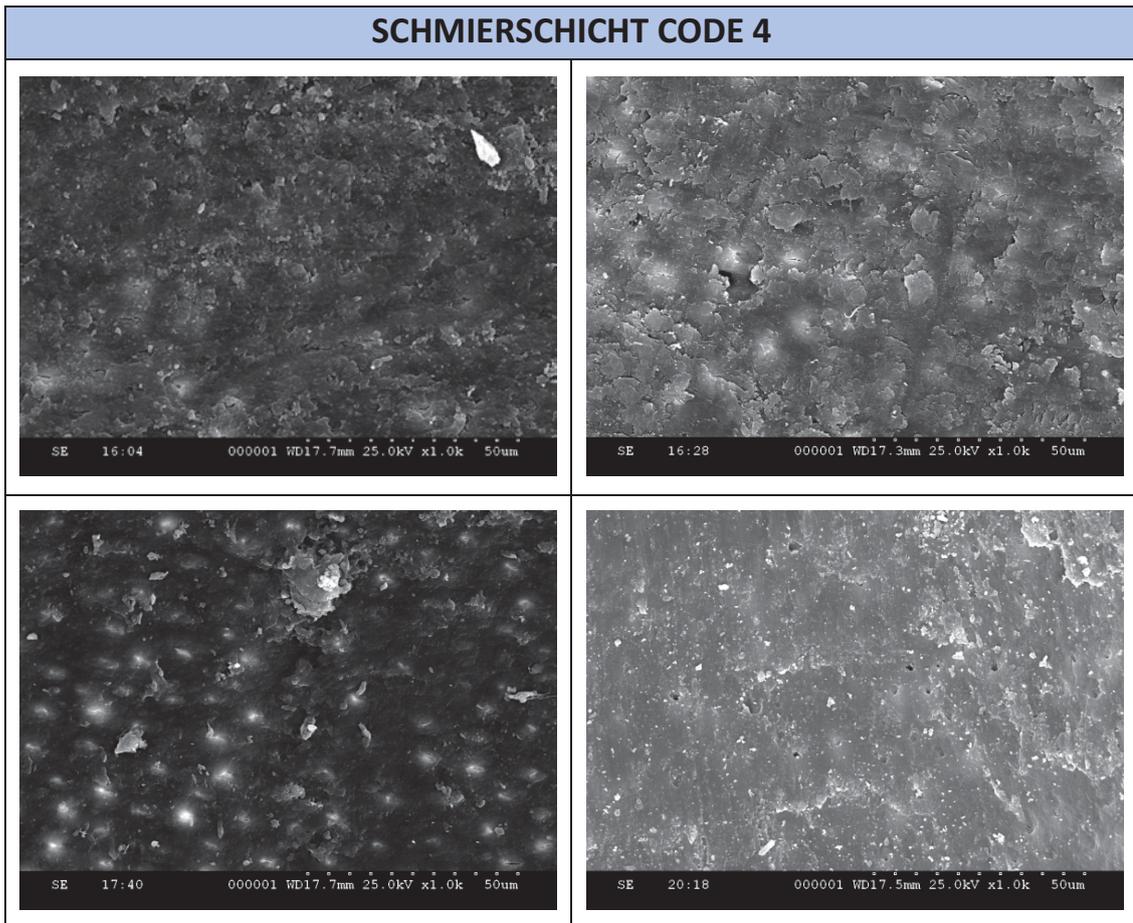
**Abb. 34: Schmierschicht Code 2**  
*Geringe Menge an Smear layer, Einige Dentintubuli offen*

### SCHMIERSCHICHT CODE 3

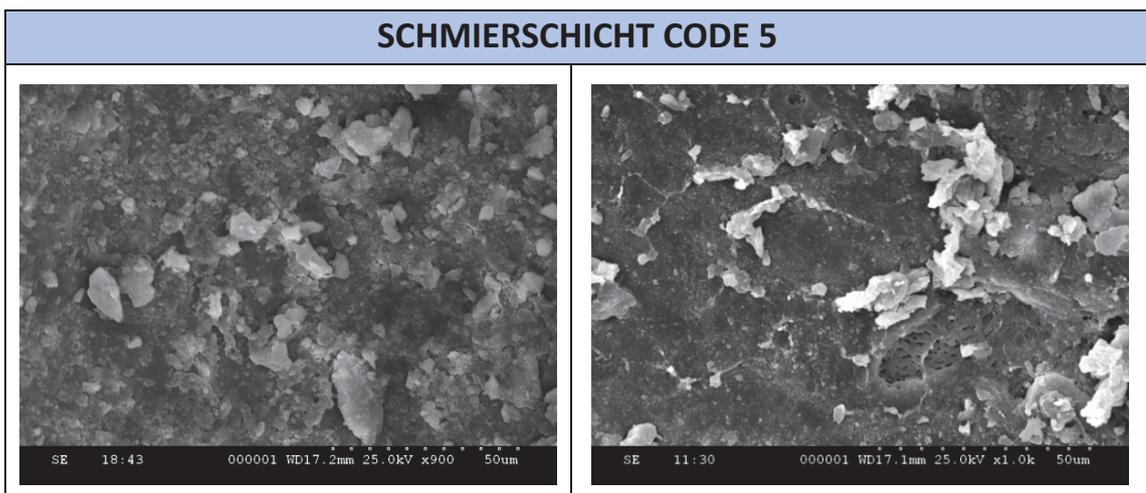


**Abb. 35: Schmierschicht Code 3**

*Homogener Smear layer bedeckt das meiste der Kanaloberfläche, wenige oder keine offenen Dentintubuli*



**Abb. 36: Schmierschicht Code 4**  
*Massiver, inhomogener Smear layer bedeckt die gesamte Kanalwand, keine offenen Dentintubuli*



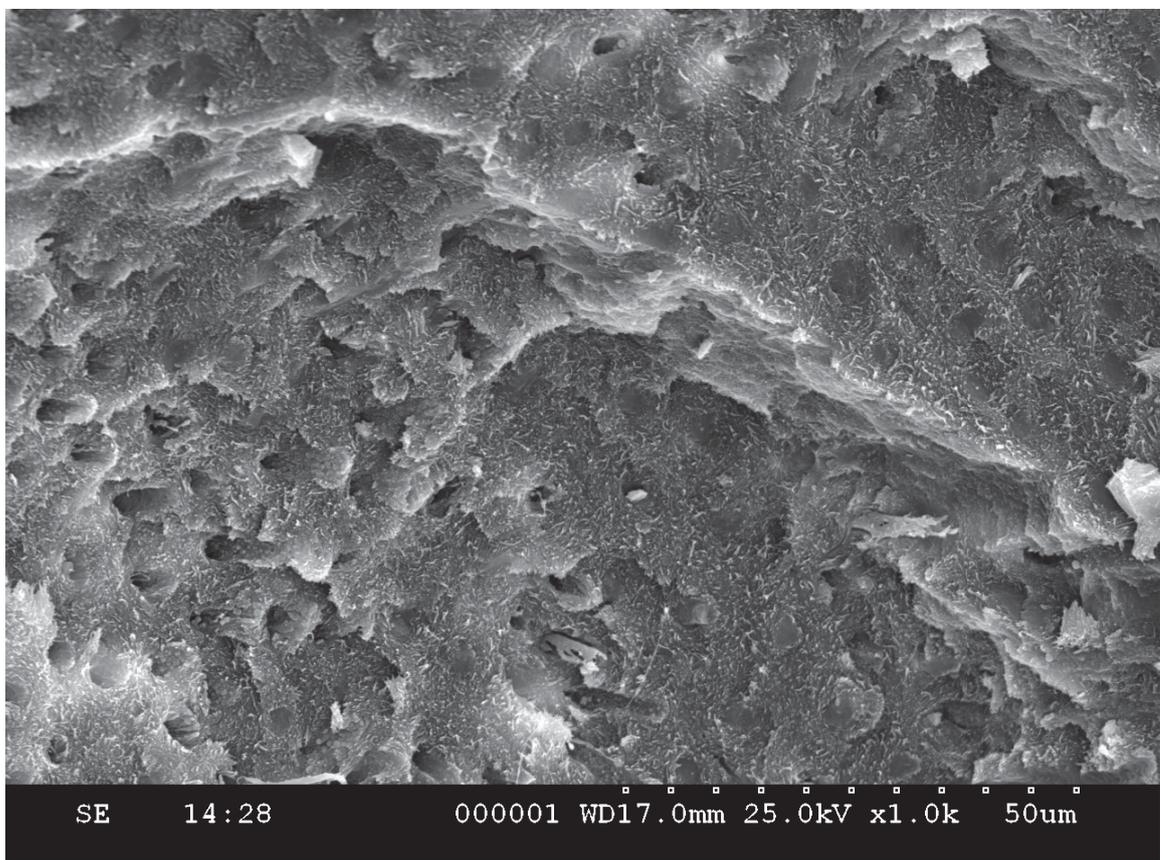
**Abb. 37: Schmierschicht Code 5**  
*Kanalwand komplett mit homogenem Smear layer bedeckt, keine offenen Dentintubuli*

## 4.2 Diskussion der Ergebnisse

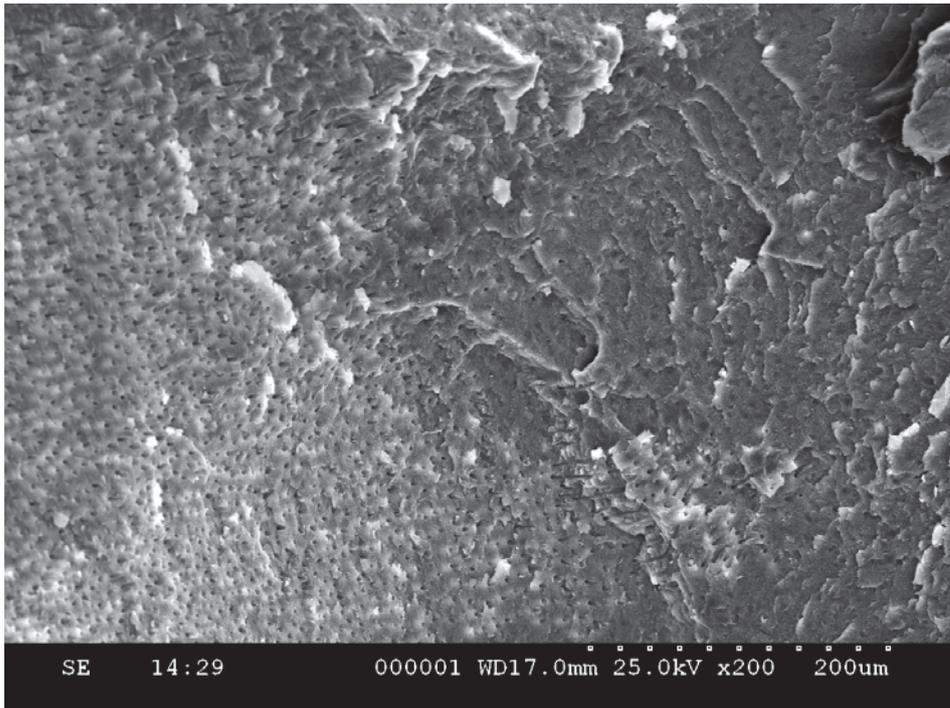
### 4.2.1 Kontrollgruppen

Wie erwartet und schon häufig beschrieben (Violich und Chandler, 2010), bestätigt die Untersuchung, dass sich bei der Aufbereitung durch den maschinellen Abrieb eine Schmierschicht ausbildet.

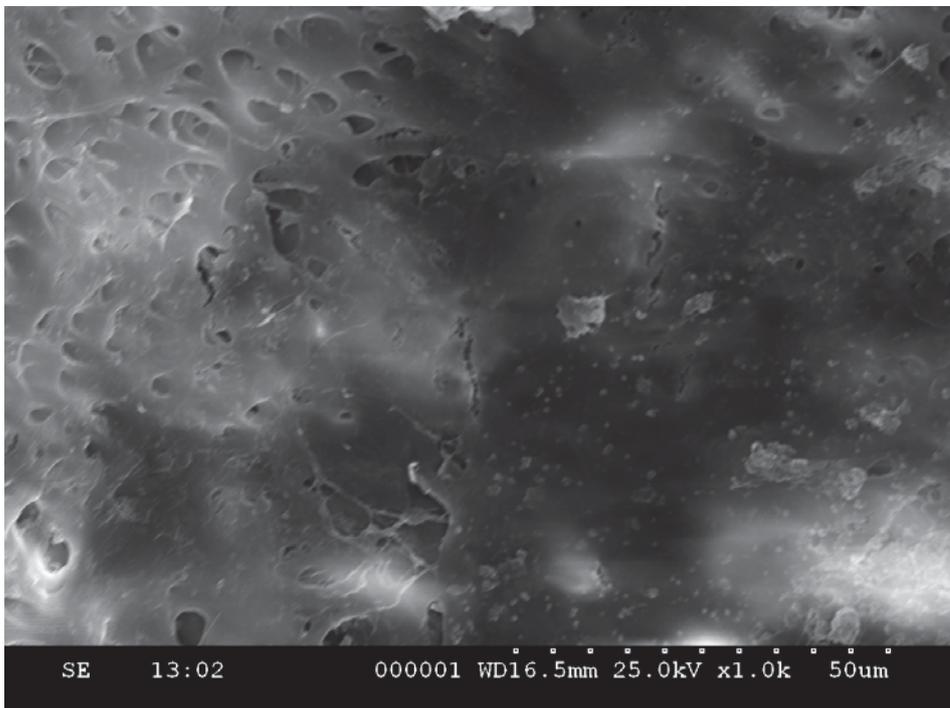
Die vier von 30 Wurzel Dritteln, die dem Code 2 zugeordnet wurden, lassen sich einer Fehlinterpretation zuschreiben. Die Folgenden Abbildungen (s. Abb. 38-41) zeigen einige dieser Ausschnitte.



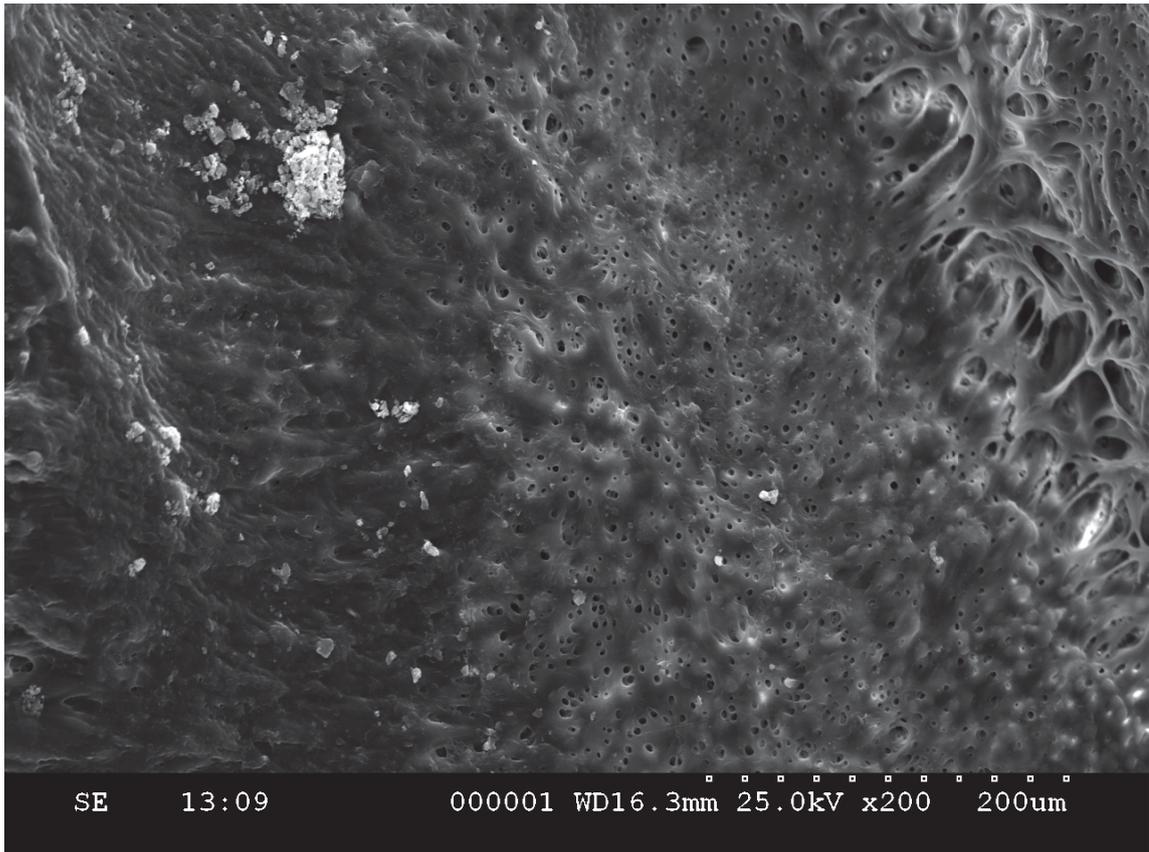
**Abb. 38: Problematik der Fehlinterpretation der Strukturen-1**  
*Zahn 33, Unaufbereiteter Zahn, Mittleres Drittel bei 1000x Vergrößerung im REM,  
Zugeordnet zu Schmierschicht Code 2,  
Einige Dentintubuli scheinen verschlossen zu sein*



**Abb. 39: Problematik der Fehlinterpretation der Strukturen-2**  
 Zahn 33, Mittleres Drittel bei 200x Vergrößerung im REM,  
 Zugeordnet zu Debris Code 1,  
 Deutlich saubereres Erscheinungsbild



**Abb. 40: Problematik der Fehlinterpretation der Strukturen-3**  
 Zahn 88, Unaufbereiteter Zahn, Apikales Drittel bei 1000x Vergrößerung im REM,  
 Zugeordnet zu Schmierschicht Code 2.  
 Nicht immer lassen sich die Strukturen scharf und mit guter Belichtung darstellen  
 Kanalwandüberhänge, die beim Trennen entstehen können, provozieren dieses  
 Phänomen.



**Abb. 41: Problematik der Fehlinterpretation der Strukturen-4**

*Zahn 88, Unaufbereiteter Zahn, Koronales Drittel bei 200x Vergrößerung im REM, Zugeordnet zu Debris Code 2.*

*Unklare Strukturen im oberen linken Bildbereich, die ev. Überreste des entfernten pulpalen Gewebes darstellen oder sich durch Verschmutzung bei dem Trennen oder der Lagerung erklären lassen.*

Anhand der Positivkontrolle konnte gezeigt werden, dass die Ergänzung des Spülprotokolls durch verschiedene Aktivierungsmethoden sinnvoll ist.

Das bestätigt die Aussage vieler Arbeitsgruppen (Virdee et al., 2018); (Blank-Goncalves et al., 2011) (Capar und Aydinbelge, 2014).

Die verbesserte Desinfektion ist zum einen auf die erhöhte mechanische Aktivität und somit die bessere Penetration, zum anderen auf die thermische Erwärmung der Spülflüssigkeiten (Duran, 2009) zurückzuführen.

Alleinig die Gruppe der Passiven Ultraschallaktivierung zeigte keinen signifikanten Unterschied bezogen auf die Entfernung von Debris. Rein deskriptiv zeigt sich jedoch ein Unterschied. So wurden 66,7% der Zähne der Positivkontrolle, aber 86,7% der Zähne der Gruppe PUI einem Debris Grad kleiner gleich zwei zugeordnet.

## 4.2.2 Versuchsgruppen

Im Folgenden soll ein Vergleich der verschiedenen Aktivierungssysteme in Bezug auf die Ergebnisse dieser Studie und der vorhandenen Literatur erfolgen.

Zunächst sollte festgehalten werden, dass die Versuchsaufbauten der in der Literatur beschriebenen Studien in einigen Punkten differieren. Zum Beispiel liegen unterschiedliche Volumina und Konzentrationen der Spüllösungen, Insertionstiefen der Ansätze, Aufbereitungssysteme und finale Aufbereitungsgrößen zu Grunde. Ein Vergleich zwischen den Studien kann in den meisten Fällen jedoch guten Gewissens erfolgen, da innerhalb der Studien für die unterschiedlichen Systeme die gleichen Bedingungen galten. Da hingegen kritischer zu betrachten ist, dass es verschiedene Systeme der Passiven Ultraschallaktivierung und auch verschiedene Einstellungen der einzelnen Systeme (Frequenz, Schwingungsamplitude, Antriebsdruck) gibt, die in der Literatur häufig nicht detailliert beschrieben werden. Dass diese Feineinstellungen jedoch ausschlaggebend für den angestrebten Vergleich sind, ist eher zu bezweifeln.

Bezüglich der Entfernung von Debris fand sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Aktivierungsgruppen. Auch im Vergleich zur konventionellen Spülung ist die Verbesserung der Debrisentfernung nicht so ausschlaggebend im Vergleich zur Verbesserung der Schmierschichtentfernung. Diese Feststellung wird von anderen Studien unterstützt (Urban et al., 2017, Rödiger et al., 2010, Döllmann, 2010, Elnaghy et al., 2017).

Es deutet darauf hin, dass Debris leichter zu entfernen ist als die Schmierschicht oder bzw. und die Verschmutzung durch Debris von Anfang an geringer ausfällt.

Beim Vergleich der Entfernung des *smear layers* zeigten sich jedoch signifikante Unterschiede.

Der schallaktivierte EDDY® entfernte die Schmierschicht signifikant besser als alle anderen untersuchten Spül- und Aktivierungsmethoden.

Diese Aussage ist zum Teil vereinbar mit den Ergebnissen von Urban et al. (Urban et al., 2017). Sie stellten eine verbesserte Schmierschichtentfernung von PUI und EDDY im Gegensatz zur rein manuellen Spülung fest. Der EndoActivator® zeigte diesen Unterschied nicht. Es wurde die Vermutung geäußert, dass dies durch die niedrigere Frequenz von 167 Hz im Gegensatz zu 6000 Hz begründet sein könnte (Urban et al., 2017, Swimberghe et al., 2019). Aus der höheren Frequenz könnte eine erhöhte Kavitation und somit eine stärkere mechanische Aktivität oder Mikrozirkulation der Spülflüssigkeit resultieren.

Eine aktuelle Studie untersuchte an einem standardisierten Isthmus-Modell die Entfernung eines Biofilm-imitierenden Gels und fand heraus dass die Reinigungsleistung eines *Erb:YAG-Lasers* und von EDDY® besser ist als die von PUI oder dem EndoActivator® (Swimberghe et al., 2019).

Auch wenn man die Entfernung von Kalziumhydroxid aus dem Wurzelkanal betrachtet, scheint die Aktivierung mittels EDDY® effizienter zu sein als mittels PUI und dem EndoActivator® (Marques-da-Silva et al., 2019).

Es wurde jedoch keine verbesserte Entfernung von *E. faecalis* durch EDDY® im Vergleich zur Konventionellen Spülung bewiesen (Zeng et al., 2018).

Zusammenfassend zeigt EDDY® eine deutlich bessere Reinigungsleistung, bezogen auf die Schmierschicht und Debrispartikel, als die konventionelle Spülung und scheint ebenfalls der PUI und dem EndoActivator® überlegen zu sein.

Ob die physikalischen Effekte, *Kavitation* und *acoustic streaming*, ebenfalls bei der Aktivierung mit EDDYs® auftreten, bleibt fraglich. Eine Studie verglich das Auftreten dieser Effekte bei Schall- und Ultraschallsystemen und fand heraus, dass durch Schallaktivierung keine Kavitation entsteht, jedoch verwendeten sie den EndoActivator® als Schallsystem (Macedo et al., 2014).

In dieser Untersuchung ergab sich kein signifikanter Unterschied in der Reinigungsleistung des EndoActivators® und der Passiven Ultraschallaktivierung. Dieses Ergebnis wird durch weitere Arbeitsgruppen bestätigt (Blank-Goncalves et al., 2011, Capar und Aydinbelge, 2014, Arslan et al., 2014). Die Studien, die eine Überlegenheit der PUI beschreiben, gleichen sich in der Quantität und Qualität in etwa mit den Studien aus, die eine

Überlegenheit des EndoActivators® feststellten. Die Systeme erscheinen somit gleichwertig bezogen auf die Entfernung von Debris und der Schmierschicht. Ein ausführlicherer Vergleich der beiden Systeme wurde bereits im Abschnitt 1.3.2.2.1. (EndoActivator®) niedergelegt.

Der Vergleich, der verschiedenen Ansatzgrößen des EndoActivators®, ergab, entgegen der Vermutung der Arbeitsgruppe um Blank-Goncalves (Blank-Goncalves et al., 2011), keinen Unterschied in der Reinigungsleistung.

In ihrer Diskussion wurde die Vermutung geäußert, dass kleinere Spitzen mit einem geringeren *Taper* eine freiere Bewegung im Wurzelkanal ermöglichen, was in einem erhöhten hydrodynamischen Effekt resultiert und somit die Reinigungsleistung beeinflusst. Diese Hypothese ist durchaus plausibel aber kann in dieser Studie nicht bestätigt werden.

Da diese Fragestellung noch von keiner anderen Studiengruppe untersucht worden ist, kann an dieser Stelle kein Vergleich zur Literatur herangezogen werden.

Während der Versuchsdurchführung ist jedoch die Varianz in der Größe des Kanallumens aufgefallen. Ein suffizienter Vergleich der Ansatzgrößen, sollte daher erneut an einheitlicheren Kanallumina erfolgen.

### 4.2.3 Vergleich der Wurzel Drittel

Das apikale Drittel stellt eine Herausforderung bei der chemomechanischen Wurzelkanalaufbereitung dar. Es ist nachweislich schwerer zu säubern als die anderen Abschnitte (Schmidt et al., 2015, Urban et al., 2017, Elnaghy et al., 2017, Guo et al., 2014). Wie in der Literatur bereits beschrieben, stellte sich auch in dieser Untersuchung diese Problematik heraus (s. Tabelle 14 und 15, Mittelwerte).

Wurzel Drittel	Mittelwert SL PK	Mittelwert SL Aktivierung	Verbesserte Reinigungsleistung
Koronales	2,2	1,59	28%
Mittleres	3,3	2,26	32%
Apikales	3,6	2,77	23%

Tabelle 14: *Verbesserte smear layer Entfernung Aktivierung – Wurzel Drittel*

Wurzel Drittel	Mittelwert Debris PK	Mittelwert Debris Aktivierung	Verbesserte Reinigungsleistung
Koronales	1,6	1,2	25%
Mittleres	1,9	1,39	27%
Apikales	2,4	1,6	33%

Tabelle 15: *Verbesserte Debrisentfernung Aktivierung – Wurzel Drittel*

Bei der manuellen Spülung fand sich nur ein signifikanter Unterschied der Entfernung der Schmierschicht zwischen dem koronalen und dem apikalen Drittel, wo hingegen sich signifikante Unterschiede zwischen allen Drittel bei der Aktivierung herausstellten.

Der Unterschied bei der Debrisentfernung zwischen den Wurzel Dritteln war weniger deutlich ausgeprägt. So zeigte sich nur ein deskriptiver aber kein signifikanter Unterschied zwischen den Dritteln bei der rein manuellen Spülung. Und auch bei den Aktivierungsgruppen ergab sich nur ein signifikanter Unterschied zwischen dem koronalen und dem apikalen Drittel.

Die Verwendung von Aktivierungssystemen resultiert in einer besseren Reinigungsleistung, doch welches Drittel profitiert am meisten?

Bei den verbleibenden Verschmutzungen durch die Schmierschicht zeigen sich deutliche Akkumulationen in den weiter apikal gelegenen Bereichen. Die Aktivierungssysteme zeigen ihre Vorzüge bezüglich der Schmierschichtentfernung deutlicher im koronalen und mittleren Drittel, das apikale Drittel stellt jedoch eine größere Herausforderung dar (s. Tabelle 14).

Die verbesserte Reinigungsleistung im apikalen Bereich beträgt 23% im Gegensatz zu 32% im mittleren und 28% im oberen Drittel. Bezogen auf die Entfernung von Debris wurde dieser Zusammenhang jedoch nicht bestätigt (s. Tabelle 15). Hier zeigte sich sogar eine 33%ig verbesserte Reinigungsleistung im apikalen Drittel im Gegensatz zu im Schnitt 26% im mittleren und oberen Drittel.

Es kann also festgehalten werden, dass die effizientere Reinigung im Schnitt in allen Dritteln gleich ausfällt. Zu diesen Werten gibt es in der Literatur keine Vergleichswerte.

## 4.2.4 Praktikabilität der Systeme

Bezogen auf die Anwenderfreundlichkeit zeigt der EndoActivator® seine Vorzüge, da er sehr handlich, klein und angenehm anzuwenden ist. Die dazugehörigen Schutzhüllen sollten aus hygienischen Gründen verwendet werden. Bei einer Anwendung außerhalb der Kavität, frakturieren die Spitzen im Gegensatz zur PUI und zum EDDY® nicht.

Die Irrisafe® Spitzen können sterilisiert und somit wiederverwendet werden. In der Studie wurden sie nach 10 Anwendungen verworfen. Das VDW.Ultra Gerät ist etwas unhandlicher als die beiden anderen Geräte, jedoch kann es ebenso zur Kavitätenpräparation und Revision genutzt werden.

Die Einstellung des EDDYs® bzw. des zugehörigen Schallansatzes (hier Sonicflex 2003L) ist zunächst etwas aufwendiger, da der Antriebsdruck je Behandlungseinheit einmalig überprüft werden sollte, um die Reinigungswirkung vollständig ausnutzen zu können und eine eventuelle Bruchgefahr zu reduzieren. Dies kann mit einem Manometer, wie oben beschrieben, erfolgen.

Einmalig eingestellt bietet der EDDY® als Einmalprodukt dann jedoch eine sehr anwenderfreundliche Möglichkeit zur Aktivierung. Der Schallansatz kann mit anderen Aufsätzen ebenso in der Kavitätenpräparation und der Zahnreinigung Anwendung finden.

Ein weiteres System, welches sich während der Literaturrecherche positiv herausstellte, ist das EndoVac™ System (Suman et al., 2017, Mancini et al., 2013, Kumar et al., 2015, Haapasalo et al., 2014). Neben der guten Reinigungsleistung zeigt es weniger apikale Extrusion als andere Aktivierungssysteme (Azim et al., 2018, Desai und Himel, 2009, Gupta et al., 2014). Vorzugsweise sollten während der Aufbereitung zur Wurzelkanalspülung schmale, 30-gauge, seitlich geöffnete Spülkanülen kombiniert mit ANP-Systemen verwendet werden (Haapasalo et al., 2014).

Die Verwendung des EndoVac™ während der Aufbereitung und des EDDYs® im abschließenden Spülprotokoll stellt eine vielversprechende Kombination dar, um das komplexe Wurzelkanalsystem noch effizienter zu reinigen. Diese Hypothese sollte in einer neuen Studie untersucht werden.

## 4.3 Schlussfolgerungen

Die Reinigung des Wurzelkanals ist eine essentielle Voraussetzung für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung. Dazu zählt die Entfernung der Schmierschicht und von Debris, die bei der Wurzelkanalaufbereitung entstehen. Eine vollständige Entfernung ist nach dem heutigen Stand der verfügbaren Systeme nicht möglich, jedoch kann mit Hilfe von verschiedenen Spül- und Reinigungssystemen eine deutliche Verbesserung des Spülprotokolls erreicht werden.

Debris Partikel wurden von allen Systemen signifikant besser entfernt als bei der manuellen Spülung allein. Es zeigte sich jedoch kein Unterschied zwischen den Systemen.

Die Aktivierungsspitze EDDY® lieferte signifikant bessere Ergebnisse als alle anderen getesteten Systeme bezogen auf die Schmierschichtentfernung.

Der EndoActivator® und die Passive Ultraschallaktivierung unterscheiden sich nicht in der Effizienz der Entfernung des *smear layers* und von Debris. Sie sind effizienter als die konventionelle Spülung aber unterliegen EDDY®.

Die verschiedenen Größen des EndoActivators® sind nicht ausschlaggebend für die Reinigungsleistung des Systems, jedoch sollte diese Hypothese noch einmal in einem optimierten Versuchsaufbau an Zähnen mit ähnlichen Kanallumina überprüft werden. Die ausschließliche Verwendung von Unterkiefer Frontzähnen, wie es in der Diskussion der Methodik bereits erläutert wurde, wäre eine mögliche Option.

Der apikale Bereich des Wurzelkanalsystems stellt eine Herausforderung im Reinigungsprozess dar. Aktivierungssysteme verbessern die Sauberkeit im apikalen Drittel, jedoch ist eine vollständige Entfernung der Schmierschicht und von Debris vor Allem in diesem Abschnitt nicht möglich.

Die verbesserte Reinigungsleistung durch Aktivierungssysteme fällt in allen Dritteln gleich effizient aus.

Ein Verzicht auf die Verwendung von Aktivierungssystemen führt zu einer geringeren Debris- und Schmierschichtentfernung und somit zu einer Reduktion der Dichtigkeit der Wurzelfüllung und einem erhöhten Verbleib von potentiell infektiösem Restmaterial. Die Gefahr für einen Misserfolg der endodontischen Behandlung steigt.

Die vorliegende Studie bestätigt, dass endodontische Spül- und Reinigungssysteme eine sinnvolle Ergänzung zur chemomechanischen Präparation des Wurzelkanals darstellen und in das Standardbehandlungsprotokoll jeder endodontischen Behandlung aufgenommen werden sollten.

## 5 Literaturverzeichnis

- ABRAMOVICH, A. & GOLDBERG, F. 1976. The relationship of the root canal sealer to the dentine wall. An in vitro study using the scanning electron microscope. *J Br Endod Soc*, 9, 81-6.
- AGARWAL, A., DEORE, R. B., RUDAGI, K., NANDA, Z., BAIG, M. O. & FAREEZ, M. A. 2017. Evaluation of Apical Vapor Lock Formation and comparative Evaluation of its Elimination using Three different Techniques: An in vitro Study. *J Contemp Dent Pract*, 18, 790-794.
- AHMAD, M., PITT FORD, T. J. & CRUM, L. A. 1987. Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *J Endod*, 13, 490-9.
- AHMAD, M., ROY, R. A. & KAMARUDIN, A. G. 1992. Observations of acoustic streaming fields around an oscillating ultrasonic file. *Dental Traumatology*, 8, 189-194.
- ALTURAIKI, S., LAMPHON, H., EDREES, H. & AHLQUIST, M. 2015. Efficacy of 3 different irrigation systems on removal of calcium hydroxide from the root canal: a scanning electron microscopic study. *J Endod*, 41, 97-101.
- ARSLAN, D., GUNESER, M. B., DINCER, A. N., KUSTARCI, A., ER, K. & SISO, S. H. 2016. Comparison of Smear Layer Removal Ability of QMix with Different Activation Techniques. *J Endod*, 42, 1279-85.
- ARSLAN, H., CAPAR, I. D., SAYGILI, G., GOK, T. & AKCAY, M. 2014. Effect of photon-initiated photoacoustic streaming on removal of apically placed dentinal debris. *Int Endod J*, 47, 1072-7.
- ATES, M., AKDENIZ, B. G. & SEN, B. H. 2005. The effect of calcium chelating or binding agents on *Candida albicans*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 100, 626-30.
- AZIM, A. A., AKSEL, H., MARGARET JEFFERSON, M. & HUANG, G. T. 2018. Comparison of sodium hypochlorite extrusion by five irrigation systems using an artificial root socket model and a quantitative chemical method. *Clin Oral Investig*, 22, 1055-1061.
- BARTHEL, C., M. GEORGI, E. SCHÄFER, A. PETSCHT, S. FLACHSENBERG, T. NEUBER, C. KOCKAPAN, R. WEIGER, M. HÜLSMANN 2006. Die Wurzelkanalspülung - Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) und der Deutschen gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ). [https://www.dgzmk.de/uploads/tx\\_szdgzmkdocuments/DGZMK\\_Stellungnahme\\_Wurzelkanalspuelung\\_10\\_2006.pdf](https://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/DGZMK_Stellungnahme_Wurzelkanalspuelung_10_2006.pdf) . 1-4. [16.03.2020]
- BELTZ, R. E., TORABINEJAD, M. & POURESMAIL, M. 2003. Quantitative analysis of the solubilizing action of MTAD, sodium hypochlorite, and EDTA on bovine pulp and dentin. *J Endod*, 29, 334-7.
- BERTACCI, A., BARONI, C., BRESCHI, L., VENTURI, M. & PRATI, C. 2007. The influence of smear layer in lateral channels filling. *Clin Oral Investig*, 11, 353-9.
- BIESTERFELD, R. C. & TAINTOR, J. F. 1980. A comparison of periapical seals of root canals with RC-Prep or Salvizol. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 49, 532-7.
- BLANK-GONCALVES, L. M., NABESHIMA, C. K., MARTINS, G. H. & MACHADO, M. E. 2011. Qualitative analysis of the removal of the smear layer in the apical third of curved roots: conventional irrigation versus activation systems. *J Endod*, 37, 1268-71.
- BOLLES, J. A., HE, J., SVOBODA, K. K., SCHNEIDERMAN, E. & GLICKMAN, G. N. 2013. Comparison of Vibringe, EndoActivator, and needle irrigation on sealer penetration in extracted human teeth. *J Endod*, 39, 708-11.

- BRUNSON, M., HEILBORN, C., JOHNSON, D. J. & COHENCA, N. 2010. Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *J Endod*, 36, 721-4.
- BUI, T. B., BAUMGARTNER, J. C. & MITCHELL, J. C. 2008. Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate and its effect on root dentin. *J Endod*, 34, 181-5.
- BUTTLER, T. K. & CRAWFORD, J. J. 1982. The detoxifying effect of varying concentrations of sodium hypochlorite on endotoxins. *J Endod*, 8, 59-66.
- CALT, S. & SERPER, A. 2002. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod*, 28, 17-9.
- CAMERON, J. A. 1983. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. *J Endod*, 9, 289-92.
- CAMERON, J. A. 1988. The use of ultrasound for the removal of the smear layer. The effect of sodium hypochlorite concentration; SEM study. *Aust Dent J*, 33, 193-200.
- CAPAR, I. D. & AYDINBELGE, H. A. 2014. Effectiveness of various irrigation activation protocols and the self-adjusting file system on smear layer and debris removal. *Scanning*, 36, 640-7.
- CARON, G., NHAM, K., BRONNEC, F. & MACHTOU, P. 2010. Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *J Endod*, 36, 1361-6.
- CARSON, K. R., GOODELL, G. G. & MCCLANAHAN, S. B. 2005. Comparison of the antimicrobial activity of six irrigants on primary endodontic pathogens. *J Endod*, 31, 471-3.
- CHAUDHRY, S., YADAV, S., TALWAR, S. & VERMA, M. 2017. Effect of EndoActivator and Er,Cr:YSGG laser activation of Qmix, as final endodontic irrigant, on sealer penetration: A Confocal microscopic study. *J Clin Exp Dent*, 9, e218-e222.
- CIUCCHI, B., KHETTABI, M. & HOLZ, J. 1989. The effectiveness of different endodontic irrigation procedures on the removal of the smear layer: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J*, 22, 21-8.
- CLARK-HOLKE, D., DRAKE, D., WALTON, R., RIVERA, E. & GUTHMILLER, J. M. 2003. Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. *J Dent*, 31, 275-81.
- COBANKARA, F. K., OZKAN, H. B. & TERLEMEZ, A. 2010. Comparison of organic tissue dissolution capacities of sodium hypochlorite and chlorine dioxide. *J Endod*, 36, 272-4.
- CRAIGBAUMGARTNER, J. & MADER, C. 1987. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *Journal of Endodontics*, 13, 147-157.
- DE GREGORIO, C., ESTEVEZ, R., CISNEROS, R., PARANJPE, A. & COHENCA, N. 2010. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *J Endod*, 36, 1216-21.
- DESAI, P. & HIMEL, V. 2009. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *J Endod*, 35, 545-9.
- DÖLLMANN, S. 2010. Vergleich der Wirkung unterschiedlicher endodontischer Spül- und Reinigungssysteme (Handspülung, Ultraschall, EndoActivator®, CanalBrush®) auf die Sauberkeit präparierter Wurzelkanalwände. *Dissertation der Medizinischen Fakultät der Georg-August-Universität zu Göttingen*, 78.
- DONNERMEYER, D., WYRSCH, H., BURKLEIN, S. & SCHAFER, E. 2019. Removal of Calcium Hydroxide from Artificial Grooves in Straight Root Canals: Sonic Activation Using EDDY Versus Passive Ultrasonic Irrigation and XPendo Finisher. *J Endod*, 45, 322-326.

- DURAN, A. 2009. Einfluss Passiver Ultraschallaktivierter Spülung auf das Temperaturverhalten der Spülflüssigkeit im Wurzelkanal in vitro. *Inauguraldissertation der Justus-Liebig-Universität Gießen*, 53.
- ELNAGHY, A. M., MANDORAH, A. & ELSAKA, S. E. 2017. Effectiveness of XP-endo Finisher, EndoActivator, and File agitation on debris and smear layer removal in curved root canals: a comparative study. *Odontology*, 105, 178-183.
- GANKERSEER, E. J. & WALMSLEY, A. D. 1987. Preliminary investigation into the performance of a sonic scaler. *J Periodontol*, 58, 780-4.
- GENERALI, L., CAVANI, F., SERENA, V., PETTENATI, C., RIGHI, E. & BERTOLDI, C. 2017. Effect of Different Irrigation Systems on Sealer Penetration into Dentinal Tubules. *J Endod*, 43, 652-656.
- GEORGE, S., KISHEN, A. & SONG, K. P. 2005. The role of environmental changes on monospecies biofilm formation on root canal wall by *Enterococcus faecalis*. *J Endod*, 31, 867-72.
- GOLDMAN, L. B., GOLDMAN, M., KRONMAN, J. H. & LIN, P. S. 1981. The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 52, 197-204.
- GOMES, B. P., VIANNA, M. E., ZAIA, A. A., ALMEIDA, J. F., SOUZA-FILHO, F. J. & FERRAZ, C. C. 2013. Chlorhexidine in endodontics. *Braz Dent J*, 24, 89-102.
- GU, L. S., KIM, J. R., LING, J., CHOI, K. K., PASHLEY, D. H. & TAY, F. R. 2009. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod*, 35, 791-804.
- GUO, X., MIAO, H., LI, L., ZHANG, S., ZHOU, D., LU, Y. & WU, L. 2014. Efficacy of four different irrigation techniques combined with 60 degrees C 3% sodium hypochlorite and 17% EDTA in smear layer removal. *BMC Oral Health*, 14, 114.
- GUPTA, J., NIKHIL, V. & JHA, P. 2014. Corelation between machines assisted endodontic irrigant agitation and apical extrusion of debris and irrigant: a laboratory study. *ScientificWorldJournal*, 2014, 346184.
- HAAPASALO, M., SHEN, Y., WANG, Z. & GAO, Y. 2014. Irrigation in endodontics. *Br Dent J*, 216, 299-303.
- HAND, R. E., SMITH, M. L. & HARRISON, J. W. 1978. Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *J Endod*, 4, 60-4.
- HARRISON, J. W. & HAND, R. E. 1981. The effect of dilution and organic matter on the anti-bacterial property of 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod*, 7, 128-32.
- HAUPT, F., MEINEL, M., GUNAWARDANA, A. & HULSMANN, M. 2019. Effectiveness of different activated irrigation techniques on debris and smear layer removal from curved root canals: a SEM evaluation. *Aust Endod J*.
- HÜLSMANN, M., HECKENDORFF, M. & LENNON, A. 2003. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J*, 36, 810-30.
- HÜLSMANN, M., RUMMELIN, C. & SCHAFERS, F. 1997. Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: A comparative SEM investigation. *Journal of Endodontics*, 23, 301-306.
- JANNER, A. 2003. Schwingungsverhalten verschiedener Schall- und Ultraschallansätze und Empfehlungen für die klinische Anwendung am Patienten. *Dissertation an der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität zu München*, 3, 125.
- KANTER, V., WELDON, E., NAIR, U., VARELLA, C., KANTER, K., ANUSAVICE, K. & PILEGGI, R. 2011. A quantitative and qualitative analysis of ultrasonic versus sonic endodontic systems on canal cleanliness and obturation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 112, 809-13.
- KHALAP, N. D., KOKATE, S. & HEGDE, V. 2016. Ultrasonic versus sonic activation of the final irrigant in root canals instrumented with rotary/reciprocating files: An in-vitro scanning electron microscopy analysis. *J Conserv Dent*, 19, 368-72.

- KHAORD, P., AMIN, A., SHAH, M. B., UTHAPPA, R., RAJ, N., KACHALIA, T. & KHAROD, H. 2015. Effectiveness of different irrigation techniques on smear layer removal in apical thirds of mesial root canals of permanent mandibular first molar: A scanning electron microscopic study. *J Conserv Dent*, 18, 321-6.
- KLYN, S. L., KIRKPATRICK, T. C. & RUTLEDGE, R. E. 2010. In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator system, the F file, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod*, 36, 1367-71.
- KOCHER, T. & PLAGMANN, H. C. 1997. The diamond-coated sonic scaler tip. Part I: Oscillation pattern of different sonic scaler inserts. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 17, 392-9.
- KUMAR, P., DE ATAIDE, I. N., FERNANDES, M. & LAMBOR, R. 2017. A cone-beam computed tomography assessment of the efficacy of different irrigation devices for removal of silicone oil-based calcium hydroxide from root canal system. *J Conserv Dent*, 20, 68-71.
- KUMAR, V. R., BAHUGUNA, N. & MANAN, R. 2015. Comparison of efficacy of various root canal irrigation systems in removal of smear layer generated at apical third: An SEM study. *J Conserv Dent*, 18, 252-6.
- LEE, T. H., HU, C. C., LEE, S. S., CHOU, M. Y. & CHANG, Y. C. 2010. Cytotoxicity of chlorhexidine on human osteoblastic cells is related to intracellular glutathione levels. *Int Endod J*, 43, 430-5.
- LI, D., JIANG, S., YIN, X., CHANG, J. W., KE, J. & ZHANG, C. 2015. Efficacy of Needle, Ultrasonic, and Endoactivator Irrigation and Photon-Induced Photoacoustic Streaming in Removing Calcium Hydroxide from the Main Canal and Isthmus: An In Vitro Micro-Computed Tomography and Scanning Electron Microscopy Study. *Photomed Laser Surg*, 33, 330-7.
- LUDDIN, N. & AHMED, H. M. 2013. The antibacterial activity of sodium hypochlorite and chlorhexidine against *Enterococcus faecalis*: A review on agar diffusion and direct contact methods. *J Conserv Dent*, 16, 9-16.
- MACEDO, R., VERHAAGEN, B., RVS, D., VERSLUIS, M., WESSELINK, P. & VAN DER SLUIS, L. 2014. Cavitation Measurement during Sonic and Ultrasonic Activated Irrigation. *J Endod*, 40(4), 180-3.
- MADER, C. L., BAUMGARTNER, J. C. & PETERS, D. D. 1984. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod*, 10, 477-83.
- MANCINI, M., CERRONI, L., IORIO, L., ARMELLIN, E., CONTE, G. & CIANCONI, L. 2013. Smear layer removal and canal cleanliness using different irrigation systems (EndoActivator, EndoVac, and passive ultrasonic irrigation): field emission scanning electron microscopic evaluation in an in vitro study. *J Endod*, 39, 1456-60.
- MANCINI, M., CERRONI, L., IORIO, L., DALL'ASTA, L. & CIANCONI, L. 2018. FESEM evaluation of smear layer removal using different irrigant activation methods (EndoActivator, EndoVac, PUI and LAI). An in vitro study. *Clin Oral Investig*, 22, 993-999.
- MARQUES-DA-SILVA, B., ALBERTON, C. S., TOMAZINHO, F. S. F., GABARDO, M. C. L., DUARTE, M. A. H., VIVAN, R. R. & BARATTO-FILHO, F. 2019. Effectiveness of five instruments when removing calcium hydroxide paste from simulated internal root resorption cavities in extracted maxillary central incisors. *Int Endod J*.
- MCCOMB, D. & SMITH, D. C. 1975. A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod*, 1, 238-42.
- MENEZES, A. C., ZANET, C. G. & VALERA, M. C. 2003. Smear layer removal capacity of disinfectant solutions used with and without EDTA for the irrigation of canals: a SEM study. *Pesqui Odontol Bras*, 17, 349-55.

- MERYON, S. D. & BROOK, A. M. 1990. Penetration of dentine by three oral bacteria in vitro and their associated cytotoxicity. *Int Endod J*, 23, 196-202.
- MICHELICH, V. J., SCHUSTER, G. S. & PASHLEY, D. H. 1980. Bacterial penetration of human dentin in vitro. *J Dent Res*, 59, 1398-403.
- MOHAMMADI, Z. & SHALAVI, S. 2014. Antifungal effects of root canal irrigants and medicaments. An update review. *N Y State Dent J*, 80, 58-63.
- MOHAMMADI, Z., SHALAVI, S., MOEINTAGHAVI, A. & JAFARZADEH, H. 2017. A Review Over Benefits and Drawbacks of Combining Sodium Hypochlorite with Other Endodontic Materials. *Open Dent J*, 11, 661-669.
- MOZO, S., LLENA, C. & FORNER, L. 2012. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: increasing action of irrigating solutions. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, 17, e512-6.
- NIU, L. N., LUO, X. J., LI, G. H., BORTOLUZZI, E. A., MAO, J., CHEN, J. H., GUTMANN, J. L., PASHLEY, D. H. & TAY, F. R. 2014. Effects of different sonic activation protocols on debridement efficacy in teeth with single-rooted canals. *J Dent*, 42, 1001-9.
- NOCCA, G., AHMED, H. M. A., MARTORANA, G. E., CALLA, C., GAMBARINI, G., RENGO, S. & SPAGNUOLO, G. 2017. Chromographic Analysis and Cytotoxic Effects of Chlorhexidine and Sodium Hypochlorite Reaction Mixtures. *J Endod*, 43, 1545-1552.
- NOWAK, T. 2014. Untersuchung von akustischen Strömungen im kHz- und GHz-Bereich. *Dissertation der Georg-August-Universität Göttingen*, 1, 179-181.
- PABEL, A. K. & HULSMANN, M. 2017. Comparison of different techniques for removal of calcium hydroxide from straight root canals: an in vitro study. *Odontology*, 105, 453-459.
- PARAGLIOLA, R., FRANCO, V., FABIANI, C., MAZZONI, A., NATO, F., TAY, F. R., BRESCHI, L. & GRANDINI, S. 2010. Final rinse optimization: influence of different agitation protocols. *J Endod*, 36, 282-5.
- PASHLEY, D. H. 1990. Clinical considerations of microleakage. *J Endod*, 16, 70-7.
- PASHLEY, D. H. 1992. Smear layer: overview of structure and function. *Proc Finn Dent Soc*, 88 Suppl 1, 215-24.
- PETERS, O. A. & BARBAKOW, F. 2000. Effects of irrigation on debris and smear layer on canal walls prepared by two rotary techniques: a scanning electron microscopic study. *J Endod*, 26, 6-10.
- PETERS, O. A., PETERS, C. I., SCHONENBERGER, K. & BARBAKOW, F. 2003. ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *Int Endod J*, 36, 86-92.
- PLOTINO, G., GRANDE, N. M., MERCADE, M., CORTESE, T., STAFFOLI, S., GAMBARINI, G. & TESTARELLI, L. 2019. Efficacy of sonic and ultrasonic irrigation devices in the removal of debris from canal irregularities in artificial root canals. *J Appl Oral Sci*, 27, e20180045.
- PRATI, C., FOSCHI, F., NUCCI, C., MONTEBUGNOLI, L. & MARCHIONNI, S. 2004. Appearance of the root canal walls after preparation with NiTi rotary instruments: a comparative SEM investigation. *Clin Oral Investig*, 8, 102-10.
- PRUETT, J. P., CLEMENT, D. J. & CARNES, D. L., JR. 1997. Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. *J Endod*, 23, 77-85.
- RÖDIG, T., DOLLMANN, S., KONIETSCHKE, F., DREBENSTEDT, S. & HULSMANN, M. 2010. Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *J Endod*, 36, 1983-7.
- RODRIGUES, R. C. V., ZANDI, H., KRISTOFFERSEN, A. K., ENERSEN, M., MDALA, I., ORSTAVIK, D., ROCAS, I. N. & SIQUEIRA, J. F., JR. 2017. Influence of the Apical Preparation Size and the Irrigant Type on Bacterial Reduction in Root Canal-treated Teeth with Apical Periodontitis. *J Endod*, 43, 1058-1063.

- RUDDLE, C. 2015. *Endodontic disinfection: Tsunami irrigation*. [http://www.saudiendodj.com/temp/SaudiEndodJ511-3964342\\_110043.pdf](http://www.saudiendodj.com/temp/SaudiEndodJ511-3964342_110043.pdf). [16.03.2020].
- SABER SEL, D. & HASHEM, A. A. 2011. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *J Endod*, 37, 1272-5.
- SCHIAVOTELO, T. C. L., COELHO, M. S., RASQUIN, L. C., ROCHA, D. G. P., FONTANA, C. E. & BUENO, C. 2017. Ex-vivo Smear Layer Removal Efficacy of Two Activated Irrigation Techniques After Reciprocating Instrumentation in Curved Canals. *Open Dent J*, 11, 512-519.
- SCHMIDT, T. F., TEIXEIRA, C. S., FELIPPE, M. C., FELIPPE, W. T., PASHLEY, D. H. & BORTOLUZZI, E. A. 2015. Effect of Ultrasonic Activation of Irrigants on Smear Layer Removal. *J Endod*, 41, 1359-63.
- SCHNEIDER, S. W. 1971. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 32, 271-5.
- SEN, B. H., AKDENIZ, B. G. & DENIZCI, A. A. 2000. The effect of ethylenediamine-tetraacetic acid on *Candida albicans*. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 90, 651-5.
- SEN, B. H., WESSELINK, P. R. & TURKUN, M. 1995. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J*, 28, 141-8.
- SHAHRAVAN, A., HAGHDOOST, A. A., ADL, A., RAHIMI, H. & SHADIFAR, F. 2007. Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *J Endod*, 33, 96-105.
- SINGH, N., CHANDRA, A., TIKKU, A. P. & VERMA, P. 2014. A comparative evaluation of different irrigation activation systems on smear layer removal from root canal: An in-vitro scanning electron microscope study. *J Conserv Dent*, 17, 159-63.
- SIQUEIRA, J. F., JR., ROCAS, I. N., FAVIERI, A. & LIMA, K. C. 2000. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod*, 26, 331-4.
- STOJICIC, S., ZIVKOVIC, S., QIAN, W., ZHANG, H. & HAAPASALO, M. 2010. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *J Endod*, 36, 1558-62.
- SUMAN, S., VERMA, P., PRAKASH-TIKKU, A., BAINS, R. & KUMAR-SHAKYA, V. 2017. A Comparative Evaluation of Smear Layer Removal Using Apical Negative Pressure (EndoVac), Sonic Irrigation (EndoActivator) and Er:YAG laser -An In vitro SEM Study. *J Clin Exp Dent*, 9, e981-e987.
- SVEC, T. A. & HARRISON, J. W. 1977. Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution. *J Endod*, 3, 49-53.
- SWIMBERGHE, R. C. D., DE CLERCQ, A., DE MOOR, R. J. G. & MEIRE, M. A. 2019. Efficacy of sonically, ultrasonically and laser-activated irrigation in removing a biofilm-mimicking hydrogel from an isthmus model. *Int Endod J*, 52, 515-523.
- TAY, F. R., GU, L. S., SCHOEFFEL, G. J., WIMMER, C., SUSIN, L., ZHANG, K., ARUN, S. N., KIM, J., LOONEY, S. W. & PASHLEY, D. H. 2010. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *J Endod*, 36, 745-50.
- TORABINEJAD, M., HANDYSIDES, R., KHADEMI, A. A. & BAKLAND, L. K. 2002. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 94, 658-66.
- URBAN, K., DONNERMEYER, D., SCHAFFER, E. & BURKLEIN, S. 2017. Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clin Oral Investig*, 21, 2681-2687.
- UROZ-TORRES, D., GONZALEZ-RODRIGUEZ, M. P. & FERRER-LUQUE, C. M. 2010. Effectiveness of the EndoActivator System in removing the smear layer after root canal instrumentation. *J Endod*, 36, 308-11.

- VAN DER SLUIS, L. W., VERSLUIS, M., WU, M. K. & WESSELINK, P. R. 2007. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J*, 40, 415-26.
- VIOLICH, D. R. & CHANDLER, N. P. 2010. The smear layer in endodontics - a review. *Int Endod J*, 43, 2-15.
- VIRDEE, S. S., SEYMOUR, D. W., FARNELL, D., BHAMRA, G. & BHAKTA, S. 2018. Efficacy of irrigant activation techniques in removing intracanal smear layer and debris from mature permanent teeth: a systematic review and meta-analysis. *Int Endod J*, 51, 605-621.
- VIVACQUA-GOMES, N., FERRAZ, C. C., GOMES, B. P., ZAIA, A. A., TEIXEIRA, F. B. & SOUZA-FILHO, F. J. 2002. Influence of irrigants on the coronal microleakage of laterally condensed gutta-percha root fillings. *Int Endod J*, 35, 791-5.
- WALMSLEY, A. D., LUMLEY, P. J. & LAIRD, W. R. 1989. Oscillatory pattern of sonically powered endodontic files. *Int Endod J*, 22, 125-32.
- WAYMAN, B. E., KOPP, W. M., PINERO, G. J. & LAZZARI, E. P. 1979. Citric and lactic acids as root canal irrigants in vitro. *J Endod*, 5, 258-65.
- WEBER, C. D., MCCLANAHAN, S. B., MILLER, G. A., DIENER-WEST, M. & JOHNSON, J. D. 2003. The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidine or 5.25% sodium hypochlorite irrigant on residual antimicrobial activity in root canals. *J Endod*, 29, 562-4.
- WELLER, R. N., BRADY, J. M. & BERNIER, W. E. 1980. Efficacy of ultrasonic cleaning. *Journal of Endodontics*, 6, 740-743.
- WHITE, R. R., JANER, L. R. & HAYS, G. L. 1999. Residual antimicrobial activity associated with a chlorhexidine endodontic irrigant used with sodium hypochlorite. *Am J Dent*, 12, 148-50.
- XU, K., WANG, J., WANG, K., GEN, N. & LI, J. 2018. Micro-computed tomographic evaluation of the effect of the final apical size prepared by rotary nickel-titanium files on the removal efficacy of hard-tissue debris. *J Int Med Res*, 46, 2219-2229.
- YAMADA, R. S., ARMAS, A., GOLDMAN, M. & LIN, P. S. 1983. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *J Endod*, 9, 137-42.
- YANG, S. E. & BAE, K. S. 2002. Scanning electron microscopy study of the adhesion of *Prevotella nigrescens* to the dentin of prepared root canals. *J Endod*, 28, 433-7.
- YEUNG, W., RALDI, D. P., CUNHA, R. S. & MELLO, I. 2014. Assessment of smear layer removal protocols in curved root canals. *Aust Endod J*, 40, 66-71.
- YOST, R. A., BERGERON, B. E., KIRKPATRICK, T. C., ROBERTS, M. D., ROBERTS, H. W., HIMEL, V. T. & SABEY, K. A. 2015. Evaluation of 4 Different Irrigating Systems for Apical Extrusion of Sodium Hypochlorite. *J Endod*, 41, 1530-4.
- ZAMANY, A., SAFAVI, K. & SPANGBERG, L. S. 2003. The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfectant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 96, 578-81.
- ZEHNDER, M. 2006. Root canal irrigants. *J Endod*, 32, 389-98.
- ZENG, C., WILLISON, J., MEGHIL, M. M., BERGERON, B. E., CUTLER, C. W., TAY, F. R., NIU, L. & MA, J. 2018. Antibacterial efficacy of an endodontic sonic-powered irrigation system: An in vitro study. *J Dent*, 75, 105-112.

# 7 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: <i>Aufliegende Schmierschicht</i> .....	5
Abb. 2: <i>Intratubuläre Schmierschicht</i> .....	5
Abb. 3: <i>Komplexe Anatomie des apikalen Drittels</i> .....	10
Abb. 4: <i>Übersicht der Aktivierungsmethoden und –systeme</i> .....	17
Abb. 5: <i>VDW.Ultra®</i> .....	20
Abb. 6: <i>Ansätze zur Passiven Ultraschallaktivierung</i> .....	20
Abb. 7: <i>EDDY® Ansatz</i> .....	24
Abb. 8: <i>Schwingungsmuster EDDY®</i> .....	25
Abb. 9: <i>Versuchsdesign</i> .....	28
Abb. 10: <i>Messung der Wurzelkrümmung nach Schneider (1971)</i> .....	30
Abb. 11: <i>Vermessung und Markierung der Zähne</i> .....	32
Abb. 12: <i>Markierung und Kürzen der Zähne</i> .....	33
Abb. 13: <i>Überprüfung der Apikalen Patency</i> .....	34
Abb. 14: <i>Apikales Abdichten mittels Heißkleber</i> .....	34
Abb. 15: <i>Maschinelle Aufbereitung</i> .....	35
Abb. 16: <i>Aktivierung mit dem EndoActivator®</i> .....	36
Abb. 17: <i>Prüfmanometer</i> .....	37
Abb. 18: <i>Übersicht der Aktivierungsspitzen</i> .....	38
Abb. 19: <i>Trennen der Zähne – Schritt 1</i> .....	39
Abb. 20: <i>Trennen der Zähne – Schritt 2</i> .....	40
Abb. 21: <i>Getrennter Zahn – Aufsicht</i> .....	40
Abb. 22: <i>Gesputterte Zahnhälften</i> .....	42
Abb. 23: <i>Alternative Positionierung der Achsen</i> .....	55
Abb. 24: <i>Verschiedene Wurzelkrümmungen</i> .....	56
Abb. 25: <i>Variables Erscheinungsbild der Wurzelkanaloberfläche – 1</i> .....	62
Abb. 26: <i>Variables Erscheinungsbild der Wurzelkanaloberfläche - 2</i> .....	63
Abb. 27: <i>Debris Code 1</i> .....	64
Abb. 28: <i>Debris Code 2</i> .....	65
Abb. 29: <i>Debris Code 3</i> .....	66
Abb. 30: <i>Debris Code 4</i> .....	66

Abb. 31: <i>Debris Code 5</i> .....	67
Abb. 32: <i>Schmierschicht Code 1</i> .....	67
Abb. 33: <i>Schmierschicht Code 1 – Unaufbereitete Zähne</i> .....	68
Abb. 34: <i>Schmierschicht Code 2</i> .....	69
Abb. 35: <i>Schmierschicht Code 3</i> .....	70
Abb. 36: <i>Schmierschicht Code 4</i> .....	71
Abb. 37: <i>Schmierschicht Code 5</i> .....	71
Abb. 38: <i>Problematik der Fehlinterpretation der Strukturen-1</i> .....	72
Abb. 39: <i>Problematik der Fehlinterpretation der Strukturen-2</i> .....	73
Abb. 40: <i>Problematik der Fehlinterpretation der Strukturen-3</i> .....	73
Abb. 41: <i>Problematik der Fehlinterpretation der Strukturen-4</i> .....	74

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: <i>Einschlusskriterien Zähne</i> .....	29
Tabelle 2: <i>Übersicht der Versuchsgruppen</i> .....	31
Tabelle 3: <i>Übersicht der Kontrollgruppen</i> .....	31
Tabelle 4: <i>Übersicht der Gruppen und Einstellungen</i> .....	38
Tabelle 5: <i>Bewertung Debris</i> .....	43
Tabelle 6: <i>Bewertung smear layer</i> .....	43
Tabelle 7: <i>Schmierschicht – Verteilung der Proben innerhalb der Gruppe</i> .....	46
Tabelle 8: <i>Schmierschicht – Mittelwert, Standardabweichung, Median</i> .....	46
Tabelle 9: <i>Debris – Verteilung der Proben innerhalb der Gruppe</i> .....	47
Tabelle 10: <i>Debris – Mittelwert, Standardabweichung, Median</i> .....	47
Tabelle 11: <i>Vergleich Konventionelle Spülung und Aktivierung</i> .....	49
Tabelle 12: <i>Korrigierte P-Werte - Vergleich EndoActivator® Ansätze</i> .....	50
Tabelle 13: <i>korrigierte P-Werte – Vergleich Wurzel Drittel</i> .....	53
Tabelle 14: <i>Verbesserte smear layer Entfernung Aktivierung – Wurzel Drittel</i> ..	80
Tabelle 15: <i>Verbesserte Debrisentfernung Aktivierung – Wurzel Drittel</i> .....	80

## 9 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: <i>Smear layer – Prozentuale Verteilung innerhalb der Gruppen ...</i>	45
Diagramm 2: <i>Debris– Prozentuale Verteilung innerhalb der Gruppen .....</i>	47
Diagramm 3: <i>Smear layer PK – Wurzeldrittel.....</i>	51
Diagramm 4: <i>Debris PK – Wurzeldrittel.....</i>	52
Diagramm 5: <i>Smear layer Aktivierungsgruppen - Wurzeldrittel.....</i>	52
Diagramm 6: <i>Debris Aktivierungsgruppen - Wurzeldrittel.....</i>	52

# 10 Anhang

## 10.1 Tabelle zur Dokumentation der Versuchsdurchführung

### 10.1.1 Legende, Abkürzungen

#### Zahnart

1	Prämolaren
2	Eckzähne
3	Oberkiefer Inzisiven
4	Unterkiefer Inzisiven

#### Gruppe

1	PK = Positivkontrollgruppe
2	NK = Negativkontrollgruppe
3	Passive Ultraschallaktivierung
4	EDDY®
5	EndoActivator® 35/.04
6	EndoActivator® 25/.04
7	EndoActivator® 15/.02

#### Friktion

0	Keine Friktion der Feile im WK
1	Leichte Friktion
2	Mittlere Friktion
3	Starke Friktion

#### Wurzeldrittel

A	Apikales Wurzeldrittel
D	Mittleres Wurzeldrittel
H	Koronales Wurzeldrittel

#### Smear layer

s. Tabelle 6, S. 46
---------------------

#### Debris

s. Tabelle 5, S. 46
---------------------

<b>A</b>	Ausschluss
<b>Akt.</b>	Aktivierung
<b>DA</b>	Debris Code im apikalen Drittel
<b>DD</b>	Debris Code im mittleren Drittel
<b>DH</b>	Debris Code im koronalen Drittel
<b>E</b>	Einschluss
<b>GG</b>	Gates-Glidden
<b>GP</b>	Guttapoint
<b>Hä.</b>	Hälfte
<b>IAF</b>	Initiale Apikale Feile in ISO-Größe
<b>oB</b>	Ohne Besonderheiten
<b>oblit.</b>	Obliteriert
<b>MD</b>	Mesiodistal
<b>OV</b>	Orovestibulär
<b>Perf.</b>	Perforiert
<b>REM</b>	Rasterelektronenmikroskop
<b>SA</b>	Smear layer Code im apikalen Wurzeldrittel
<b>SD</b>	Smear layer Code im mittleren Wurzeldrittel
<b>SH</b>	Smear layer Code im koronalen Wurzeldrittel
<b>WL</b>	Wurzellänge
<b>WK</b>	Wurzelkrümmung
<b>ZL1</b>	Zahnlänge original
<b>ZL2</b>	Zahnlänge nach dem Kürzen
<b>ZL3</b>	Zahnlänge durch Feile bestimmt
<b>2K</b>	2 Kanäle
<b>2A</b>	2 Wurzelkanalausgänge

## 10.1.2 Tabelle

NR.	ZAHN-ART	WK OV	WK MD	WL	ZL0	ZL1	ZL2	Einschluss oder Ausschluss	IAF	GRUPPE	Kommentar zum Zahn/Röntgen	Kommentar bei der Aufbereitung	Friktion
1	3	7	15	14,2	22,9	16,1	16	E	15	6	oB	GG ohne Funktion, weit	1
2	2	0	18	19	30,2	16	16	E	15	4	oB	oberes Drittel weit dann gut	1
3	4	0	12	14,7	22,7	16,2	16	E	10	3	Infraktion Krone	wirkt spröde, keine Längsfraktur in Dritteln erkennbar	2
4	4	9	27	13	-	-	-	A	-	-	oB	oB	-
5	4	0	16	14,1	20,7	16,3	15,5	A 2K	10	6	oB	ev. 2. Kanal?	3
6	4	0	0	13,8	19,7	16,3	16	A wg falscher Akt	10	1	oB	nach 5-6mm Kanal	3
7	3	0	14	14,6	23,7	16,2	16	E	10	7	oB	oB	? ok
8	4	8	19	16,3	24,4	16,1	16	A wg Trennen	10	4	oB	oB	?
9	4	11	11	15,7	21,6	16	16	E	10	7	Krümmung gesamt auffällig	oB	2
10	3	8	0	14,4	24,7	15,7	16	E	15	5	oB	weites Lumen	1
11	4	13	7	13,5	22,3	16,1	16,5	E	10	6	oB	oB	2
12	3	14	0	13,6	23,4	16,1	16	E -A REM	10	7	oB	nach 5mm Kanal	1
13	3	6	0	13,2	23,3	16,1	16	E	10	3	oB	oB	2
14	4	3	16	14,9	22,3	16	16	A 2K	-	-	2K	-	-
15	4	13	19	12,6	-	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
16	4	0	0	14,3	24,2	16,2	16	E	10	6	oB	oB	2
17	4	6	0	14,7	22,9	16,1	16	E	10	3	oB	oB	2
18	4	0	19	14,6	23,5	15,9	16,5	A 2K	10	7	2K	-	-
19	1	0	2K	16,2	-	-	-	A 2K+2A	-	-	2K	-	-
20	4	32	20	14,6	-	-	-	A WK	-	-	2K	-	-
21	3	4	7	14,7	23,9	16,1	16	E	10	7	oB	oB	2
22	4	0	16	15,4	24,3	16,2	16	E	10	7	ev 2K? nachschauen!-ok!!	nach 5mm Kanal	1-2
23	1	14	2K	13,8	-	-	-	A 2A und 2K	-	-	2K	-	-
24	4	19	8	13,8	21	16,3	16	A wg falscher Akt.	10	4	oB	falsche Aktivierung	2
25	4	0	13	12,9	20,2	16,2	16	E	10	3	oB	oB	2
26	4	0	0	13,4	21,9	16,2	16,5	E	10	6	oB	oB	2

NR.	Trennen	Trägerzugehörigkeit 1. Hälfte	Trägerzugehörigkeit 2. Hälfte	Kommentar zum Rastern	SA	SD	SH	DA	DD	DH
1	oB	21	s	gut	3	2	1	2	1	1
2	oB	21	q	gut	3	2	1	2	1	1
3	2. Hä Spitze einzeln	15	n	ok	2	2	2	1	1	1
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	oB	1	a	2 Kanäle!	-	-	-	-	-	-
6	oB	1	f	dunkel	-	-	-	-	-	-
7	oB	12	d	A schwer, zusätzlich 600x, H schwer, 2. Hälfte verwendet	3	5	2	1	2	2
8	GP angefräst	1	-	oB	-	-	-	-	-	-
9	oB	12	?	gut	3	3	2	1	2	1
10	oB	2	g	z.T. nicht bearbeitete Wände	2	1	1	1	1	1
11	oB	11	b	ok	3	2	2	1	2	1
12	oB	15	i	gut	-	-	-	-	-	-
13	oB	16	l	oB	3	1	1	1	1	1
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	oB	11	f	schwer	3	2	1	1	1	1
17	oB	13	i	oB	4	2	2	1	1	1
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	oB	11	g	schwer, Leuchten	2	2	1	1	1	1
22	oB	14	l	keine 2 Kanäle zu entdecken, D kaum Tubuli	3	3	2	1	1	1
23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
25	in 3 Stücke, alle Sputtern!	13	13	oB	1	1	1	2	1	1
26	obere 4mm abgebrochen	2	h	schlecht zu Rastern, Leuchten stark, dunkel	2	2	1	1	1	1

NR.	ZAHN-ART	WK OV	WK MD	WL	ZL0	ZL1	ZL2	Einschluss oder Ausschluss	IAF	GRUPPE	Kommentar zum Zahn/Röntgen	Kommentar bei der Aufbereitung	Friktion
27	4	0	0	12,8	19,6	16,2	16	E	10	3	unterer Kanal unscharf begrenzt	oB	2
28	3	14	19	13,9	23,2	16,3	16,5	E	10	7	Krümmung aber 1,5mm vor Apex	oB	2
29	4	10	19	11,3	20,4	16,2	16	A oblit	-	6	Obliteration?	obliteriert	-
30	4	0	0	13,4	20,5	15,8	16	E	10	3	oB	nach 5mm Zugang	3
31	3	23	0	13,6	-	-	-	A WK	-	-	oB	-	-
32	3	8	13	14,2	25,4	16,2	16	E	15	7	oB	oB	2
33	4	0	0	13,5	19,4	16	-	E	-	2	oB	keine erfolgt	?
34	1	13	0	15,2	22,5	15,9	16	A 2K	10	5	2K?	2K	-
35	4	7	0	13	19,3	16,1	16	E	10	7	2A aber ok	oB	2
36	4	3	19	14,5	20,3	16,2	16	E	10	1	oB	oB	?
37	4	0	18	13,2	21,8	16,3	16	E	10	1	oB	oB	2
38	4	0	26	11,6	20,1	15,9	oblit	A oblit	-	-	Obliteration?	obliteriert	-
39	4	4	40	12,8	21,3	16,3	16	E	10	6	oB	nach 5-6mm Kanal	2
40	4	9	0	13,3	20,3	15,9	16	A 2 K	A2K	-	2K	-	-
41	3	7	16	11,4	22,3	15,7	15,5	E	20	5	Krümmung ov Richtung	GG ohne Funktion, weit	1
42	1	-	-	14,3	-	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
43	4	0	0	13,9	21,7	15,9	16	E	10	4	oB	nach 4-5mm Kanal	2
44	2	0	SS	12,3	21,9	16	16	E	15	5	S förmig - 2.Rö	2.Rö ok	1
45	4 oder 3	18	15	13,5	21,8	16	16	E	10	3	oB	oB	2
46	4	0	0	12,2	-	-	-	A REM	-	2	oB	-	-
47	4	0	0	15,4	23,4	16,3	16,5	E	10	1	oB	nach 5-6mm Kanal	2
48	4	19	0	13,9	17,8	15,9	16	E	10	5	oB	oB	2
49	4	0	15	10,8	18,9	15,9	16	E	10	6	oB	oB	2
50	2	0	SS	13,5	22,8	16	16	E	15	7	S förmig - 2.Rö	SS 3° ok!	2
51	4	0	0	11,3	20,1	16,2	16	E	10	5	oB	oB	2
52	4	0	18	12,7	21,7	16,2	16	A wg falscher Akt	10	1	oB	falsche Aktivierung	2
53	4	3	0	12,2	20,6	16,1	16	E	10	5	oB	oB	2-3
54	4	8	0	13,4	20,6	16,2	16	E	10	7	oB	oB	2
55	4	6	0	11,3	19,4	16,1	16	E	10	1	oB	oB	2
56	4	9	0	12,9	20,5	15,8	15,5	E	15	6	recht weites Lumen von md	oB	?

NR.	Trennen	Trägerzugehörigkeit 1. Hälfte	Trägerzugehörigkeit 2. Hälfte	Kommentar zum Rastern	SA	SD	SH	DA	DD	DH
27	oB	16	n	oB	1	1	1	1	1	1
28	oB	14 (28.1 und 28.2)	?	28.1 alle Drittel drauf	4	4	2	2	1	1
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	2. Hä in 2 Teilen	16	n	oB	2	2	3	1	1	1
31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	oB	3	b	D schwer	2	3	1	2	2	1
33	oB	27	p	undeutliche Struktur - schwer	2	2	2	1	1	1
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	oB	19	n	dunkel	4	3	2	3	1	1
36	oB	8	10?	gut, D schmal!	3	2	2	3	2	1
37	oB	8	c	oB	3	2	1	1	1	1
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	oB	9	?	ok bis schlecht	3	3	3	2	2	1
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	oB	22	q	oB	2	1	1	2	1	1
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	2. Hä in 2 Teilen	23	s	A gut, D,H dunkel+Leuchten	3	3	1	2	1	1
44	oB	30	-	gut, A nicht komplett aufbereitet?!	2	1	1	1	2	2
45	oB	17	l	oB	2	2	2	1	1	1
46	oB	27	p	Kanaloberfläche unklar -A ev. neu, Struktur	-	-	-	-	-	-
47	oB	6	e	oB	5	4	3	5	3	2
48	oberes 1/3 leicht perf., GP passt	9	g	oB	2	2	1	1	1	2
49	oB	25	r	gut, H unaufbereitet?! OF	3	1	2	1	1	1
50	oB	30	-	gut, H teilweise unaufbereitet?!-40x	2	3	2	1	1	1
51	oB	9	b	ok	4	2	1	1	1	1
52	oB	3	e	-	-	-	-	-	-	-
53	2. Hä nur Spitze	25	p oder r	gut, A-keine DT	4	2	1	1	1	1
54	oB	8	d	oB	3	2	1	1	2	1
55	oB	8	f	oB	2	3	1	1	1	1
56	oB	3	d	A wenig Tubuli, D wenig Tubuli, H schwer (Leuchten!)	3	3	2	1	1	1

NR.	ZAHN-ART	WK OV	WK MD	WL	ZL0	ZL1	ZL2	Einschluss oder Ausschluss	IAF	GRUPPE	Kommentar zum Zahn/Röntgen	Kommentar bei der Aufbereitung	Friktion
57	4	0	19	14,4	23,9	16,2	16	A 2 K	10	5	2 K auf kurzem Stück	Kanal recht weit außen	2
58	1	16	0	14,3	22,5	16,1	16	E	15	4	weites Lumen	oB	0-1
59	4	10	16	12	20	16,3	16,5	E	10	6	oB	oB	?
60	4	0	0	14	20,9	16,1	16	E	10	3	oB	oB	2
61	4 oder 3	0	0	15,7	23,9	16,1	16	E	10	3	oB	oB	1-2
62	?	9	7	17,9	23,2	16,0	-	E	-	2	sehr weites Lumen!	oB	0-1
63	4	0	13	15,2	22,4	16,1	16	E	10	7	md großes Lumen	sehr feiner Kanaleingang leicht lateral, nach Erweiterung oB	2
64	2	0	0	16	25,3	16,2	16	E	20	5	oB	oB	1
65	4	0	SS	14,7	22,9	16,1	16	E	10	4	ev 2K? nachschauen! SS ok, Dentinbrücke weg, REM- keine 2 K!!	ok! SS Aufnahme ok, 3°	2
66	3	0	0	13,8	23,9	16	16	E	15	6	Lumen weiter aber ok	nach ca. 4mm Kanal	1-2
67	3	0	0	11,6	22,4	15,9	16	E	10	6	oB	oB	0-1
68	3	0	0	12,4	22,7	15,9	16	A wg falscher Akt.	10	3	oB	erste 6-7mm für Zugang	-
69	1	6	10	13,6	19,8	16,1	16	E	10	3	oB	oB	1-2
70	3	15	0	13,6	21,8	16,1	16	E	15	3	oB	oB	1-2
71		0	19	14,1	-	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
72	3	0	10	12,1	22,9	16,1	16	A >25	>25	-	oB	-	-
73	4	0	0	16,4	22,6	16,3	16	A 2K	10	5	2K im Nachhinein festgestellt	obere 5mm bis Kanal, wenig Platz zum Schwingen!	2
74	4	11	0	15	23,3	16,2	16	E	10	3	oB	oB	2
75	4	0	0	14	21,7	16,2	16	E	10	3	oB	oB	2
76	4	0	12	14,1	20,5	16	16	E	10	7	oB	oB	2
77	?	0	14	11,9	19,8	16,3	16	E	10	5	oB	obere 5-6mm bis Kanal	2
78	1	10	0	17,6	25,8	16,1	16	E	10	3	oB	oB	1
79	?	10	20	14,3	-	-	-	A WK	-	2	S förmig	-	-
80	?	Karies	Karies	19,5	-	-	-	A Karies	-	-	Karies	-	-

NR.	Trennen	Trägerzugehörigkeit 1. Hälfte	Trägerzugehörigkeit 2. Hälfte	Kommentar zum Rastern	SA	SD	SH	DA	DD	DH
57	oB	7	c	-	-	-	-	-	-	-
58	GP kaum Friktion Trennen oB	7	d	erscheint unaufbereitet	1	1	1	1	1	1
59	oB	4	?	oB	3	3	1	1	1	2
60	oB	19	k	oB	1	1	1	1	1	1
61	minimal an GP, passt gut, mit Lupe nichts zu sehen	15	l	gut, aufbereitet	1	3	1	1	3	2
62	oB	27	o	gut	1	1	1	1	1	1
63	oB	22	?	oB	2	2	2	1	1	1
64	oB	13	i	oB	3	4	2	1	1	1
65	oB	31	v	gut, keine 2 Kanäle!	2	2	2	1	1	1
66	oB	24	s	gut	3	2	2	1	1	1
67	oB	14	i	z.T wirkt unaufbereitet (großer Zahn), OF-Struktur	1	1	2	1	1	1
68	?	4	-	-	-	-	-	-	-	-
69	oB	17	k	ok	2	1	1	2	1	1
70	oB	12	j	gut	5	3	1	2	1	1
71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
72	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
73	oB	7	a	-	-	-	-	-	-	-
74	oB	19	n	oB	1	1	2	1	1	1
75	oB	16	k	oB	2	3	1	1	1	1
76	2. Hä in 2 Teilen	24	u	ok, Leuchten	3	2	1	1	1	1
77	oB	15	f	oB	4	2	2	1	1	1
78	oB	18	j	oB	3	3	1	2	1	1
79	-	25	keine	keine KanalOF??-2.Häl -keine 2-Hä- A!	-	-	-	-	-	-
80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NR.	ZAHN-ART	WK OV	WK MD	WL	ZL0	ZL1	ZL2	Einschluss oder Ausschluss	IAF	GRUPPE	Kommentar zum Zahn/Röntgen	Kommentar bei der Aufbereitung	Friktion
81	4	0	0	11,3	19,2	16	16	E	15	7	oB	oB	1
82	4	0	19	14,2	20,9	16,2	16	E	10	5	oB	nach 4-5mm Kanal	2-3
83	4	0	19	13,5	20,1	16,2	16	E	10	4	oB	nach 4mm Kanal	? ok
84	?	7	0	15,2	-	-	-	A 2 K	-	-	2K	-	-
85	4	0	0	10,9	19,8	16,3	16	A	10	3	-	Zugang schwer, bis ca 8mm Zugang	3
86	4	7	0	10,8	18,5	16,2	16	A 2K	10	1	kleiner Zahn, 2K	ev. 2. Kanal?	3
87	4	0	0	12,6	20,1	15,7	16	E	10	5	oB	nach ca 5 mm Kanal	3
88	4	7	0	10,1	19	16	-	E	-	2	oB	oB	-
89	4	0	11	12,1	20,9	15,9	16	E	10	5	oB	nach 4mm Kanal	2
90		12	0	12,5	-	-	-	A REM	-	2	-	-	-
91	2	0	0	15,4	25,2	16,3	16	A >25	>25	-	oB	apikale Patency >25	-
92	2	0	0	15,6	24,7	16,1	16	A >25	>25	-	oB	apikale Patency >25	-
93	2	0	0	17	27,9	16,3	16,5	E	10	6	oB	oB	2
94	1	9	12	12,8	20,9	16,3	16	E	10	4	oB	oB	2
95	2 oder 1	0	0	14,5	21,1	15,9	16	E	10	5	oB	oB	?
96	3	16	0	12,4	21,2	16,2	16	E	10	3	oB	oB	1-2
97	-	0	19	12,3	-	-	-	A Krümmung	20	-	SS, starke Gesamtkrümmung	SS Krümmung zu groß	-
98	2	0	0	15,6	23,7	15,9	16	A 2 K	-	7	kurzzeitig 2K?!	2K	-
99	1	19	0	15,6	23	16	16	E	10	6	stärkere Krümmung md, nur apikale 2 mm	Krümmung nicht spürbar, leicht ovaler Kanal aber i.O.	2
100	4	14	0	12,2	20,2	16	16	E	10	7	stärkere Krümmung md	nach 4-5mm Kanal, ovaler Kanal, Krümmung oB	2-3
101	3	0	20	12,4	21,9	15,9	16	E	10	5	oB	erst weiter unten Friktion/etwas weiteres Lumen aber ok! Akt passt vom Gefühl gut	1
102	3?	0	0	11,4	20,1	16,2	16	ev A? - A	10	1	oB	weites Lumen	1-2
103	3	14	0	12,9	22,3	15,8	16	E	10	6	wirkt gekrümmt	bei Aufbereitung nicht gemerkt	2
104	1	0	0	11,6	-	-	-	A >25, REM	-	2	sehr weit	-	-
105	1	0	0	12,9	-	-	-	A REM	-	2	sehr weit	-	-

NR.	Trennen	Trägerzugehörigkeit 1. Hälfte	Trägerzugehörigkeit 2. Hälfte	Kommentar zum Rastern	SA	SD	SH	DA	DD	DH
81	oB	11	?	schwer, sehr dunkel	3	3	2	1	1	1
82	GP angefräst, zu den Kerben hin nicht und GP passt perfekt	25	s	H viel Debris, aber in 200x nicht zu sehen	2	3	2	1	1	1
83	oB	6	a	oB	2	3	2	1	1	1
84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
85	oB	4	d	-	-	-	-	-	-	-
86	oB	9	d	-	-	-	-	-	-	-
87	oB	17	j	ok, Leuchten	1	1	1	1	1	1
88	oB	28	p	OF Struktur	2	1	1	1	1	2
89	oB	10	c	A dunkel, D,H Leuchten	2	2	2	2	1	1
90	-	27	p	gut, OF Struktur	-	-	-	-	-	-
91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
93	etwas Wasser auf Kanaloberfläche	5	h	nicht bearbeitete Wände? Struktur, OF sehr irregulär	5	1	1	2	1	1
94	oB	6	a	oB	2	2	1	2	1	1
95	oB	10	h	oB	4	3	2	1	2	3
96	oB	19	j	OF Struktur	3	1	1	1	1	2
97	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99	oB	24	s	oB	3	1	1	1	1	1
100	oB	23	s	gut, Leuchten	2	1	1	2	1	1
101	oB	21	s	oB	4	1	1	2	1	1
102	zerstört	c	c	?	-	-	-	-	-	-
103	oB	23	q	gut	4	3	2	3	3	1
104	-	26	p	gut, Struktur?	-	-	-	-	-	-
105	-	26		gut, pulpaes Gewebe über Kanäle?!, A nicht drauf? Struktur?	-	-	-	-	-	-

NR.	ZAHN-ART	WK OV	WK MD	WL	ZL0	ZL1	ZL2	Einschluss oder Ausschluss	IAF	GRUPPE	Kommentar zum Zahn/Röntgen	Kommentar bei der Aufbereitung	Friktion
106	4	0	0	14,4	22,3	15,7	16	E	10	6	oB	oB	3
107	4	0	0	13,8	21,7	15,8	16	E	15	4	oB	oB	2
108	4	0	0	13,2	20,8	16	-	A obliteriert	-	-	Obliteration?	obliteriert	-
109	4	21	0	14	-	-	-	A WK	-	-	Krümmung	-	-
110	4	15	0	14	22,6	16	16	E	15	3	oB	oB	1
111	4	0	0	12,5	20,1	15,7	15,5	E	15	4	oB	oB	2
112	3	11	16	9,5	-	-	A WL<10 mm	A WL, REM	-	2	oB	-	-
113	3	0	0	13	24,3	16	16	E	10	6	oB	weites Lumen	1-2
114	2	0	2K	16	-	-	-	A 2 K	-	-	2K	-	-
115	3	0	8	10,5	21,2	15,9	16	E, dann A REM	15	5	recht weites Lumen	vom Gefühl passt Größe 5 gut	1
116	4	14	0	14	22,8	16,2	16	A 2K	15	1	2K	-	2
117	4	0	0	12	21,3	16	16	E	10	7	oB	nach 5-6mm Kanal, leichte Krümmung des GP	2
118	3	0	0	12,5	23,3	15,8	-	A >25	>25	-	oB	Patency >20	-
119	4	0	0	12	21,2	15,8	-	E	-	2	oB	oB	-
120	4	-	-	12	-	-	-	A Karies	-	-	Karies	-	-
121	4	30	-	15	-	-	-	A WK	-	-	WK	-	-
122	2	0	19	16	24,4	15,6	15,5	A wg. falscher Akt.	10	1	3er, weites Lumen	falsche Aktivierung	1-2
123	3	0	9	11,5	21,5	16,1	-	A Längsfraktur	10	7	Längsfraktur	-	-
124	3	0	5	12,5	23,3	15,8	-	A >25	>25	-	oB	Patency >25	-
125	4	0	0	11,5	-	-	-	A obliteriert	-	-	oB	Obliteration	-
126	4	0	0	13,5	20,6	16	16	E	10	6	oB	nach 4mm Kanal, vom Gefühl passt 6 gut	2
127	4	0	9	12	18,7	16,3	16	E	10	5	kleiner Zahn	GP passt perfekt	3
128	4	0	9	12	18,7	16,2	16	E	15	3	oB	oB	2-3
129	4	7	0	11,5	-	-	-	A Flig bis WK	-	-	Flig	-	-
130	1	0	-	10	-	-	-	A ?	-	-	oB	-	-
131	4	0	0	14,5	22,8	16,2	16	E	10	3	Karies koronaler, nicht bis Kanal	oB	2
132	2	8	2K	18	-	-	-	2 K	-	-	2K	-	-
133	1	19	2K	14	-	-	-	2 K	-	-	2K	-	-

NR.	Trennen	Trägerzugehörigkeit 1. Hälfte	Trägerzugehörigkeit 2. Hälfte	Kommentar zum Rastern	SA	SD	SH	DA	DD	DH
106	oB	5	b	oB, Leuchten recht ausgeprägt	3	3	2	1	1	1
107	oB	23	r	oB	2	3	1	1	1	1
108	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	oB	20	n	gut, H unaufbereitet	4	1	1	3	1	1
111	1. Hä in 2 Teilen, 2. nur Spitze	22	d	oB	4	3	1	2	2	1
112	-	27	-	gut, irreguläre OF	-	-	-	-	-	-
113	oB	10	g	ok, H erscheint unaufbereitet, 1.Hälfte bewertet	3	4	1	3	3	1
114	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
115	beim Trennen 2. Hälfte zerstört	20	b	A unaufbereitet?! H undeutlich -2-Häl	-	-	-	-	-	-
116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
117	oB	20	n	gut, H wenig aufbereitet?!	4	1	2	3	1	1
118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
119	oB	26	p	ok, A dunkel	1	1	1	1	1	1
120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
121	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
122	mittelmäßig, unteres Drittel getrennt	5	e	-	-	-	-	-	-	-
123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
124	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
126	oB	21	n	oB	3	2	2	2	3	2
127	oB	6	?	oB	3	1	1	3	1	1
128	oB	20	n	oB	3	1	2	2	1	1
129	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
131	oB	20	m	oB	4	3	1	3	3	1
132	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
133	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NR.	ZAHN-ART	WK OV	WK MD	WL	ZL0	ZL1	ZL2	Einschluss oder Ausschluss	IAF	GRUPPE	Kommentar zum Zahn/Röntgen	Kommentar bei der Aufbereitung	Friktion
134	1	0	0	15	22,6	16,1	16	E	15	4	oB	Kanal recht weit	1
135	1	0	0	16	22,5	16,1	16	A >25	A >25	-	erscheint apikal weit	-	-
136	1	0	0	15	22,7	16,2	-	-	-	2	erscheint apikal weit	-	-
137	3 oder 4	2K	2K	15	24,7	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
138	4	0	0	16,5	24,9	16,1	16	E	10	7	md letzte 1-2mm Krümmung	oB	2-3
139	4	0	0	17	23,7	-	-	A	-	-	dünnere Zahn, apikal erscheint röntgenol. abgeschnitten	oB	-
140	3 oder 4	9	0	16	21,5	16	16	E	10	4	oB	oB	2
141	1	0	0	16,5	22,7	16	-	A >25	>25	-	oB	-	-
142	3 oder 4	0	0	15,5	21,2	16,1	16	E	10	5	2A letzte 1-2mm	Zugang gut, apikal merkt man leichtes Federn	3
143	3 oder 4	0	17	12,5	20,2	16	-	A oblit	-	-	Obliteration?	Obliteration	-
144	4 oder 3	0	0	15,5	22	16	-	A 2K	-	-	ev 2K? verschwommen	2K	-
145	3	0	0	13	20,5	15,9	16	E	10	4	Infraktion koronal	nach 6mm Kanal, GG ohne Fkt wg langem Zugang, schon erweitert	1-2
146	4	7	0	16	20,8	16,1	16	E	10	6	oberes Drittel obliteriert? 2A 1-2mm	nach 5mm Kanal, GG ohne Fkt wg Zugang	3
147	4	15	0	16,5	25,6	16	16	E	15	7	oB	oB	?
148	1	2K	2K	15	22	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
149	1	2K	2K	14,5	21,3	-	-	A 2K	-	-	2K für 2mm	-	-
150	2	0	0	16	24,8	-	-	unvollständ. Apex	-	-	apikale resorption	-	-
151	4	0	0	13,5	20,4	16,2	16	E	10	3	2A 1-2mm+Flig	oB	2
152	4	0	2K	14	22,3	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
153	3	0	0	14	24,3	15,9	16	E -später A REM	15	3	auf Patency achten	nach 5mm Kanal, NaOCl etw. länger eingewirkt, weil Becher neu aufgefüllt	1
154	3	0	12	16	25,2	Feile fakturiert	-	Feile frakturiert	-	-	Karies grenzwertig	Feile frakturiert	-
155	1	0	0	14,5	22,2	16,1	16	A >25	>25	-	2A 1mm	-	-

NR.	Trennen	Trägerzugehörigkeit 1. Hälfte	Trägerzugehörigkeit 2. Hälfte	Kommentar zum Rastern	SA	SD	SH	DA	DD	DH
134	oberste Markierung min. durch, GP passt, mittig fokussieren	12	h	ok, vom Trennen nichts zu sehen	5	3	2	4	2	2
135	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
136	oB	26	o	oB	1	1	1	1	1	1
137	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
138	oB	23	r	schwer zu bewerten aber ok	2	3	2	1	1	1
139	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
140	2. Hä in 2 Teilen	24	s	gut	1	1	1	1	1	1
141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
142	oB	17	k	2 K?-nein! H schwer, Leuchten, unscharf	2	4	1	2	4	1
143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
144	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
145	keine 2. Hä	22	-	oB	3	4	1	2	3	2
146	oB	22	q	oB	2	3	3	3	1	4
147	oB	25	s	oB	1	1	3	1	2	2
148	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
149	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
151	oB	18	j	oB	2	2	2	2	1	1
152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
153	nur 1 Hälfte	18	-	A? OF sehr irregulär	4	4	3	?	?	?
154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
155	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

NR.	ZAHN-ART	WK OV	WK MD	WL	ZL0	ZL1	ZL2	Einschluss oder Ausschluss	IAF	GRUPPE	Kommentar zum Zahn/Röntgen	Kommentar bei der Aufbereitung	Friktion
156	1	WF	WF	16,5	22,1	-	-	A WF	-	-	WF	-	-
157	3 oder 4	15,2	0	15	23,2	15,9	16	E	10	4	2A 1-2mm	oB	2
158	4	0	0	12,5	20,5	16	16	E	10	3	Aussackung	nach 5mm Kanal	2
159	4	0	0	13	20,3	16	16	E	10	4	oB	nach 5-6mm Kanal	2
160	4	0	0	13,3	21,3	16	16	E	10	4	oB	oB	2
161	4	7	18	14,5	21,4	15,9	16	E	10	1	WK auf letzte ca 4mm	NaOCl etwas länger	2-3
162	4	2	0	12,7	19,8	16,2	16	E	10	7	unscharf, weiter Kanal auch apikal	noch sichtbares Gewebe seitlich	2
163	3	2	5	10,1	18,9	16	16	E	15	7	oB	4-5mm Zugang, weites Lumen	0-1
164	3	7	6	13,9	22,4	16,1	16	E	10	4	oB	oB	1
165	3 oder 4	12	0	13,9	22,8	16,2	16,5	E	10	1	leichter Knick aber ok	oB	2-3
166	4	2	0	12,8	20,2	15,8	16	E	10	5	weites Lumen auch apikal, unscharf	Zugang 4-5mm	2
167	4		2K	13	21,8	-	-	A 2K	10	-	2K	-	-
168	4	3	0	12,5	19,8	16,1	16	E	10	6	oB	nach 5mm Kanal	2
169	4	5	0	11,6	18,9	16	16	A	10	-	oB	Instrument fakturiert	-
170	1	-	2K	15,6	22,3	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
171	4	15	12	15,5	22,3	16	16	E	10	1	WK apikale 2mm	nach 4-5mm Kanal, apikale leichtes Federn	2-3
172	3 oder 4	5	2K	14,6	23,1	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
173	3	3	6	13,4	21,5	16,1	16	A>20	25	-	oB	-	-
174	4	4	8	16,3	24,4	15,9	16	E	10	7	gefüllt	oB	2-3
175	4	6	0	13,6	21,8	16,1	16	E	10	1	ev 2K? verschwommen	oB	2-3
176	4	0	12	14,9	22,9	16	16	E	10	4	oB	oB	3
fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
178	4		2K	12,7	19,6	-	-	A Flig	-	-	tiefe Flig	-	-
179	4 oder 3	7	0	11,7	19,2	15,7	15,5 bis 16	A 2K	10	7	recht weites Lumen, 2K	2 Kanäle?	2
180	1	0	0	13	19,9	16,1	16	E	10	4	oB	oB	1
181	4	0	2K	11,5	15,7	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
182	1	0	0	16,9	23,5	16,2	16	E	10	6	kleines S ov	oB	2
183	2	0	8	18,5	27,6	15,9	16	E	10	1	kleines S ov, Flig suff	oB	2

NR.	Trennen	Trägerzugehörigkeit 1. Hälfte	Trägerzugehörigkeit 2. Hälfte	Kommentar zum Rastern	SA	SD	SH	DA	DD	DH
156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
157	oB	18	k	Korrelation S und D?, unklare Struktur	2	2	2	3	4	3
158	oB	19	i	gut!	1	1	1	1	1	1
159	2.Hä nicht komplett	17	i	oB	3	2	2	1	1	1
160	oB	29	v	OF besonders	4	3	1	1	1	1
161	oB	28	p	oB	4	3	2	1	1	1
162	Pulpenreste sichtbar	28	r	oB	3	3	1	1	1	1
163	keine 2. Hä	29	-	OF besonders	2	2	1	3	2	1
164	oB	31	w	gut	3	3	1	1	1	1
165	nur eine Hä in 2 Teilen!	29	-	schwer zu beurteilen	4	5	4	2	4	1
166	Pulpenreste	29	s	oB	3	3	2	1	1	1
167	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
168	oB	28	q	oB	4	3	2	1	2	1
169	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
171	keine 2. Hä	28	-	oB	4	4	4	4	3	3
172	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
173	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
174	oB	29	u	gut	3	3	3	1	2	2
175	GP angefräst aber ok, passt perfekt! mittig fokussieren	30	u	gut, seitlich könnte GP sein aber ok	4	4	2	3	3	3
176	oB	30	u	gut	4	4	2	4	4	2
fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
178	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
179	2 Kanäle	31	v	-	-	-	-	-	-	-
180	oB	30	v	gut	2	2	1	1	1	1
181	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
182	oB	32	x	oB	3	3	2	2	2	2
183	oB	31	x	oB	3	4	2	2	1	2

NR.	ZAHN-ART	WK OV	WK MD	WL	ZL0	ZL1	ZL2	Einschluss oder Ausschluss	IAF	GRUPPE	Kommentar zum Zahn/Röntgen	Kommentar bei der Aufbereitung	Friktion
184	2	2K	2K	17,3	28,4	-	-	A 2K	-	-	-	-	-
185	4?	3	2K?	?	21,1	-	-	A 2K	-	-	-	-	-
186	4?	0	2K	?	20,4	-	-	A 2K	-	-	-	-	-
187	1	0	2K	16,7	23,6	-	-	A 2K	-	-	-	-	-
188	2	2K	2K	18,5	27	-	-	A 2K	-	-	-	-	-
189	2	-	2K	16,1	23,5	-	-	A 2K	-	-	-	-	-
190	-	Karies	0	20,4	28,7	-	-	A Karies	-	-	Karies C4	-	-
191	1	0	7	18	23,6	16,2	16	E	10	4	oB	oB	2
192	3 oder 4	0	0	13,3	21,1	15,9	16	E	15	1	oB	nach 4-5mm Kanal, weiter Kanal, Spig früh tief	1-2
193	3	0	0	13,9	21,1	15,8	16	E	10	4	oB	weiter Kanal, Spig früh tief möglich	0-1
194	4	0	2K?	18	25,3	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
195	3	0	0	15,1	23,7	15,9	16	E	10	4	oB	oB	2
196	1	-	2K	14,9	22	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
197	4	16	0	14,8	23,8	-	16	A Karies	-	-	Karies/Obliteration	-	-
198	1	10	14	14,7	21,6	16,2	16	E	15	5	ovales Lumen	oB	1-2
199	3	0	0	14,7	23,5	16	16	E	15	7	S	oB	2
200	1	5	0	16,3	22,7	16,1	16	E	15	7	ovales Lumen	oB	1-2
201	1	4	0	15,1	21,2	16	16	E	15	6	oB	oB	1-2
202	4	-	2K	12,5	19,2	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
203	3?	-	6	14,8	22,3	-	-	A Flig	-	-	Obliteration und große Flig	-	-
204	3?	0	0	14,8	23,8	15,7	15,5 bis 16	E	20	5	oB	schwingt etwas	2
205	3?	12	7	15,8	24,3	16,1	16	E	15	6	oB	oB	?
206	?	-	2K	15,8	24	-	-	A 2K	-	-	2K	-	-
207	4	0	0	15,8	22,7	15,7	15,5	E	10	5	oB	schmal viel Friktion	3
208	4	5	0	14,4	21,1	-	-	noch nicht aufb.	-	-	-	-	-
209	1	12	0	16,9	24,4	-	-	E	-	2	oB	Keine	-
210	3	0	0	15,7	25,4	-	-	E	-	2	oB	Keine	-

NR.	Trennen	Trägerzugehörigkeit 1. Hälfte	Trägerzugehörigkeit 2. Hälfte	Kommentar zum Rastern	SA	SD	SH	DA	DD	DH
184	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
186	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
187	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
188	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
189	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
191	oB	32	x	oB	4	2	1	2	1	1
192	oB	31	x	oB	4	2	1	2	1	1
193	oB	32	w	oB	4	4	2	2	2	1
194	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
195	oB	33	w	oB	4	2	2	4	1	1
196	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
197	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
198	oB	32	w	A nur knapp, keine DT dort	4	3	1	3	2	1
199	D leicht perforiert, H ok, GP passt	33	x	oB	5	4	3	5	1	2
200	oB	32	w	-	4	2	3	4	2	2
201	nur eine Hälfte	33	-	oB	4	3	1	2	1	2
202	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
203	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
204	oB	33	z	oB	3	1	1	1	1	1
205	oB	y	- ?	noch nicht gerastert	-	-	-	-	-	-
206	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
207	keine 2.Hä	y	-	noch nicht gerastert	-	-	-	-	-	-
208	-	-	-	noch nicht aufbereitet	-	-	-	-	-	-
209	oB	35	y	OF irregulär, 2, 2 Varianten (erste nehmen; 2. keine Kanallumen A1,D1,H1)	1	1	1	1	1	1
210	oB	34	y	OF irregulär, 2, wenig Kanaloberfläche, A kein Kanal zu sehen, 18.6.18	1	1	1	1	1	1

NR.	ZAHN-ART	WK OV	WK MD	WL	ZL0	ZL1	ZL2	Einschluss oder Ausschluss	IAF	GRUPPE	Kommentar zum Zahn/Röntgen	Kommentar bei der Aufbereitung	Fraktion
211	4	0	0	14,5	20,9	-	-	E	-	2	oB	Keine	-
212	2	0	0	20,9	29,9	16,1	16	E	10	5	oB	schwingt etwas	2
213	2	0	14	23	31,9	-	-	-	-	2	oB	Keine	-
214	3	10	5	15,2	23,4	-	-	A Karies	-	2	-	-	-
215	4	0	13	15,7	23,5	16	16	E	10	5	leichtes S	schwingt kaum, Wärme	2-3
216	1	-	2K	17,7	26,4	-	-	-	-	-	2K	-	-
217	1	0	13	18	25,9	-	-	E	-	2	oB	Keine	-
218	1	0	0	14	20	-	-	E	-	2	oB	Keine	-
219	4	0	9	13,3	19,6			noch nicht aufb.			Obliteration?		
220	3	5	4	15,6	23,8			noch nicht aufb.			oB		
221	4	9	11	13	19			noch nicht aufb.			oB		
222	?	-	-	A	-	-	-	A	-	-	-	-	-
223	2	11	0	22	29,1			noch nicht aufb.			oB		
224	4	0	0	13	21			noch nicht aufb.			oB		
225	3	0	8	14,3	23,9			noch nicht aufb.			oB		

NR.	Trennen	Trägerzugehörigkeit 1. Hälfte	Trägerzugehörigkeit 2. Hälfte	Kommentar zum Rastern	SA	SD	SH	DA	DD	DH
211	oB	34	y	OF irregulär, 2, wenig Kanaloberfläche, A kein Kanal zu sehen Bilder vom 18.6	1	1	1	1	1	1
212	oB	34	z	18.6.	3	3	1	1	1	1
213	oB	z	-	noch nicht gerastert						
214	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
215	oB	33	z	oB	2	2	1	1	1	1
216	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
217	oB	34	z	OF irregulär, 2, wenig Kanaloberfläche, A kein Kanal zu sehen, 18.6	1	1	1	1	1	1
218	oB	35	35	2 Hälften auf einer Platte, nur eine gerastert, OF	1	1	1	1	1	1
219				noch nicht aufbereitet						
220				noch nicht aufbereitet						
221				noch nicht aufbereitet						
222	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
223				noch nicht aufbereitet						
224				noch nicht aufbereitet						
225				noch nicht aufbereitet						

## 10.2 Materialliste

Mat.	Handelsname	Hersteller	Firmensitz
1	Thymollösung 0,1%	Apotheke	Düsseldorf
2	Airscaler , Sonicflex 2003L	KaVo Dental	Biberach
3	Handscaler S204S	Hu-Friedy	Chicago, Illinois
4	OP-Mikroskop, OPMI111-S21	Zeiss	Oberkochen
5	Sidexis XG	Sirona	Salzburg
6	Elektronische Schieblehre, Precise PS 7215, 0,01 mm Einteilung	Burg-Wächter KG	Wetter
7	Microsoft Excel 2010	Microsoft	Washington
8	Diamantierte Scheibe	unbekannt	unbekannt
9	Handstück, INTRAmatic 10 CN	KaVo Dental	Biberach
10	Rotes Winkelstück, S-Max M95L	NSK	Shinagawa, Tokio
11	Diamantierte Walze	Komet, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG	Lemgo
12	Grünes Winkelstück, GENTLEpower LUX 7LP	KaVo Dental	Biberach
13	Gates Glidden Bohrer	VDW GmbH	München
14	Stahlfeilen C-Pilot	VDW GmbH	München
15	Heißklebepistole	Henkel	Düsseldorf
16	Aufbereitungsmotor, Endo IT professional	VDW GmbH	München
17	Handstück WD-66M 4:1	W&H	Salzburg
18	Maschinelle Feilen FlexMaster® und Mtwo®	VDW GmbH	München
19	NaOCl 3%	Aug. Hedinger GmbH & Co. KG	Stuttgart

<b>20</b>	Spülkanüle NaviTip®	Ultradent	Brunnthal
<b>21</b>	EDTA 17%, Calcinase	Lege Artis Pharma GmbH + Co. KG	Dettenhausen
<b>22</b>	Schallaktivierungsspitze, EDDY®	VDW GmbH	München
<b>23</b>	Manometer	KaVo Dental	Biberach
<b>24</b>	EndoActivator®	DENTSPLY	York
<b>25</b>	Ultraschalleinheit, VDW.Ultra®	VDW GmbH	München
<b>26</b>	Ultraschallaktivierungsspitzen, Irrisafe™	Acteon Group	Bordeaux
<b>27</b>	Destilliertes Wasser, Ampuwa®	Fresenius Kabi	Bad Homburg
<b>28</b>	Absorbent Paper Points M <sub>two</sub> ®	VDW GmbH	München
<b>29</b>	M <sub>two</sub> ® Guttapercha	VDW GmbH	München
<b>30</b>	Kronenabhebezangen	Carl Martin	Solingen
<b>31a</b>	Desiccator Shield	Bel-Art Industries	New York
<b>31b</b>	Laboport Membranpumpe	KNF Neuberger GmbH	Freiburg
<b>32</b>	HITACHI Probenhalter mit M4 Gewinde, 25mm	Plano GmbH	Wetzlar
<b>33</b>	Plano Leit-Tabs, 25mm	Plano GmbH	Wetzlar
<b>34</b>	Sputter Coater 108auto	Cressington	Watford, UK
<b>35</b>	SEM S-3000N	HITACHI	Chiyoda, Japan
<b>36</b>	IBM SPSS Statistics 25	IBM	New York

# Danksagung

An erster Stelle möchte ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. W. H.-M. Raab für die hervorragende wissenschaftliche Betreuung, die aufgebrauchte Zeit und Mühe und die gleichzeitige Gewährung von Freiräumen danken. So war die Entwicklung des Dissertationsthemas zusammen mit Fr. Dr. Kowollik möglich, der ebenfalls mein außerordentlicher Dank gilt. Ihre Motivation, Anregungen und Ideen haben maßgeblich zu dieser Arbeit beigetragen. Eine bessere fachliche und menschliche Unterstützung hätte ich mir nicht wünschen können.

Vielen, lieben Dank!

Für meine gleichzeitige oralchirurgische Ausbildung und Unterstützung in der Promotion sei Herrn Prof. Dr. Jürgen Becker und Herrn Dr. John gedankt.

Außerdem möchte ich Frau Liakakou und allen weiteren Mitarbeiter der Poliklinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Endodontologie danken, die mir im wahrsten Sinne des Wortes das ein oder andere Mal die Türen geöffnet haben und die Organisation erleichterten.

Mein herzlichster Dank gilt meinen Eltern, meinem Bruder, meinem besten Freund und Partner Christian und meinen Freunden, die mich auch neben meinem beruflichen Interesse begleiten und mir immer zur Seite stehen. Die unermüdliche und liebevolle Unterstützung meiner Eltern sei besonders hervorgehoben.

- Danke -