

**Penetrationstiefe einer Natriumhypochlorid-Lösung im Rahmen der  
Wurzelkanalspülung  
– eine in-vitro Studie –**

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

**vorgelegt von Anja Christine Schrader  
aus Bonn**

**2007**

Angefertigt mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. M. Frentzen
2. Gutachter: Prof. H. Stark

Tag der Mündlichen Prüfung: 24.04.2007

Aus der Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde  
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn  
Direktor: Prof. Dr. Dr. S. Jepsen

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn  
<http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss-online> elektronisch publiziert.

**Meiner Familie**



## INHALTSVERZEICHNIS

	<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>5</b>
	<b>Abkürzungen</b>	<b>8</b>
<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>10</b>
1.1	Einführung	10
1.2.	Die Wurzelkanaldesinfektion und –reinigung im Rahmen der systematischen Wurzelkanalbehandlung	12
1.2.1.	Die Behandlung der erkrankten Pulpa	12
1.2.2.	Die Systematik der Wurzelkanalbehandlung	14
1.2.3.	Aufgaben der Wurzelkanalreinigung	18
1.2.4.	Methoden der Wurzelkanalreinigung	20
1.2.4.1.1.	Physikalisch-mechanische Methoden	22
1.2.4.1.2.	Desinfizierende Methoden	25
1.2.4.1.3.	Chemische Methoden	29
1.2.4.1.3.1.	Natriumhypochlorid	29
1.2.4.1.3.2.	Wasserstoffperoxid in Kombination mit Natriumhypochlorid	32
1.2.4.1.3.3.	EDTA	34
1.2.4.1.4.	Thermische Methoden	36
1.2.4.1.5.	Kombinationen	39
1.3.	Wissenschaftliche Methoden zur Überprüfung der Wurzelkanaldesinfektion und -reinigung	39
1.3.1.	Bestimmung der Eindringtiefe der Spüllösung in den Wurzelkanal	39
1.3.1.1.	Lichtmikroskopische Auswertung	40
1.3.1.2.	Mikrobiologische Untersuchung	41
1.3.1.3.	Einsatz radioaktiv markierten Materials	41
1.3.1.4.	Andere Methoden zur Bestimmung der Eindringtiefe in das Dentin	42
1.3.2.	Beurteilung der apikale Extrusion	42
1.3.2.1.	Volumenmessung	42
1.3.2.2.	Gewicht	43

1.3.2.3.	Andere Methoden zur Beurteilung der apikalen Extrusion	43
1.4.	Schlussbetrachtung	43
1.5.	Fragestellung	44
<b>2.</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>45</b>
2.1	Versuchssystematik	45
2.2.	Verwendete Spülsysteme	46
2.2.1.	Der Piezon-master 400 <sup>®</sup> zur Wurzelkanaldesinfektion und –reinigung	46
2.2.2.	Die statische Lösung zur Wurzelkanaldesinfektion	48
2.2.3.	Die dynamische Wurzelkanalspülung	48
2.3.	Auswahl des Untersuchungsmaterials	49
2.4.	Farbstoffpenetrationstest	49
2.5.	Versuchsandordnung	51
2.5.1.	Vorbereitung des Untersuchungsmaterials	51
2.5.2.	In-vitro-Versuchsdurchführung	54
2.5.2.1.	Der Piezon Master 400 <sup>®</sup>	54
2.5.2.2.	Vergleichsgruppengruppen:	55
2.5.2.2.1.	Die statische Spülung	55
2.5.2.2.2.	Manuell-dynamische Spülung	56
2.6.	Makroskopische Dokumentation	56
2.7.	Weiterverarbeitung zur mikroskopischen Dokumentation	56
2.8 .	Mikroskopische Dokumentation	57
2.9.	Auswertung	57
2.9.1.	Apikale Extrusion	57
2.9.1.1.	„Ja/Nein“-Entscheidung	57
2.9.1.2.	Rangfolge	58
2.9.2.	Eindringtiefe in das Dentin	58
2.9.3.	Erfassung klinischer Aspekte	59
2.9.4.	Statistische Auswertung der Ergebnisse	59

<b>3.</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>61</b>
3.1.	Makroskopische Ergebnisse	61
3.1.1.	Apikale Extrusion	61
3.1.2.	Rangfolge	63
3.2.	Mikroskopische Ergebnisse	66
3.2.1.	Eindringtiefe auf verschiedenen Schnittebenen	66
3.2.2.	Durchschnittliche Eindringtiefen	77
3.2.3.	Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke	78
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>88</b>
<b>5.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>94</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>95</b>
<b>7.</b>	<b>ANHANG</b>	<b>115</b>
7.1.	Herstellerverzeichnis	115
7.2.	Tabellen und Diagramme	116
7.2.1.	Ergebnistabelle	116
7.2.2.	Statistische Tests	137
7.2.2.1.	Statistik für die Orientierung der Messrichtung	137
7.2.2.2.	Statistik für die apikale Extrusion	138
7.2.2.3.	Statistik für die apikale Anfärbung	139
7.2.2.4.	Statistik für den Gruppenvergleich der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen	140
7.2.2.5.	Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen	141
7.2.2.6.	Statistik für die durchschnittlichen Eindringtiefen	142
7.2.2.7.	Gruppenvergleich aller Werte auf allen Ebenen	142
7.2.2.8.	Gruppenvergleich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke	143
7.2.2.9.	Vergleich der Schnittebenen bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke	145
7.3.	Danksagung	148
7.4.	Lebenslauf	149

## Abkürzungen

AAT	angestrebte Aufbereitungstiefe
Abb.	Abbildung
Aqua dest.	aqua destillatum
ca.	Circa
Ca(OH) <sub>2</sub>	Calziumhydroxid
CFU	Colony forming unit
CHX	Chlorhexidin
cm	Zentimeter
Diag.	Diagramm
E.	Enterococcus
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
Et al.	Et alii
Fa.	Firma
g	Gramm
Gew.‰	Gewichtpromille
HCOI	Wasserstoffhypochlorit
HIV	human immunodeficiency virus
Hz	Hertz
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Wasserstoffperoxid
ISO	International Organasation for Standardization
k.A.	keine Angabe
Kp	Kilo Paskal
kV	Kilo Volt
m	Meter
mAS	Milliamperesekunde
mg	Milligramm
ml	Milliliter
mm	Millimeter
µm	Mikrometer
NaOCI	Natriumhypochlorid
Nr.	Nummer
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
OCl	Hypochlorit
OH-Ionen	Hydroxylionen
OK	Oberkiefer
PM	Prämolar
Ppm	Parts per million
REM	Rasterelektronenmikroskop
s	Sekunde
s.	siehe

Tab.  
UV-Licht  
WK

Tabelle  
Ultraviolettes Licht  
Wurzelkanalaufbereitung

## **1. Einleitung**

### **1.1. Einführung**

Im Laufe der Zeit hat sich die Endodontie zu einem wissenschaftlich fundierten Spezialgebiet entwickelt. Endodontologie ist das Fachgebiet, das sich mit der Morphologie, Physiologie und Pathologie des Pulpa-Dentin-Komplexes sowie den damit assoziierten klinischen Maßnahmen in Diagnostik, Prävention und Therapie befasst. Insbesondere neue Erkenntnisse zur Mikrobiologie des infizierten Endodontes bzw. apikalen Parodontes, aber auch der Fortschritt zahlreicher technischer Hilfsmittel, waren Grundlage zur Entwicklung einer gezielten, aseptischen Behandlungsstrategie. Zu den modernen Entwicklungen gehören digitales Röntgen, Operationsmikroskope, Laserbehandlungen, genauso wie Verbesserungen an Aufbereitungssystemen, Versiegelungstechniken und die Entwicklung verschiedener Desinfektionsverfahren. Alle diese Bestrebungen versuchen dem eigentlichen Ziel der Wurzelkanalbehandlung, der effizienten Reinigung und dem permanenten Verschluss des Wurzelkanalsystems näher zu kommen.

Es gibt verschiedene Gründe für die Notwendigkeit einer Wurzelkanalbehandlung. Schon Strindberg (1956) hielt fest, dass, was immer der auslösende Faktor gewesen sein mag, das langfristige Ziel einer endodontischen Therapie der Erhalt des Zahnes bzw. dessen Wurzel und die Elimination der Infektionsquelle bleibt. Es ist bereits seit langem bekannt, dass eine mikrobielle Infektion die Ursache für viele endodontisch therapierbaren Pathologien ist. Reeves und Stanely (1966) beobachteten, dass der Entzündungsgrad einer Pulpitis abhängig von der Penetrationstiefe der Bakterien in der Karies ist. Die orale Mundflora mit ihren mehreren hundert verschiedenen Bakterienarten ist die Infektionsquelle für endodontische Entzündungen. Ist die Pulpa nekrotisiert, z.B. durch Gefäß-Nerven-Strang-Durchtrennung nach einem Trauma oder durch entzündungsbedingte Gewebeauflösung bei einer Pulpitis, finden bestimmte Mikroorganismen eine ökologische Nische im Wurzelkanalsystem und in den Dentintubuli, wo sie sich, vor der Immunabwehr geschützt, vermehren können. Geht die Parodontitis bei nekrotisierten Zähnen von einer Infektion des Endodontes aus, so ist nicht nur das Kanallumen mit Bakterien infiziert, sondern auch in den Dentinkanälchen befinden sich Bakterien, die bis zur Dentin-Zement-Grenze reichen können (Peters et

al., 2001). Um oben genanntes Ziel zu erreichen, sind zwei Punkte von entscheidender Bedeutung; die maximale Reduktion der Keimzahl im Wurzelkanal und das Verhindern einer mikrobiellen Wiedervermehrung im Parodont. Für die Klinik bedeutet dies, dass nur ein optimales antiseptisches Behandlungskonzept mit maximaler Reduktion der Debris, ein anschließend dichter Verschluss des Wurzelkanalsystems durch eine Wurzelfüllung und eine koronale Rekonstruktion den Therapieerfolg ermöglichen. Ein solches Konzept wurde bereits von Walker 1936 entwickelt, indem er auf die Notwendigkeit von desinfizierenden Spülungen und das Anlegen eines Kofferdams während einer Wurzelkanalbehandlung hinwies.

Seitdem gab es entscheidende Fortschritte, hinsichtlich des Einsatzes von Spülflüssigkeiten, aber leider sind immer wieder auch nicht mehr vertretbare bzw. veraltete Konzepte in der Praxis zu finden. Barbakov et al. fanden 1995 in der Schweiz noch Zahnärzte, die Wurzelkanäle mit formalinhaltigen Präparaten spülten, obwohl diese als toxisch und sogar als kanzerogen gelten.

Studien belegen, dass Bakterien und Giftstoffe nicht nur im Lumen des Kanals existieren, sondern in unterschiedlichem Ausmaß auch in das perikanaläre Dentin penetrieren. Horiba (1991) stellte fest, dass bei stark infizierten Zähnen Bakterien und Endotoxine bis in eine Tiefe von 300 µm im Dentin nachweisbar sind, so dass es durchaus möglich ist, den weit überwiegenden Teil der Mikroorganismen im Rahmen der Aufbereitung aus dem Wurzelkanalsystem zu entfernen. Dies gilt insbesondere, wenn die mechanische Aufbereitung durch häufige Spülungen unterstützt wird.

Die Desinfektion während einer Wurzelkanalbehandlung kann mechanisch, physikalisch oder chemisch erfolgen. Die konventionelle Methode ist die einfache Handspülung über eine Einmalspritze und eine Kanüle, die drucklos im Kanal platziert wird. Hierfür können sämtliche desinfizierende Spülungen eingesetzt werden.

Eine andere einfache Methode beschränkt sich auf die reine Desinfektion. Eine Substanz, wie z.B. Kalziumhydroxid, wird als desinfizierende bzw. medikamentöse Einlage über einen gewissen Zeitraum im Kanal belassen und kann so eine maximale Wirkung erzielen. In letzter Zeit sind neue Desinfektionsarten eines Wurzelkanals hinzugekommen. Es besteht die Möglichkeit über Laser, wie z.B. den Nd:YAG-Laser, eine Reduktion der Mikroorganismen zu erzielen. Des Weiteren wurden Ultraschallsysteme speziell zur Anwendung in der Endodontie entwickelt, bei denen

Spülflüssigkeiten durch Ultraschall erwärmt werden und so eine chemische Reaktion beschleunigt wird. Ein System zur hydrodynamischen Wurzelkanalspülung ist das RinsEndo<sup>®</sup>-System, das auf einem Druck-Saug-Zyklus beruht.

Es gibt in der Literatur viele unterschiedliche Studien zur Effektivität der einzelnen Spülmethoden und der Wirkung der verschiedenen Lösungen. Über die in jüngster Zeit entwickelten Methoden liegen noch nicht sehr viele Veröffentlichungen vor; ein steigendes Interesse ist aber zu erkennen.

Bezüglich der Biokompatibilität der einzelnen Spüllösungen, ist es oftmals von entscheidender Bedeutung, dass die verwendete Flüssigkeit nicht über den Apex hinaus in das periapikale Gewebe appliziert wird. Neueren Studien zufolge riefen sowohl 15%ige und 17%ige EDTA-Lösungen, als auch 2,25%ige NaOCl-Lösungen zytotoxische Reaktionen hervor, während weniger konzentrierte Lösungen gemäßigte Auswirkungen auf das Gewebe hatten. Folgen der Extrusion können neben einer Irritation oder Schädigung des periapikalen Gewebes, eine Nekrose oder neuroimmunologische Reaktionsmechanismen sein.

Je nach Toxizität und Konzentration der Lösung ist ein Überpressen über den Apex hinaus durch ein geeignetes Spülsystem sicher zu vermeiden.

## **1.2. Die Wurzelkanalinfektion und -reinigung im Rahmen der systemischen Wurzelkanalbehandlung**

### **1.2.1. Die Behandlung der erkrankten Pulpa**

Indikationen zur Behandlung einer erkrankten Pulpa können eine irreversibel geschädigte oder erkrankte Pulpa sein, mit oder ohne Beteiligung periradikulärer Gewebe. Des Weiteren kann die Therapie bei einer intentionellen Devitalisation, z.B. bei einem Wurzelstift, ein zweifelhafter Wurzelbestand vor restaurativen Maßnahmen, eine nicht zu verhindernde Pulpaeröffnung während der Präparation, eine geplante Wurzelresektion oder Hemisektion indiziert sein (Hellwig et al., 2003).

Das entscheidende Ziel einer Wurzelkanalbehandlung ist, die Ausbreitung einer irreversibel erkrankten Pulpa in das gesunde periapikale Gewebe zu verhindern, indem vitale und nekrotische Pulpa- und Gewebsreste sowie Mikroorganismen eliminiert

werden. Nur so besteht die Möglichkeit gesunde Strukturen zu erhalten. Als Therapie im Rahmen einer Pulpaerkrankung bieten sich folgende Möglichkeiten an:

1. indirekte Pulpaüberkappung
2. direkte Pulpaüberkappung
3. Vitalamputation
4. „modifizierte Vitalamputation“
5. Mortalamputation
6. Pulpaexstirpation und Wurzelfüllung
  - Vitalexstirpation
  - Mortalexstirpation
7. Kombinierte endodontisch - chirurgische Therapie
  - apikale Kürretage
  - Wurzelspitzenresektion mit ortho - und retrograder Wurzelfüllung
  - Wurzelamputation
  - Hemisektion (Guldener und Langeland, 1993)

Als letzte Therapiemöglichkeit kann auch eine Extraktion des erkrankten Zahnes nicht ausgeschlossen werden.

Bei der indirekten Überkappung ist die Pulpa vital und makroskopisch noch nicht eröffnet, aber bereits die restaurative Versorgung einer Dentinwunde ist als eine endodontische Therapie anzusehen, da die Odontoblastenfortsätze als Ausläufer des Endodonts bis zur Schmelz-Dentin-Grenze reichen (Nolden, 1994). Ziel ist die irreversible Schädigung der Pulpa zu verhindern, indem unter Verwendung von Kalziumhydroxid die Sekundärdentinbildung induziert, so eine Bakteriostase angestrebt und das saure Milieu der Entzündungsbezirke der Pulpa alkalisiert wird (Nolden, 1994). Das Prinzip der Behandlung bei der direkten Überkappung entspricht dem der indirekten Überkappung, jedoch ist die Pulpa hierbei bereits eröffnet. Die Erfolgsaussichten sind deutlich schlechter als bei der indirekten Überkappung.

Unter den verschiedenen Amputationsmöglichkeiten versteht man die teilweise oder vollständige Entfernung von vitalem oder nekrotischem Pulpagewebe. Dies kann auch nach medikamentöser Vorbehandlung, zum Beispiel mit Ledermix, erfolgen.

Indikationen hierfür können Milchzähne oder ein noch offenes Foramen apikale bei Jugendlichen sein.

Therapie der Wahl bei der Behandlung einer irreversibel erkrankten Pulpa ist die vollständige Exstirpation des Markorgans und die anschließende Wurzelfüllung. Hierbei wird das infizierte Gewebe mit Feilen und desinfizierenden Spüllösungen möglichst vollständig aus dem Kanal entfernt und nachfolgend mit einem Wurzelfüllmaterial wie Guttapercha gefüllt um den marktoten Zahn im gesunden Parodont zu erhalten.

Sind diese konservierenden Therapiemöglichkeiten nicht mehr ausreichend, so kann auch auf chirurgischem Weg versucht werden, eine Extraktion des Zahnes zu umgehen. An dieser Stelle wäre eine Wurzelspitzenresektion mit Kürretage des apikalen Parodonts und gleichzeitiger ortho- oder retrograder Wurzelfüllung indiziert (Guldener und Langeland, 1993).

Grundsätzlich ist eine Wurzelkanalbehandlung bei allen Patienten durchzuführen, wobei schwere Grunderkrankungen, wie zum Beispiel das Risiko einer Endokarditiserkrankung, besondere Vorsichtsmaßnahmen erforderlich machen. Auch eine allgemeine Beurteilung des oralen Befundes und die generelle Erhaltungswürdigkeit eines Zahnes sollten berücksichtigt werden, da z.B. in einem parodontal insuffizienten Gebiss mit schlechter Mundhygiene keine Wurzelkanalbehandlung sinnvoll sein dürfte (Guldener und Langeland, 1993).

### **1.2.2. Die Systematik der Wurzelkanalbehandlung**

Nachdem eine ausführliche Anamnese und Diagnose erstellt wurde, erfolgt die Behandlung des pulpavitalen Zahn in der Regel in Lokalanästhesie. Die Durchführung einer endodontischen Behandlung sollte unter aseptischen Bedingungen geschehen, da jegliches Vorgehen am makroskopisch freigelegten Parodont als chirurgischer Eingriff gewertet werden muss (Nolden, 1994). Aus diesem Grund muss nach heutigem Wissensstand ein zu therapierender Zahn unter Kofferdam isoliert werden. Nur so ist ein trockenes und desinfizierbares Arbeitsfeld gesichert (Guldner und Langeland, 1993). Das klinische Vorgehen gliedert sich in folgende Behandlungsschritte:

1. Trepanation
2. Pulpaexstirpation
3. Längenbestimmung
4. Wurzelkanalaufbereitung
5. Wurzelkanalfüllung
6. Recall
7. Restaurative Versorgung

Unter Trepanation des Zahnes versteht man die vollständige Entfernung von Zahnhartgewebe zur Darstellung des Pulpakavums. Die Zugangskavität sollte so präpariert werden, dass die Instrumente spannungsfrei und sicher eingesetzt werden können. Um die gesamte Kronenpulpa entfernen zu können und um einen ausreichenden Zugang zu den Eingängen der Wurzelkanäle am Boden der Pulpakammer zu finden, ist es notwendig das Dach des Pulpakavums in toto zu entfernen (Nolden, 1994).

Nachdem die Kronenpulpa entfernt wurde, schließt sich eine Erweiterung der Kanäleingänge mit Gates- oder Peeso-Bohrern an (Nolden, 1994). Für die Entfernung der Wurzelpulpa werden Exstirpationsnadeln verwendet; sollten die Kanäle sehr eng und gekrümmt sein, erfolgt die Entfernung des Gewebes im Verlauf der Aufbereitung (Guldener und Langeland, 1993). Bevor mit der Aufbereitung begonnen werden kann, muss die Arbeitslänge bestimmt werden. Die Röntgenmeßmethode ist hierfür die verlässlichste, als zusätzliches Hilfsmittel kann auch die Endometrie eingesetzt werden. Um das Ergebnis metrisch zu erfassen und auf die einzelnen Arbeitsschritte übertragen zu können, ist zusätzlich ein koronaler Referenzpunkt notwendig, der im Laufe der Behandlung nicht mehr geändert werden darf.

Für die sog. „Aufbereitung“ des Kanals wurden verschiedene Endodontiekonzepte und moderne Instrumente zur manuellen und maschinellen Präparation entwickelt, um möglichst jedes Wurzelkanalsystem individuell zu behandeln. Als grundsätzliche Anforderungen können folgende Ziele der Aufbereitung definiert werden:

- Entfernung des restlichen Weichgewebes
- Entfernung infizierten Dentins
- Erweiterung des Kanals unter Beibehaltung des ursprünglichen

Kanalverlaufes, sowie die konische Gestaltung der Kavität zur Aufnahme einer Wurzelfüllung

- Beibehaltung der apikalen Konstriktion bzw. zu dem in ihrer Nähe angelegten apikalen Stopp, um mit einer hermetischen Versiegelung eine Infektion bzw. Reinfektion desselben zu verhindern

Bis vor einigen Jahren war die Aufbereitung mit Handinstrumenten der maschinellen überlegen, da diese aufwendig, störanfällig und mit einer hohen Bruchgefahr der Instrumente verbunden war (Guldener und Langeland, 1993). Mittlerweile liegen Studien mit guten Ergebnissen vor, insbesondere durch die Weiterentwicklung von NiTi- (Nitinol)-Instrumenten und Drehzahl-/Drehmomentbegrenzte Arbeitsmotoren (Bahcall und Barss, 2000). Der Einsatz von Ultraschallgeräten konnte sich als alleiniges Aufbereitungssystem in der Praxis bis heute nicht durchsetzen. Die Anwendung von Lasern in diesem Zusammenhang ist wissenschaftlich noch umstritten. Schließlich bleibt es der Erfahrung eines jeden Behandlers überlassen, für welches System er sich entscheidet (Schäfer, 2000). Unabhängig von der angewendeten Technik bleibt das Einhalten der Arbeitslänge von zentraler Bedeutung. Als optimale Grenze für die Aufbereitung und die darauf folgende Füllung gilt die natürliche Konstriktion am Foramen physiologicum. Da hier die Kontaktfläche naturgemäß am kleinsten ist, reduziert sie die Gefahr der Irritation von periapikalem Mischgewebe durch die Instrumentierung und Wurzelfüllmaterialien (Guldener und Langeland, 1993; Nolden, 1994). In Abhängigkeit der Wurzelkanalfüllung ist, je nach verwendetem System, auch eine definierte Form der Aufbereitung notwendig. Alle verschiedenen Instrumente zur manuellen Aufbereitung unterliegen einer internationalen Norm, der ISO-Norm 3630. Hier werden Maße und Toleranzen genau festgelegt. Dementsprechend ist das Arbeitsteil einer Feile 16 mm lang und der Durchmesser nimmt von der Spitze des Instrumentes bis zum Ende des Arbeitsteils um 0,3 mm +/- 0,02 mm zu. Die verschiedenen Instrumentenstärken werden durch Farbcodierungen erkenntlich gemacht. Bei der eigentlichen Durchführung der Wurzelkanalaufbereitung mit den entsprechenden Instrumenten wird, nachdem die Arbeitslänge ermittelt wurde, die festgelegte Strecke zwischen apikalem und koronalem Referenzpunkt an den Instrumenten abgegriffen und mittels sog. „Stops“ markiert. Ihrer jeweiligen

Anwendungsweise entsprechend, werden die Instrumente beginnend mit der ISO Größe 15 in den Kanal eingebracht, bis der apikale Bereich um mindestens drei ISO-Größen gegenüber seinem ursprünglichen Durchmesser erweitert wurde („step-down-Technik“) (Guldener und Langeland, 1993; Nolden, 1994). Hierdurch entsteht am Foramen physiologicum eine Stufe. Bis zur vollständigen Reinigung des Kanals, werden die nachfolgenden Instrumente jeweils ca. 0,5 - 1 mm kürzer in den Kanal eingebracht, da nur so der konischen Form des Wurzelkanals und der zunehmenden Steifigkeit der Instrumente Rechnung getragen werden kann. Nach jedem Einsatz eines Instrumentes der folgenden ISO-Größe muss die ursprüngliche Feile („Masterfeile“) erneut angewendet werden, um den apikalen Bereich insbesondere von Dentinspänen zu reinigen. Gleichzeitig wird die apikal entstandene Stufe gerundet und der koronale Anteil konisch stärker erweitert („step-back-Technik“) (Nolden, 1994). Im besten Fall entsteht genau am Foramen physiologicum eine artifizielle Hartschubstanzbarriere aus Dentinspänen (George et al., 1987).

Um eine ausreichende Desinfektion während der Wurzelkanalaufbereitung zu gewährleisten, muss zwischen jedem Instrumentenwechsel ausreichend gespült werden. Zusätzlich können diese Spülungen der Entfernung von gelöstem Gewebe, der Zerstörung von Mikroorganismen, gegebenenfalls der Entfernung des sog. „smear layer“ und bei einigen Instrumenten auch der Steigerung der Effizienz dienen (Ford, 1991; Guldener und Langeland, 1993; Miserendino, 1992; Nolden, 1994). Nur wenige von den zahlreich angebotenen Spüllösungen konnten sich in der Endodontie durchsetzen. Häufig verwendete Aufbereitungshilfen sind Natriumhypochlorid ( $\text{NaOCl}$ ), Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) und Kalziumhydroxidlösungen ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Diese können alleine, in Kombination sowie als Wechselfüllung eingesetzt werden. In jüngerer Zeit wurden Chlorhexidin- und Kalziumhydroxidpräparate und auch deren Kombination hinsichtlich ihrer Wirksamkeit in der Endodontie getestet, indem ihre desinfizierende Wirkung an *Enterococcus faecalis* infizierten Zähnen beobachtet wurde. Eine weitere mögliche Spülung kann durch Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) als Chelatbildner bei der Aufbereitung enger Kanäle erforderlich sein (Czonstkowsy et al., 1990; Petschelt et al., 1988; Schilder und Amsterdam, 1959).

Sind anschließend folgende Bedingungen durch die biomechanische Aufbereitung erfüllt

- vollständige Aufbereitung
- subjektive Beschwerdefreiheit
- negativer Perkussionsbefund
- Trockenheit des Wurzelkanals

kann die Wurzelkanalfüllung durchgeführt werden. Hierdurch wird das aufbereitete und gereinigte radikuläre Pulpenkavum zum Schutz vor einer koronalen oder apikalen Reinfektion bakteriendicht und permanent versiegelt. Auch hierfür stehen dem Behandler zahlreiche Methoden und Materialien zur Verfügung, wobei sich die laterale und vertikale Kondensation als klassisches Verfahren weitest gehend etabliert hat. Vorteile dieses Verfahrens sind die schnelle Erlernbarkeit, gute Randständigkeit, günstige quantitative Verhältnisse der eingesetzten Materialien (Anteil Guttapercha > Sealer) und das geringe Risiko der Überfüllung (Beer et al., 1986; Guldener und Langeland, 1993). Holcomb et al. (1987) und Guldener und Langeland (1993) konnten allerdings belegen, dass bei zu hoher Druckerwendung (ab 1,5 kp) die Möglichkeit der Vertikalfraktur der Wurzel besteht. Hingegen beschränkten Lertchirakarn et al. (1999) dieses Risiko auf die Anwendung von Handspreadern, ohne es jedoch vollständig auszuschließen. Als nachteilig empfand Gulabivala et al. (1994) auch den vergleichsweise hohen Zeitaufwand. Alles in allem handelt es sich hierbei um eine gute Methode, die trotz genannter Nachteile weit verbreitet ist.

### **1.2.3. Aufgaben der Wurzelkanaldesinfektion**

Generell ist die Desinfektion definiert als gezielte ( selektive ) Keimabtötung mit dem Ziel, eine Übertragung von Infektionen durch unerwünschte Mikroorganismen zu verhindern, bzw. Abtötung, Hemmung oder Entfernung aller pathogenen Mikroben, die eine Infektion bewirken können. Es ist bewiesen, dass Bakterienüberreste der Hauptgrund für nicht gelungene Wurzelkanalbehandlungen sind.

Während einer Wurzelkanalbehandlung kann eine Desinfektion mechanisch, z.B. durch Reibung, physikalisch durch Strahlen (UV-Licht) oder Hitze, sowie durch Desinfektionsmittel durchgeführt werden. Das Wirkungsprinzip beruht auf einer Protein-

bzw. Permeabilitätsschädigung der Zellmembran oder der Blockade von Enzymsystemen.

Wurzelkanalspülungen sind Flüssigkeiten, die bei einer chemo-mechanischen Aufbereitung verwendet werden. Moderne maschinelle Instrumentierungsmethoden haben die Wurzelkanalaufbereitung erleichtert, garantieren jedoch keine erhöhte Keimreduktion im Endodont gegenüber Handinstrumenten (Dalton et al., 1998). Instrumentierung und Spülung mit einer inergen Lösung verringert zwar die Keimzahl in einem infizierten Wurzelkanal massiv, vermag jedoch in komplexen Wurzelkanalsystemen nicht alle Bakterien zu eliminieren. (Byström und Sundqvist, 1981). Aus diesem Grund ist die zusätzliche Anwendung von chemischen Lösungen neben der mechanischen Aufbereitung notwendig, um eine größtmögliche Keimfreiheit zu erlangen. Indem im Kanal verbliebene organische Gewebsreste und die Schmierschicht des Dentins eliminiert werden, wird Mikroorganismen, die die chemo-mechanische Aufbereitung und die Desinfektion überlebt haben, die Substratzufuhr entzogen.

Die hieraus resultierenden Aufgaben einer desinfizierenden Spülung gehören:

- Elimination von Mikroorganismen
- Ausspülen von Gewebstrümmern
- Schmieren von Wurzelkanalinstrumenten
- Auflösen von organischem Gewebe
- Dekontamination von Endotoxinen

Dahlen & Bergenholtz (1980) erkannten in ihrer Studie, dass Endotoxine, z.B. Lipopolysaccharide der äußeren Membran gramnegativer Bakterien, in allen nekrotisch infizierten Zähnen gefunden werden. Dwyer und Torabinejad (1980) zeigten, dass Endotoxine auch ohne Präsenz von noch lebenden Bakterien periapikale Läsionen auslösen oder eventuell sogar unterhalten können. Es ist bekannt, dass sie Auslöser von entzündlichen Reaktionen sein können und sogar zur Lyse von periapikalem Knochen führen können. Daher ist ein wichtiger Bestandteil jeder Wurzelkanalbehandlung die Dekontamination von Endotoxinen durch endodontische Medikamente oder Spüllösungen.

Das Problem einer Desinfektion des Wurzelkanalsystems besteht in der Präsenz vitaler Gewebe in unmittelbarer Nachbarschaft des Desinfektionsortes. Idealerweise wäre hierfür ein Desinfektionsverfahren erforderlich, das pathogene Keime abtötet, Wirtszellen jedoch nicht beschädigt. Stoffe, die besonders bakterizid und/oder gewebeauflösend sind, sind oft auch sehr toxisch für den Organismus (Spagberg et al., 1973). Die Nebenwirkungen einer Spülung müssen so gering wie möglich gehalten werden. Nur mit einer geeigneten Spülung ist sicherzustellen, dass auch Gewebereste, Detritus und Bakterien aus mit Handinstrumenten unzugänglichen Bereichen, wie Dentinkanälchen und Seitenkanälen beseitigt werden. Eine Spülung sollte folgende Eigenschaften aufweisen:

- geringe Toxizität
- bakterizide Wirkung
- Auflösung von vitalem und nekrotischem Pulpagewebe
- niedrige Oberflächenspannung
- Schmiereffekt

#### **1.2.4. Methoden der Wurzelkanal desinfektion**

Das Ziel der Behandlung einer apikalen Parodontitis oder deren Prävention ist die Elimination von Mikroorganismen aus dem Wurzelkanalsystem. Es gibt verschiedene Methoden der Wurzelkanal desinfektion, die sich entweder durch ihre Art der Anwendung (physikalisch-chemische Methode) oder aber durch ihre chemische Zusammensetzung (NaOCl, lokale Antibiotika) unterscheiden lassen. In den letzten Jahren sind noch andere Verfahren hinzugekommen, wie z.B. die thermische Desinfektion mit Laser.

Die Methoden werden oftmals auch in Kombination untereinander angewendet, um jegliche Vorteile der einzelnen Substanzen und Verfahren zu nutzen. Neben ihrer antimikrobiellen Wirkung dienen Spüllösungen während einer Aufbereitung dem Abtransport von Dentinspänen und als Gleitmittel für die verwendeten Instrumente. Um eine apikale Parodontitis erfolgreich zu therapieren, ist es von entscheidender Bedeutung, dass nicht nur der Hauptkanal von Bakterien befreit wird, sondern dass die Infektion auch in den Neben- und Dentinkanälchen eliminiert wird. Berkiten et al. (2000)

konnten in einer in vitro Studie zeigen, dass nach Infektion, *Streptococcus sanguis* innerhalb von 20 Tagen in einer Tiefe von 380 µm zu finden war. Ein Verbleiben von Mikroorganismen in den Dentinkanälchen kann zu einer Reinfektion des Endodonts führen und eine Revision der Wurzelfüllung oder eine Wurzelspitzenresektion erforderlich machen.

Als Spüllösungen kommen Wasserstoffperoxid, Ethylalkohol, Phenylderivate, Halogenverbindungen oder Säuren, wie z.B. Peressigsäure, in Frage. Die meisten dieser Lösungen weisen einen mehr oder weniger großen antimikrobiellen Effekt auf, Natriumhypochlorid (NaOCl) hat sich aber weitestgehend als Spüllösung durchgesetzt. Generell kann man festhalten, dass das Volumen einer Spülung von entscheidender Bedeutung ist und weniger die Konzentration der angewendeten Flüssigkeit (Hülsmann, 2001). Aus diesem Grund wird die Verwendung von 2-5 ml Spüllösung nach jeder verwendeten Feile und eine Schluss-Spülung mit 10-20 ml empfohlen. Auch die Eindringtiefe der Spülnadel ist zu beachten, da eine Flüssigkeit nur wenige Millimeter über die Nadelspitze hinaus reicht (Chow, 1983; Hülsmann, 2001). Dies bedeutet, dass eine optimale Spülwirkung erst bei einer Aufbereitung bis ISO 35-40 und einer Eindringtiefe ins apikale Drittel zu erzielen ist. Eine Klemmwirkung der Nadel im Kanal muss ausgeschlossen werden, da sonst die Gefahr einer apikalen Extrusion besteht (Bradford et al., 2002; Hülsmann, 2001). Da diese Komplikationen während einer Therapie nicht immer ausgeschlossen werden können, muss alles Nötige getan werden, um sie zu vermeiden. Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten, insbesondere das Anlegen eines Kofferdams während der Behandlung ist unumgänglich, um das umliegende Parodont zu schützen. Die Kanüle sollte möglichst nicht im Kanal verkeilt, sondern locker platziert werden, um ein Abfließen der Flüssigkeit nach koronal zu ermöglichen. Es wird empfohlen, konventionelle Injektionsnadeln mit einem möglichst dünnen Durchmesser (0,4 mm) zu verwenden (Hülsmann, 2001).

Zusätzlich kann es von Vorteil sein, die Kanüle vor der Spülung abzumessen und damit zu verhindern, dass sie über den Apex hinaus geschoben wird und so größere Mengen der Lösung in das Parodont abgegeben werden, was besonders bei einem offenen Foramen apikale schnell erfolgen kann.

Bei der alternativen Verwendung von Ultraschallspülungen muss darauf geachtet werden, dass die Ultraschallfeile möglichst nur geringen Wandkontakt aufweist, da es

sonst zur Abdämpfung Feilwirkung und somit zur Effektivitätsminderung der Spülung kommt. Die Effektivität der Ultraschallspülung ist ebenfalls abhängig von der Spülzeit (Hülsmann, 1997).

#### **1.2.4.1.1. Physikalisch- mechanische Methode**

Bei dieser Methode findet man eine Kombination aus Desinfektion und mechanischer Reinigung des Kanals, eine chemo-mechanische Spülung. Man unterscheidet die manuelle und die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung.

Bei der manuellen Methode wird nach den verwendeten Handinstrumenten, nach der angestrebten Form des Wurzelkanals oder nach Art des Vorgehens differenziert.

Die Standardmethode bei der Aufbereitung mit Handinstrumenten ist ein abwechselndes Feilen und dynamisches Spülen mit einer Einwegspritze, die mit einer zierlichen Kanüle bestückt ist. Der Druck erfolgt dabei gleichmäßig und ohne Verkeilen am Apex. Hierfür kann jede Spüllösung angewendet werden.

In einer Studie bereiteten Byström und Sundquist (1981) Wurzelkanäle bis zu einer Instrumentengröße ISO 40 mechanisch auf und spülten dabei mit physiologischer Kochsalzlösung. Es fand eine Reduktion der Mikroorganismen um  $10^2$  -  $10^3$  statt. Eine vollständige Elimination konnte nicht festgestellt werden. Dalton et al. (1998) erkannten in ihrem Experiment einen Zusammenhang zwischen einer stärkeren Reduktion der Keimzahl und zunehmender Größe der Masterfeile. Siqueira et al. (1999) stellten in ihrer Studie eine erhebliche Keimzahlreduktion fest, indem sie ohne Verwendung von Spülflüssigkeiten maschinell aufbereiten. Es handelt sich dabei allerdings um eine in-vitro Studie, bei der Kanäle mit *E. faecalis* inkubiert wurden und eine vollständige Aufbereitung nicht gesichert erscheint.

Es gibt zahlreiche Methoden der Wurzelkanalaufbereitung, bei denen maschinengetriebene Instrumente angewendet werden. Am weitesten verbreitet sind neben den maschinellen Aufbereitungssystemen Ultraschall-, Schallsysteme und Kombinationen dieser mit Handinstrumenten.

Insbesondere bei der Aufbereitung gekrümmter und enger Kanäle ergeben sich oftmals Probleme; so kann es z.B. zu Komplikationen wie Kanalbegradigung, Verlust der

Arbeitslänge oder Instrumentenfraktur kommen, die häufig auf einen Verlust der „Fingerkontrolle“ zurückzuführen sind und es dadurch zu einem unkontrollierten Abtragen von Dentin kommt. Moderne Entwicklungen von maschinengetriebenen Instrumenten, die auf der Grundlage der winkelbegrenzten Rotation arbeiten, sollen diese Probleme so gut wie ausschließen. Häufig verwendete Systeme sind das Light-Speed<sup>®</sup> - oder das ProFile<sup>®</sup>-System, aber auch hier ist ein häufiges Spülen mit desinfizierenden Lösungen unumgänglich. Letztendlich bedarf es hinsichtlich der Effektivität und Arbeitssicherheit der maschinellen Aufbereitung allerdings noch weiterer klinischer Studien. So erklärten Dalton et al. (1998), dass moderne maschinelle Instrumentierungsmethoden die Wurzelkanalaufbereitung erleichtern, jedoch keine erhöhte Keimreduktion gegenüber Handinstrumenten garantieren. Aufgrund der Komplexibilität des Kanalsystems werden nur etwa 50% der Kanalwände von rotierenden NiTi - Instrumenten mechanisch gereinigt.

Schall- und Ultraschallsysteme, die durch Vibrationen unterschiedlicher Frequenzen entstehen und longitudinale Wellen erzeugen, gehören zu den moderneren Geräten der Wurzelkanalbehandlung. Sie werden in der Praxis häufig bei stark gekrümmten oder engen Kanälen eingesetzt. Im Anschluss an jede Aufbereitungsgröße wird in größtmöglicher Tiefe im Wurzelkanal drucklos gespült, die Flüssigkeit wird bis ins apikale Drittel transportiert, es kommt zu einem besseren und schnelleren Flüssigkeitsaustausch im Kanal und zu einer Erwärmung der Spülung (Hülsmann, 2001). Allerdings besteht durch den Einsatz der maschinellen Aufbereitung ein hohes Risiko der Begradigung gekrümmter Kanäle und der Fraktur eingesetzter Feilen. Im Bereich der Desinfektion- und Reinigungswirkung kann durch schnell schwingende Instrumente die Effizienz der intrakanalären Spüllösungen erheblich gesteigert werden. Man spricht von einem schwingungsinduzierten „acoustic streaming“, durch das Debris und smear layer möglicherweise gründlicher entfernt werden (s. Abb. 1).

Es konnte gezeigt werden, dass schnelfrequente Spülungen mit einem großen Volumen die effektivste Möglichkeit darstellen, lockere Gewebereste aus dem Kanal zu entfernen. Durch die Anwendung maschineller Spülsysteme ist sowohl eine gleichmäßige Flüssigkeitsabgabe als auch ein entsprechendes Volumen während der Kanalaufbereitung gewährleistet.

Das neu entwickelte RinsEndo®-System ist ein Gerät zur hydrodynamischen Wurzelkanalspülung und es beruht auf einem Druck-Saug-Zyklus. Der hierbei verwendete Frequenzgenerator saugt jeweils 65 µl einer Spülflüssigkeit oszillierend mit einer Frequenz von 1,6 Hz aus einer aufgesteckten Spritze und befördert diese über eine Kanüle in den Wurzelkanal. Anschließend folgt die Saugphase. Beide Zyklen wechseln sich etwa 100mal pro Minute ab. Da dieses System relativ neu ist, liegen nur wenige Literaturangaben vor.

Die mechanische Aufbereitung ist also eine durchaus nützliche Methode zur Elimination von Mikroorganismen aus dem Wurzelkanal, allerdings ist hierdurch keine vollständige Keimfreiheit zu erreichen. Insbesondere kleine Nebenkanäle sind mit den heute verwendeten Instrumenten schwer bis gar nicht zugänglich, so dass eine zusätzliche Spülung unumgänglich erscheint.



Abb. 1: „Accoustic streaming“

Durch den Einsatz schnellschwingender Ultraschallinstrumente kommt es innerhalb des Kanals zu einem gesteigerten Flüssigkeitsaustauschs. Neben dem Instrument ist auf der Abbildung die Bewegung der Flüssigkeit („akustische Strömung“) dargestellt (Quelle: Fa. EMS, München).

#### 1.2.4.1.2. Desinfizierende Methoden

Es gibt Spüllösungen, deren Wirkung ausschließlich desinfizierend ist. Beispiele hierfür sind Chlorhexidin, verschiedene Antibiotika und Kalziumhydroxid, die im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung Anwendung finden.

Chlorhexidin ( CHX ) wurde bereits 1954 von Davies et al. für die Medizin als Haut- und Händedesinfektionsmittel entdeckt und ist kaum zytotoxisch. Zusätzlich findet man es in Bereichen der Pharmazie und Kosmetik, insbesondere zur Konservierung in Cremes. 1970 wurde CHX erstmalig für die Zahnmedizin interessant. Loe et al. (1970) fanden heraus, dass bei zweimal täglicher Anwendung einer 0,2%igen CHX - Lösung eine Plaquebildung und die daraus entstehende Gingivitis verhindert werden konnte.

CHX liegt in reiner Form als weißes geruchloses Pulver vor, gehört zur Gruppe der Bisguanoide und besitzt kationischen Charakter. In der Zahnmedizin wird es als Diglunat verwendet, da die Löslichkeit in dieser Form > 50 % beträgt. Bei Konzentrationen von 100 ppm wirkt CHX bakterizid, bei 0,19 ppm wirkt es immer noch bakteriostatisch. Seine bakterizide Eigenschaft wirkt sowohl auf grampositive als auch auf gramnegative Bakterien, wobei grampositive Bakterien sensitiver zu sein scheinen. Zusätzlich zu dieser bakteriziden Eigenschaft konnten Sen et al. (1995), aber auch andere Autoren einen fungiziden Effekt bestätigen.

Im Vergleich mit anderen Spüllösungen konnten Ayhan et al. (1999) eine deutliche Überlegenheit von 5,25%igem NaOCl gegenüber 2%igem CHX feststellen. D`Arcangelo et al. (1999) widerlegten diese Ergebnisse mit ihrer Studie, indem sie keine Unterschiede in der Wirkung zwischen 0,1%igem und 0,5%igem CHX und 0,5-5%igem NaOCl feststellten. In einer 1982 veröffentlichten Studie von Delany konnte dieser in einem in-vitro Experiment eine geringere Wirkung von physiologischer Kochsalzlösung gegenüber 0,2%igem CHX erkennen. Hierbei wurde frisch extrahierten Zähne mit nekrotisch infiziertem Endodont mit den jeweiligen desinfizierenden Lösungen gespült.

Komorowski et al. (2000) konnten zeigen, dass der Zeitfaktor bei CHX und NaOCl eine entscheidende Rolle spielt. Sie beobachteten bei einer Spülung mit den beiden Substanzen und einer Kontaktzeit von fünf Minuten keinen Unterschied. Bei einer Einwirkzeit von sieben Tagen war CHX bezüglich der antimikrobiellen Wirkung signifikant überlegen. Zusätzlich stellten Gomes et al. (1994) fest, dass eine größere

Reduktion von Mikroorganismen mit einem Anstieg der Konzentration auf bis zu 2% zu erzielen ist.

Diskutiert wird eine besondere Affinität von CHX zur Pulpa und zum Dentin, die durch eine längere Anwesenheit am Wirkort eventuell eine gesteigerte antibakterielle Wirkung aufweist (Parsons et al., 1980). Durch die Anwesenheit von Dentin wird CHX ebenso wie Kalziumhydroxid in seiner Aktivität eingeschränkt, da es die Lösung abpuffert (Haapasalo et al., 2000).

In einem speziellen Test wurde von Leonardo et al. (1993) überprüft, in wie weit *Streptococcus mutans* Kolonien durch CHX eliminiert werden können. In einem in - vivo Experiment spülten sie Zähne mit nekrotischem Gewebe mit einer 2%igen CHX - Lösung und untersuchten die Zähne vor und nach der Aufbereitung auf Mikroorganismen. Nach drei Tagen waren nur noch 3 von 18 Zähnen mit anaeroben Keimen infiziert, die Zahl der *Streptococcus mutans* Kolonien war bei allen Zähnen auf null gesunken. Auch gegen *Enterococcus faecalis* (Basrani et al., 2003; Gomes et al., 2003; Schäfer und Bössmann, 2005), sowie gegen anaerobe Bakterien (Örstavik und Haapasalo, 1990) und *Candida albicans* (Schäfer und Bössmann, 2001) konnte eine effektive Wirkung von CHX festgestellt werden.

Insbesondere aufgrund der Tatsache, dass CHX bei einer Konzentration von 0,1% - 2% als toxikologisch unbedenklich einzuschätzen ist, wird es von einigen Autoren als desinfizierende Spülung empfohlen (Jeansonne und White, 1994; White et al., 1999), allerdings bleibt ein ausschließlicher Einsatz noch zu diskutieren.

Eine weitere Möglichkeit zur Desinfektion eines Wurzelkanalsystems ist die Anwendung lokaler Antibiotika. Die ersten Versuche wurden bereits 1954 unternommen. Hierbei versuchte man im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung die Schmerzen durch Kortikoidgabe zu minimieren. Heute werden Antibiotika bevorzugt im Falle einer periapikalen Parodontitis angewendet. Die am häufigsten eingesetzten Präparate sind Ledermix, das Demeclocyclin als Antibiotikum und Triamcinolon als antiphlogistisches Agens enthält, und Fokalmin, das allerdings Neomycinsulfat und Chloramphenicol als Antibiotika und Prednisolon als Kortikoid Komponente enthält.

Die Kombination dieser beiden Bestandteile ist nötig, da die Kortikosteroid - Komponente neben einer Schmerzlinderung durch Unterdrückung von

Schmerzmediatoren auch zu einer Reduktion der Abwehrfähigkeit des Gewebes führt. Die antimikrobielle Komponente verhindert eine Vermehrung von Bakterien.

Ehrmann (2002) ist davon überzeugt, dass Ledermix zu einer reduzierten postoperativen Schmerzempfindung führt. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte nach Abbot et al. (1988) die günstige Diffusionseigenschaft des Medikamentes sein. Götze (1966) untersuchte an pulpitischen Zähnen die Eindringtiefe von Tetracyclin-Komponenten von Ledermix. Die gute Diffusionseigenschaft konnte bestätigt werden. Die Eindringtiefe lag übertragen auf den Wurzelkanal bei 400 µm. Heling und Pecht (1991) bewiesen mit einer in-vitro Studie, dass Ledermix nach 7 Tagen eine gute antibakterielle Wirkung gegen Staphylococcus aureus aufweist, wohin gegen Motsch et al. (1968) die antimikrobielle Wirkung nicht bestätigen konnte.

Nebenwirkungen auf das umliegende Gewebe nach systemischer Freisetzung von Kortikosteroid nach intradentaler Applikation kann ausgeschlossen werden (Abbot et al., 1988).

Auf Grund von fehlenden klinischen Studien und nicht ausreichenden Hinweisen aus der Literatur kann über die Anwendung von lokalen Antibiotika im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung nur wenig geurteilt werden.

Als medikamentöse Einlage während einer Wurzelkanalbehandlung kann Kalziumhydroxid verwendet werden. Bereits 1920 setzte es Hermann in diesem Zusammenhang ein. Kalziumhydroxid wirkt im Kanal über eine stetige Abgabe von Hydroxidionen (Proell, 1949). Da Kalziumhydroxid nur schlecht in Wasser löslich ist, hat das noch ungelöste Pulver einen Depoteffekt. Im feuchten Milieu des Kanals gehen ständig Hydroxidionen in Lösung. Der pH-Wert wird so im Wurzelentin langsam angehoben und erreicht nach ca. zwei Wochen ein Maximum, das über mehrere Wochen anhält (Nerwich et al., 1993). Der anhaltende Nachschub von OH-Ionen ist für die antimikrobielle sowie für die gewebeauflösende Wirkung verantwortlich. Das Medikament wird nicht nur zur Desinfektion während einer Wurzelkanalbehandlung eingesetzt, sondern u. a. auch

- zur direkten Überkappung oder der Amputation der exponierten Pulpa
- nach Perforation des Wurzelkanals, sowie
- zur Apexifizierung der Wurzelspitze nach Trauma

Die antibakterielle Wirkung ist der auslösende Faktor für die dabei einsetzende Hartgewebsbildung. Es konnte beobachtet werden, dass fast 100% der ursprünglich infizierten Kanäle nach einer einmonatigen Einlage einer wässrigen Kalziumhydroxidpaste bakterienfrei waren (Byström et al., 1985). Dieses Ergebnis konnte später mit einer Einlagedauer von 7 Tagen bestätigt werden, allerdings mit dem Zusatz, dass das Einbringen von Kalziumhydroxid in den Kanal für kurze Zeit, z.B. im Rahmen einer Behandlungseinheit, ohne Wirkung bleibt (Sjögren et al., 1991). Andere Autoren konnten diese Ergebnisse nicht bestätigen, da sie lediglich eine Bakterienfreiheit zwischen 65% und 75% nach einer Kalziumhydroxideinlage von einer Woche erreichten (Ørstavik et al., 1991; Reit et al., 1999). In einer 2002 veröffentlichten klinischen Studie von Peters et al. (2002 b) stellten diese fest, dass Kalziumhydroxid zwar ein Rückwachstum der Bakterien zwischen zwei Behandlungen verhindern kann, das Kanalsystem aber nicht weiter von Mikroorganismen befreien kann, als gründliche Natriumhypochloridspülungen. Shuping et al. (2000) erhielten nach Aufbereitung und Spülung mit NaOCl in 62% der Fälle Keimfreiheit. Hiermit konnten signifikant bessere Ergebnisse erzielt werden im Vergleich zu einer Aufbereitung und Spülung mit Kochsalzlösung. Nach Kalziumhydroxid - Einlage war die Zahl der keimfreien Kanäle wiederum signifikant, auf 92,5%, gestiegen.

In letzter Zeit rückten Problemkeime immer stärker in den Mittelpunkt des Interesses, insbesondere *Enterococcus faecalis*, und eine Wirkung von Kalziumhydroxid gegen diese Bakterien wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Waltimo et al. (1997) stellten fest, dass *E. faecalis* eine gewisse Resistenz gegenüber Kalziumhydroxid zu zeigen scheint. Ähnlich negativ äußerte sich Evans et al. (2002), wogegen Haapasalo et al. (2000) und Lynne et al. (2003) von einer antibakteriellen Wirkung von Kalziumhydroxid gegen *E. faecalis* überzeugt sind. Ørstavik et al. (1991) konnten in einer *in vitro* Studie beobachten, dass mit *E. faecalis* infiziertes Dentin eine mindestens zehntägige Kalziumhydroxidexposition benötigt, um die Keime abzutöten.

Hasselgren et al. (1988) wiesen darauf hin, dass oft vergessen wird, dass Kalziumhydroxid auch ein nicht unbeachtliches gewebeauflösendes Potential hat. Turkun & Cengiz (1997) zeigten, dass Kanäle, die eine Woche mit einer Kalziumhydroxideinlage versorgt waren und anschließend mit NaOCl gespült wurden, signifikant gründlicher von Geweberesten befreit waren als solche, die nur mit NaOCl

gespült wurden. Wadachi et al. (1998) und Hasselgren et al. (1988) bestätigt dies. Die Kombination von NaOCl und Kalziumhydroxid war allerdings signifikant besser in der Gewebsauflösung als die Applikation einer Lösung alleine (Hasselgren, 1988).

Nach Zehnder et al. (2003) ist die proteolytische Wirkung von Kalziumhydroxid langsam einsetzend und erreicht erst nach vier bis sieben Tagen ihren Höhepunkt.

Bezüglich einer Blockierung von Endotoxinen liegen nur wenige Studien vor. Safavi & Nichols (1993) erkannten eine Kalziumhydroxid induzierte Hydrolyse der Lipid-A-Bestandteile. Silva et al. (2002) zeigten, dass eine Kalziumhydroxideinlage in vivo die Lipopolysaccharidwirkung blockierten und so eine apikale Parodontitis verhinderten.

Die Nebenwirkungen von Kalziumhydroxid sind gering und es gilt als nicht toxisch. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine mindestens einwöchige Kalziumhydroxid-Einlage notwendig zu sein scheint, um eine suffiziente Wirkung zu erzielen. Dann allerdings ist es als effektives Agens im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung zu betrachten.

### **1.2.4.1.3. Chemische Methoden**

#### **1.2.4.1.3.1. Natriumhypochlorid (NaOCl)**

Ursprünglich wurde NaOCl im ersten Weltkrieg als Desinfektionslösung für Wunden eingesetzt. Walker war 1936 einer der ersten, der eine Einführung von NaOCl in die Endodontie befürwortete. Es besitzt die Fähigkeit nekrotisches Gewebe aufzulösen und hat antimikrobielle Eigenschaften. Dies ist entscheidend für die Spülung in einem verzweigten Wurzelkanalsystem, in dem nicht alle Areale mechanisch zugänglich sind.

Die Wirkung von NaOCl ist auf seine Reaktion mit Proteinen unter der Bildung von Chloraminen zurückzuführen, wobei die Proteine zerfallen. Seine aktive Wirkung beruht auf seinem Gehalt an undissoziierten HOCl-Molekülen, die oxydierende und chlorierende Wirkung haben (Hellwig et al., 2003), so dass auch Pus und nekrotisches Gewebe durch NaOCl gelöst werden können (Hülsmann, 2001). Der antimikrobielle Effekt von NaOCl bezieht sich auf das Abtöten von vegetativen Bakterien, sporenförmigen Bakterien, Pilzen, Protozoen, Viren (einschließlich HIV, Hepatitis A und B). Grossman und Neimann waren 1941 die Ersten, die die Auflösung von nekrotischem

Pulpagewebe durch proteolytische Substanzen beobachteten und feststellten, dass NaOCl die effektivste von ihnen war. NaOCl ist in der Lage organisches Material im Kanal wie Pulpaüberreste, Prädentin, Bakterien und Produkte der Bakterien aufzulösen. Es penetriert nicht sehr gut, so dass der Wirkungseffekt stark von der Kontaktzeit abhängig ist. Mit 1 ml 2%igem NaOCl werden bei 37 °C zwei bis zweieinhalb Stunden gebraucht um 6,5 mg pulpaales Gewebe aufzulösen. Die gewebeauflösende Eigenschaft nimmt mit der Konzentration und der applizierten Menge zu, ist abhängig von der Beschaffenheit des aufzulösenden Gewebes und dauert nur so lange an, wie freies Chlor (OCl und HCOI) in der Lösung vorhanden ist (Grawehr et al., 2003).

Im ersten Weltkrieg wurden 200 verschiedene Lösungen auf ihre wunddesinfizierende Wirkung getestet (Dahin, 1915). NaOCl in 0,5%iger Lösung gepuffert mit Natriumbicarbonat, wurde auf Grund dieses breiten Screenings das Medikament der Wahl zur Reinigung offener Kriegsverletzungen. In der Zahnmedizin wurden traditionellerweise höher konzentrierte Lösungen als 0,5%iges NaOCl verwendet, da man 5,25%iges NaOCl leicht käuflich erwerben kann und man davon ausging, konzentriertere Lösungen würden den Kanal besser reinigen.

In der Fachliteratur herrscht noch keine Einigkeit über die Konzentration des zu verwendenden NaOCl. Vahdaty et al. (1993) fanden in einem in-vitro-Experiment keine Unterschiede bezüglich der Desinfektionskraft von 0,2%igem und 2%igem NaOCl. Auch Siqueire et al. (2000) bereiteten extrahierte Zähne mit nekrotischem Endodont auf und konnten keine Unterschiede in der Wirkung von 1%, 2,5% und 5,25%igem NaOCl feststellen, insbesondere gegen *E. faecalis*.

Hand et al. (1978) konnten zeigen, dass 5%iges NaOCl Gewebereste besser auflöst als 2,5%iges NaOCl. Letztendlich kann aber davon ausgegangen werden, dass die Desinfektionskraft von NaOCl unabhängig von der Konzentrationskraft ist, was in einer in-vivo Studie von Byström et al. (1985) bestätigt werden konnte, die Zähne mit apikaler Parodontitis behandelten.

Bei Hypochlorid-Lösungen ist das Potenzial Gewebe aufzulösen, und damit auch zu schädigen, fast ausschließlich abhängig von der Konzentration an freiem Chlor in der Lösung, und nicht, wie früher angenommen, vom pH-Wert oder der Osmolarität (Zehnder et al., 2002). Da nicht nur der gewebeauflösende Effekt bei NaOCl von der Präsenz von freiem Chlor im System ausgeht, sondern auch der antimikrobielle

(Bloomfield und Miles, 1979; Grawehr et al., 2003), bedeutet das für die Klinik, dass nicht hochkonzentriertes Hypochlorid verwendet werden sollte, sondern dass mit einer genügenden Menge an Lösung gearbeitet werden muss. Es kann zu schweren Schäden kommen, wenn konzentriertes NaOCl über den Apex hinaus gepresst wird. Da ein gering konzentriertes NaOCl allerdings ausreicht, einen Kanal zu spülen, ist die Gefahr, parodontales Gewebe durch kleine Mengen über den Apex tretender oder durch den Kofferdam sickernder Lösung zu irritieren, minimal.

Eine zusätzliche positive Eigenschaft des NaOCl ist die Neutralisation bzw. die Inaktivierung von Bakterienzellbestandteilen, auch Lipopolysaccharide (LPS) oder Endotoxine genannt. NaOCl ist in der Lage Endotoxine zu blockieren (Buttler und Crawford, 1982) und infizierte Wurzeloberflächen können durch NaOCl-Spülungen von der Endotoxin - Aktivität befreit werden (Sarbinoff et al., 1983).

Im Vergleich mit anderen Spülungen konnten Baumgartner et al. (1987) zeigen, dass NaOCl effektiver ist als Kochsalzlösung, wobei es bezüglich der Auflösung pulpaler Reste und Prädentin keinen entscheidenden Unterschied machte, ob 1%iges, 2,5%iges, oder 5%iges NaOCl verwendet wurde. Hinsichtlich der Wirkung zwischen 2,5%igem NaOCl und 0,2%igem Chlorhexidin gab es keine starke Abweichung, aber die Kombination von 2,5%igem NaOCl und 0,2%igem CHX zeigte statistisch gesehen eine höhere antimikrobielle Wirkung (Kuruvilla und Kamath, 1998).

Peters et al. (2002a) und Sjögren et al. (1991) stellten fest, dass nach vollständiger Instrumentierung und intensiver Spülung mit NaOCl zwischen 50% und 75% der infizierten Kanäle von kultivierbaren Bakterien befreit werden. Sicherlich bedingt durch die konische Form des Kanals nimmt die Desinfektionskraft von NaOCl von koronal nach apikal und von zentral nach peripher stark ab. Nach Applikation ist koronal und zentral mehr Volumen der Flüssigkeit vorhanden. Die Penetration von NaOCl in die Dentintubuli ist gegeben, jedoch ist die Fähigkeit zur Desinfektion des Wurzelkanals stark abhängig von den im Kanal gefundenen Bakterien.

Moore (1987) fasste zusammen, dass die Effektivität von NaOCl stark von der Menge an organischem Material in dem Hypochlorid-Gewebe-System abhängt, genauso wie von der Frequenz und Intensität der Spülung und von der möglichen Oberfläche an freiem oder eingeschlossenem Gewebe.

Durch einen Kontakt von NaOCl mit dem periapikalen Gewebe kann es zu zytotoxischen Komplikationen kommen (Hülsmann und Hahn, 2000; Serper et al., 2004). Eine apikale Extrusion kann zu postoperativen Schwellungen, Schmerzen und Nekrose führen (Brown et al., 1995; Cymbler und Ardakai, 1994). Man führt dies auf die Oxidation von NaOCl im gesunden parodontalen Gewebe zurück. Des Weiteren besteht die Möglichkeit allergische Reaktionen hervorzurufen, aber auch Emphyseme durch Überfüllung können entstehen (Jeansonne und White, 1994; Segura et al., 1999; Sen et al., 1995). Die Reaktionen auf eine zytotoxische Komplikation können mild mit vollständiger Heilung (Hermann und Heicht, 1979) bis hin zu Sensibilitätsverlusten in entsprechenden Gebieten (Reeh und Messer, 1989) sein. Insbesondere ab einer Konzentration von 1% sollte bei der Verwendung von NaOCl vorsichtig vorgegangen werden (Joffe, 1991). In den Konzentrationen von 0,5% ist NaOCl als nicht toxisch anzusehen und geht sofort in das zirkuläre Blut über (Baumgartner und Cuerniu, 1992; Spagberg et al., 1973).

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass noch nicht alle Fragen bezüglich einer Spülung mit NaOCl geklärt sind. Es handelt sich aber durchaus um eine effektive Lösung, die zwar nicht eine 100%ige desinfizierende Wirkung mitbringt, aber einen konzentrationsabhängigen gewebeauflösenden Effekt und die Fähigkeit bakterielle Endotoxine zu neutralisieren, aufweist und somit heute als Standardmedium zur Wurzelkanalspülung gilt. Die Nebenwirkungen können durch eine richtige Anwendung gering gehalten werden.

#### **1.2.4.1.3.2. Wasserstoffperoxid in Kombination mit Natriumhypochlorid**

Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) ist eine schwach saure, farblose, flüssige Lösung, die in wässriger Lösung in Wasserstoff und Sauerstoff zerfällt. Bei Kontakt mit Gewebe, Blut oder Eiter wird es durch die Enzyme Katalase und Glutathion – Peroxidase in molekularen Sauerstoff umgewandelt. Dabei kommt es zu einer starken Schaumwirkung (Hülsmann, 2001).

Obwohl Senia et al. (1975) zeigten, dass  $H_2O_2$  weniger effektiv ist in der Beseitigung von Mikroorganismen als 5,25%iges NaOCl, wurde es verbreitet als Spüllösung verwendet.

Auch Heling und Chandler (1998) zeigten in ihrem Versuch, dass die antibakterielle Wirkung von  $\text{H}_2\text{O}_2$  signifikant geringer ist als die von NaOCl und CHX. Ferguson et al. (2000) untersuchten zusätzlich zur antibakteriellen die fungizide Wirkung von  $\text{H}_2\text{O}_2$  und anderer Desinfektionslösungen. Genauso wie NaOCl und CHX erwies sich  $\text{H}_2\text{O}_2$  selbst in starken Verdünnungen als fungizid.

Durch im Kanal verbliebenes  $\text{H}_2\text{O}_2$  kann es sich mit der Peroxidase des Blutes verbinden und zu freiem Sauerstoff werden. Hierdurch kann es zu Schmerzen, Schwellung und/oder Emphysemen kommen (Becker und Wollard, 2001). Eine ähnliche Symptomatik wird in vielen Fällen beschrieben, bei denen eine Extrusion von  $\text{H}_2\text{O}_2$  in das periapikale Gewebe statt gefunden hat (Hülsmann und Denden, 1997; Patterson und McLundie, 1989). Bhat (1974) erklärte diese Emphysembildung durch den schnellen Oxidationsvorgang bei Anwendung einer Wasserstoffperoxidlösung, sobald diese mit Gewebeflüssigkeit in Kontakt kommt.

In der Praxis wird  $\text{H}_2\text{O}_2$  (3%) häufig als Wechselspülung mit NaOCl (5,25%) eingesetzt. Durch eine kombinierte Spülung aus NaOCl und  $\text{H}_2\text{O}_2$  entsteht im Wurzelkanal eine Reaktion aus Kochsalz, Wasser und Sauerstoff ( $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOCl} - \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{NaOCl} + \text{O}_2$ ). Vorteil des Zusatzes von  $\text{H}_2\text{O}_2$  ist ein „schäumender“ Effekt, der zu einer besseren Entfernung von Debris führen soll. Svec und Harrison (1977) stellten zwar eine effektivere Reinigung im apikalen Wurzelkanalanteil mit dieser Kombination fest, sie unterließen es jedoch, eine Vergleichsstudie mit NaOCl alleine durchzuführen.

Leider konnte die bakterizide Wirkung dieser Kombination aus NaOCl und  $\text{H}_2\text{O}_2$  noch nicht sichergestellt werden. Zusätzlich wird durch die Zugabe von  $\text{H}_2\text{O}_2$  der gewebeauflösende Effekt von NaOCl fast vollständig aufgehoben, so dass dieser Spülung keine relevanten Vorteile zu zuweisen sind. Da sich  $\text{H}_2\text{O}_2$  mit der Peroxidase des Blutes verbinden kann, sollte die letzte Spülung immer mit NaOCl durchgeführt werden. Das hierbei frei werdende  $\text{O}_2$  kann zu Schmerzen und Schwellungen führen, indem es aufgrund einer Volumenzunahme zur Druckerhöhung im verschlossenen Wurzelkanal kommt (Hülsmann, 1997).

### 1.2.4.1.3.3. EDTA

Ethylendiamintetraessigsäure gehört zur Gruppe der Chelatoren, die aus chemischer Sicht großmolekulare Komplexbildner sind. Die Natriumsalze von Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) wirken in Konzentrationen von 10% bis 17% in wässriger Lösung als potente Chelatbildner (Nikiforuk und Sreebny, 1953). Es wurde 1957 von Nygaard Östby in die Endodontie eingeführt mit dem Zweck, das Dentin zu erweichen und dadurch insbesondere die Aufbereitung enger und kalzifizierter Kanäle zu erleichtern. EDTA ist in der Lage, Kalzium aus dem Dentin herauszulösen, die Schmierschicht nach Instrumentierung aufzulösen und so die Dentintubuli für eine antimikrobiell wirkende Spülung zu öffnen (Nygaard Östby, 1957). Bei der Schmierschicht handelt es sich um eine nach der hand- oder maschinellen Aufbereitung entstandene Schicht auf dem Dentin aus Zelltrümmern, Bakterien, Zahnhartgewebstrümmern und Dentinliquor. Die Dicke dieser Schicht beträgt 1 bis 5 µm und ist z.B. durch eine Spülung mit NaOCl nicht aufzulösen. Ob es sinnvoll ist, den sog. „smear layer“ im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung zu entfernen, konnte noch nicht vollständig geklärt werden. Für die Auflösung des smear layers spricht die bessere Penetration des Sealers in die Dentintubuli und somit eine bessere Adaptation an die Wurzelkanalwand, die in signifikant dichteren Wurzelfüllungen resultiert. Zusätzlich wurde nachgewiesen, dass Mikroorganismen trotz chemo-mechanischer Aufbereitung in dem smear layer überleben, sich vermehren und in die Dentintubuli eindringen können. Auch die antimikrobielle Wirkung von Spüllösungen oder medizinischen Einlagen in den Dentintubuli kann durch eine Schmierschicht verzögert oder sogar verhindert werden. Cergneux et al. (1987) bemerkten in ihrem Versuch, dass sich die Öffnungen der Dentinkanälchen vergrößerten und dass sich die Schichtdicke intertubulären Dentins verringerte, nachdem sie Wurzelkanäle für 4 Minuten mit 15%igem EDTA spülten. Ähnliche Beobachtungen machten Baumgartner und Mader (1987). Sie spülten nicht aufbereitete Kanalwände abwechselnd mit EDTA und 2,5%igem NaOCl. Es konnte gezeigt werden, dass EDTA genauso wie NaOCl Gewebstrümmer ausspült, es ist nach einer Studie von Grawehr et al. (2003) jedoch nicht in der Lage Kollagenreste aufzulösen und auch der antibakterielle Effekt ist nicht mit der Wirkung von NaOCl oder

anderen desinfizierenden Spülungen gleichzusetzen. Sarbinoff et al. (1983) konnten zeigen, dass EDTA nur einen geringen Effekt gegen Endotoxine aufweist.

Ørstavik und Haapasalo (1990) untersuchten die Eindringtiefe verschiedener Spüllösungen in die Dentintubuli und bewiesen, dass EDTA keine antimikrobielle Wirkung im Tiefengewebe zeigte, wahrscheinlich weil es direkt an Hartgewebe bindet (Heling und Chandler, 1998). Eine klinische Studie von Yoshida et al. (1995) jedoch hat gezeigt, dass EDTA das Wurzelkanalsystem signifikant besser desinfiziert als Kochsalzlösung, was zumindest für eine antibakterielle Wirkung im nekrotischen Pulpagewebe spricht.

Weinreb und Meier (1965) zeigten, dass EDTA den Kanal sehr gut „einschmiert“ und so eine Hilfe während der Kanalaufbereitung darstellt. Yamada et al. (1983) demonstrierten, dass eine Kombination von 10 ml EDTA und von 10 ml NaOCl die effektivste Spülung zur Entfernung des smear layers ist. Byström und Sundqvist (1981) bestätigten, dass alternierendes Spülen mit NaOCl und EDTA Keime im Kanal besser reduziert als mit Hypochlorid alleine. Ein ähnliches Ergebnis erhielten Niu et al. (2002), die 25 einwurzelige, extrahierte Zähne nach der Aufbereitung mit unterschiedlich hoch konzentrierten NaOCl- und EDTA-Lösungen spülten. Gewebsreste wurden am effektivsten durch eine EDTA-Spülung mit anschließender NaOCl-Spülung beseitigt. Eine Spülung mit EDTA alleine zeigte nur eine geringfügige Wirkung. Allerdings ist bei Wechselspülungen von EDTA mit NaOCl zu beachten, dass EDTA mit freiem Chlor von Hypochloridlösungen reagiert und so das NaOCl inaktiviert (Grawehr et al., 2003; Saquy et al., 1994). Die Konzentration des verwendeten EDTA sollte zwischen 15% und 24% liegen, da nur so die Schmierschicht akzeptabel zu entfernen und eine Kollagenexposition in einer angemessenen Zeit zu erreichen ist (Blomlof et al., 1997).

Neben dem begrenzten antimikrobiellen Effekt, ist ein weiterer Nachteil die destruktive Wirkung auf das Dentin ab einer Einwirkzeit über einer Minute (Torabinejad et al., 2003). Hierbei kommt es zu einer Demineralisation des intertubulären Dentins, zu einer Vergrößerung der Dentintubuli (Çalt und Serper, 2002; Takeda et al., 1999) und zu einer Denaturierung der Kollagenfasern (Çalt und Serper, 2002).

Hinsichtlich der Biokompatibilität von EDTA untersuchte Nygaard Östby (1957) die Auswirkungen von 15%iger neutraler EDTA - Lösung auf menschliches periapikales Gewebe sowie die Wirkung auf vitale und nekrotische Pulpa. In histologischen Studien

konnte er zeigen, dass trotz intentioneller, über den Apex hinaus forcierter EDTA-Applikation ein normal regenerierter Alveolarknochen und neue funktionell angeordnete Desmodontalfasern entstanden. In einer anderen Studie traten in 200 klinischen Fällen, in denen EDTA als Spüllösung angewendet wurde, keine Irritationen oder Schädigungen des periapikalen Gewebes auf. Das Ergebnis zeigte, dass eine Extrusion selbst niedrig konzentrierter EDTA-Lösungen über den Apex hinaus zu einem reversiblen neuroimmunologischen Regulationsmechanismus führt. Nichtsdestotrotz sollte der Einsatz von EDTA vorsichtig erfolgen, um eine periapikale Irritation zu vermeiden (Hülsmann et al., 2003).

In der Literatur finden sich überwiegend Studien über die Wirkungsweise flüssiger, zur Spülung dienender Chelatorpräparate. Durch einen zunehmenden Einsatz der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan Instrumenten kommt es immer häufiger zur Anwendung pastenförmiger Chelatoren. Hierbei dienen diese hauptsächlich als Gleitmittel und um zu verhindern, dass ein Verklemmen der empfindlichen Instrumente im Wurzelkanal zu Instrumentenfrakturen führt.

Insgesamt ist EDTA eine gering zytotoxische Lösung (Saarineu-Savolainen et al., 1998), die allerdings keine Alternative zur konventionellen NaOCl darstellt, in Kombination mit dieser aber durchaus von Bedeutung ist (Baumgartner und Ibay, 1987; Hata, 2001; Guerisoli et al., 2002).

#### **1.2.4.1.4. Thermische Methode**

In den letzten Jahren wurden einige moderne Methoden zur Desinfektion eines Wurzelkanalsystems vorgestellt. Unterschiedliche Lasersysteme wurden bereits experimentell hinsichtlich ihrer Eignung zur Wurzelkanalbehandlung untersucht. Die am häufigsten verwendeten Systeme sind der Excimer-, Nd:YAG-, der Ar<sup>+</sup>-Ionen- und der Dioden-Laser.

Laserstrahlung wurde bereits in den 60iger Jahren in die Zahnheilkunde eingeführt und seit den 80iger Jahren versucht man sie in sämtliche Bereiche der Zahnmedizin einzubinden. In der Endodontie war der Gebrauch zunächst eingeschränkt, da ein

großer apparativer Aufwand zur Erzeugung des Laserstrahls nötig ist und noch Mängel in der Entwicklung von Energieübertragungssystemen vorlagen.

Seitdem mehr Kenntnisse über die Wirkung, Wechsel- und Nebenwirkungen vorliegen und grazile Lichtleiter entwickelt wurden, werden ständig neue Veröffentlichungen über Lasereinsätze in der Endodontie gemacht.

Frentzen et al. (1991) zeigte, dass der Nd:YAG-, der Er:YAG- oder der Diodenlaser mit NaOCl oder EDTA-Spüllösungen die Elimination von Mikroorganismen nach der Aufbereitung fördern können. Die Wirkung der Spüllösungen kann durch die Kavitationseffekte, wie bei Ultraschallsystemen, oder durch thermische Effekte positiv unterstützt werden. Andere Untersuchungen zeigen allerdings, dass eine antibakterielle Wirkung des Nd:YAG-Lasers zwar feststellbar ist, allerdings der Effekt von NaOCl nicht übertroffen werden konnte (Piccolomini et al., 2002). Sowohl Frentzen et al. (1991) als auch Takeda et al. (1999) hielten fest, dass für den Einsatz der Laser eine Aufbereitung bis mindestens zu ISO-Größe 30 nötig ist.

Ein Entfernen von Pulpagewebe und Wurzelkanalwanddentin ist mit dem Excimer-Laser zwar grundsätzlich möglich, aber es besteht die Möglichkeit, dass es bei der Anwendung zu einem Druckeffekt im Wurzelkanal und somit zur Schädigung des periapikalen Gewebes kommen kann. Außerdem kann ein möglicher mutagener Effekt der UV-Strahlung nicht ausgeschlossen werden (Bentham, 1994). Bei der Verwendung des Nd:YAG-Lasers konnte man häufig deutliche Veränderungen an der Wurzelkanalwand in Form einer Karbonisierung der Dentinoberfläche erkennen. Zusätzlich wurden thermische Schädigungen des periapikalen Gewebes beobachtet. Speziell dieser Lasertyp wurde von vielen Wissenschaftlern (Hassan, 1995; Gutknecht, 1996; Koba et al., 1999) in klinischen Studien bewertet. Koba et al. verglichen 3 bzw. 6 Monate nach Aufbereitung von infizierten Zähnen mit und ohne Laser die Ergebnisse und stellten fest, dass sowohl postoperatives Unwohlsein als auch Schmerzen nach einer Laserbehandlung deutlich geringer waren. Von allen bekannten Lasern scheint der Er:YAG-Laser am ehesten geeignet zu sein. Hier vermutet man, dass die thermische Schädigung am desmodontalen Gewebe am Periapex am geringsten ist und auch eine antimikrobielle Wirkung konnte bestätigt werden (Schoop et al., 2002).

Moshonov et al. (1995) und Stabholz et al. (1993) hielten fest, dass Ar<sup>+</sup>-Ionen, Excimer- und Er:YAG-Laser sich auch zur Entfernung des smear layers eignen, wobei hier der

Er:YAG-Laser der effektivste war. Bei den beiden erst genannten traten bei höheren Energiedichten Schmelzdefekte auf.

Bezüglich der Desinfektion von Kanälen mit Lasern stellte man fest, dass die Anzahl der Bakterien in Abhängigkeit von der Laserenergie und der Bestrahlungszeit reduziert werden konnten (Mehl et al., 1999; Moritz et al., 1997).

Das System funktioniert über eine feine optische Faser, die in die apikale Region des Kanals nach Aufbereitung vorgeschoben wird. Es konnte noch nicht vollständig geklärt werden, wie die antimikrobielle Wirkung der Laserstrahlung zustande kommt. Man vermutet jedoch eine Kombination aus thermischen, photodynamischen und photodisruptiven Effekten (Stabholz et al., 1993).

Eine nicht zu vergessene Nebenwirkung der Laseranwendung ist, dass es eventuell zu einer bakteriellen Kontamination des Behandlers kommen kann (Hardee et al., 1994). Es wird angenommen, dass durch den Laserbetrieb entstandener Dampf, Bakterien aus dem zu behandelnden Zahn freigesetzt werden. Aus diesem Grund empfahlen McKinley und Ludlow (1994) Vorkehrungen zu schaffen, z.B. indem große Vakuumpumpen vor Infektionen während der Laserbehandlung schützen.

Eine alleinige Desinfektion durch Laserstrahlung scheint bis zum heutigen Zeitpunkt noch problematisch. Der begrenzende Faktor ist die hohe benötigte Energie, durch die Schädigungen im Bereich des parodontalen Ligamentes entstehen können. Kombiniert mit Spüllösungen und unter angemessenen Bedingungen kann der Einsatz von Lasern eine konventionelle Therapie durchaus unterstützen, aber noch nicht ersetzen.

Ein weiteres neu entwickeltes System ist das Quantec-E Irrigation<sup>®</sup> System. Es handelt sich hierbei um ein bewegliches Spülsystem, das einen konstanten und justierbaren Bewegungsfluss aufweist. Ein Vorteil ist, dass man zwischen verschiedenen Flüssigkeiten schnell wechseln kann.

Walters et al. (2002) testeten in ihrer Studie die Effektivität von einer Handspülung mit der dem Quantec-E Irrigation<sup>®</sup> Systems. Sie konnten keinen entscheidenden Unterschied feststellen. Eine ähnliche Studie führten Setlock et al. (2003) durch. Sie verglichen 4 Gruppen mit je 15 Zähnen und spülten diese entweder mit einer handelsüblichen Spritze oder mit dem Quantec-E Irrigation<sup>®</sup> System. Ihre Beobachtungen ergaben saubere Kanalwände, weniger Debris und insgesamt effektivere Entfernung des smear layers im koronalen Anteil der Wurzel, wenn mit

Quantec gespült wurde. Im mittleren und apikalen Wurzelbereich war kein signifikanter Unterschied zu erkennen, so dass insgesamt nicht von einem relevanten Vorteil gegenüber der konventionellen Handspülung gesprochen werden kann. Man konnte feststellen, dass dieses System mit einer größeren Geschwindigkeit und einem größeren Volumen spült als eine konventionelle Handspülung. In der anschließenden Auswertung war allerdings kein Unterschied in der Effektivität zu erkennen.

#### **1.2.4.1.5. Kombinationen**

Im Allgemeinen reicht die Anwendung einer Spüllösung nicht aus, um den erwünschten Erfolg zur Desinfektion eines Wurzelkanals zu erzielen. Es erwies sich als durchaus günstig die oben beschriebenen Methoden in Kombinationen anzuwenden.

Abou-Rass und Piccinino (1982) bestätigten eine gesteigerte antibakterielle Wirkung einer NaOCl-Spülung mit dem Einsatz eines Ultraschalls. Eine weitere Kombinationsmöglichkeit setzt sich aus drei verschiedenen Lösungen zusammen: Carson et al. (2005) empfiehlt zur Entfernung der Schmierschicht 17%iges EDTA und eine anschließende Spülung mit 6%igem NaOCl. Die völlige Desinfektion erfolgt durch eine Schluss-Spülung mit 2%igem CHX. Sowohl Laser als auch andere moderne Spülsysteme stellen eine wirkungsvolle Alternative zur Desinfektion dar, insofern sie als Zusatz zu einer desinfizierenden Lösung, z.B. NaOCl eingesetzt werden.

### **1.3. Wissenschaftliche Methoden zur Überprüfung der Wurzelkanal-Desinfektion und -reinigung**

#### **1.3.1. Bestimmung der Eindringtiefe der Spüllösung in das Dentin**

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten die Eindringtiefe einer Spüllösung in das Dentin zu bestimmen. Durch in-vitro Studien, die an extrahierten Zähnen oder Zahnmodellen durchgeführt werden, können die Versuchsobjekte auf verschiedene Methoden weiterverarbeitet werden. Als Beispiele hierfür seien die Färbung der Präparate, die Untersuchung der bakteriellen Besiedlung, licht- oder rasterelektronenmikroskopische

Auswertung sowie die Herstellung von Schliffen zu nennen. Die einzelnen Untersuchungsmöglichkeiten werden anschließend kurz erläutert.

Eine weitere Möglichkeit macht den Einsatz von Probanden erforderlich, an denen eine bakterielle Untersuchung der Wurzelkanäle in-vivo durchgeführt werden kann (Attin et al., 2002).

### **1.3.1.1. Lichtmikroskopische Auswertung**

Um eine Beurteilung der Eindringtiefe in das Dentin einer Spüllösung anhand eines Lichtmikroskops zu ermöglichen, besteht die Notwendigkeit die Flüssigkeit anzufärben. Der Farbstoff hierfür muss grundsätzlich in der Lage sein, Dentin zu färben und seine Farbstoffmoleküle müssen klein genug sein, um in das Dentin penetrieren zu können. Toluidinblau und Säurefuchsin sind zwei Farbstoffe die diese Kriterien erfüllen. Es besteht die Möglichkeit längs- oder quer geschnittene Präparate im Durchlicht- bzw. Auflichtmikroskop zu betrachten

Es gibt verschiedene Ansätze, die eine Auswertung anhand des Lichtmikroskops ermöglichen. In vielen Studien wird die Reinigung eines Kanals gleichgesetzt mit der Entfernung der Debris in einem Kanal und anschließend, nach lichtmikroskopischer Betrachtung, durch ein Scoresystem bewertet (Attin et al., 2002; Lussi et al., 1995). Andere Methoden sind das Anfärben der Debris mit Van Giesson-Färbung (Cheung und Stock, 1993) oder das Verwenden eines Photomikroskops (Lee et al., 2004). Die Beurteilung der Anfärbung kann generell nach apikal (Peters und Harrison, 1992) oder zirkulär im Dentin bewertet werden. Das Präparat kann auch komplett angefärbt werden und die Eindringtiefe wird anschließend an der Entfärbung des Farbstoffes beurteilt werden (Peters und Harrison, 1992).

Die Auswertung anhand eines Lichtmikroskops wird durch den Vergrößerungsfaktor begrenzt. Mikroorganismen können gar nicht, Dentintubuli nur beschränkt betrachtet werden. Einige Autoren erklärten, dass anhand einer Auswertung mit einem Lichtmikroskop durchaus eine ja/nein Aussage möglich ist, aber die Qualität der Reinigung nicht bewertet werden kann (Cecic et al. 1984)

### **1.3.1.2. Mikrobiologische Untersuchung**

Hierbei nutzt man die Infektion von tierischen oder auch menschlichen Zähnen bzw. Wurzelkanälen aus, um ein Ergebnis zu erhalten. Eine Methode, derer sich viele Autoren bedienen, besteht in der Auswertung bakterieller Besiedlung infizierter Kanäle vor und nach der Reinigung (Barnett et al., 1986; Pataky et al., 2002). Man erhält ein rein quantitatives Ergebnis, indem Bakterien vor und nach Reinigung mit einer Papierspitze aus dem Kanal entnommen und bebrütet werden. Eine weitere Methode bezieht sich auf den Vergleich der Colony-forming-units (CFUs), durch die eine Beurteilung der Effektivität der Reinigung und Desinfektion möglich ist (Buck et al., 2001; Folwazny et al., 2002; Moritz et al., 1999; Pataky et al., 2002; Peters et al., 2000). Durch die Verwendung einer Papierspitze zur Entnahme der Bakterien aus dem Kanal, ist leider nicht sichergestellt, dass Bakterien auch aus der Tiefe des Systems zur Probe gewonnen werden. Dies stellt in so fern ein Problem dar, weil die Aussage über die exakte Besiedlung des Wurzelkanals für eine erfolgreiche endodontische Behandlung von entscheidender Bedeutung ist (Sedgley et al., 2005).

### **1.3.1.3. Einsatz radioaktiv markierten Materials**

Bei dieser Methode werden die Wurzelkanäle radioaktiv markiert und durch die Anwendung verschiedener Spülflüssigkeiten kann die Reduktion der Radioaktivität gemessen werden. Durch den Einsatz von Messinstrumenten wird eine objektivere Beurteilung der Reinigungseffektivität ermöglicht. Als Kontrollgruppen dienen unbehandelte Kanäle und zur radioaktiven Markierung können verschieden Substanzen verwendet werden, wie z.B. Gelatine (Weller et al., 1980) oder aber auch *E. faecalis* Bakterien (Rollison et al., 2002). Die Reduktion der Radioaktivität erfolgt durch ein Szintillations-Spektrophotometer. Eine weitere Möglichkeit ist die Entfernung radioaktiven Albumins mit anschließender Errechnung des Prozentsatzes der Radioaktivität (Cecic et al., 1984).

Es handelt sich um eine geeignete objektive Methode zur Überprüfung der Effektivität einer Spüllösung, allerdings bedarf es zusätzlicher Materialien und Räumlichkeiten.

#### **1.3.1.4. Andere Methoden**

Die am häufigsten verwendete Methode zur Bestimmung der Eindringtiefe in das Dentin ist die Auswertung durch ein Rasterelektronenmikroskop (REM). Es ist dem Lichtmikroskop in Technik und Anordnung ähnlich, allerdings werden anstelle von Glaslinsen elektromagnetische Felder zur Lenkung des Strahls verwendet. Elektronen müssen durch Photoplatten oder Leuchtschirme sichtbar gemacht werden, da Elektronenstrahlen vom bloßen Auge nicht gesehen werden können. Zur Darstellung der Objekte wird die Oberfläche mit einer Metallschicht (Sputter) überzogen. Dies ist ein Nachteil der Methode, da es dadurch zur Zerstörung der Zellstruktur biologischer Präparate kommt.

#### **1.3.2. Beurteilung der apikale Extrusion**

Auch zur Bestimmung der apikale Extrusion können verschiedene Methoden angewendet werden. Die Messung des Volumens oder des Gewichtes ermöglicht eine Aussage über die Quantität des überpressten Materials. Durchflussmessgeräte lässt eine Auswertung der apikal auftretenden Kräfte zu.

##### **1.3.2.1. Volumenmessung**

Eine Möglichkeit besteht darin, apikal übertretende Materialien oder Flüssigkeiten aufzufangen, nachdem das Versuchsobjekt in einen Auffangbehälter eingebracht wurde. Die Volumenbestimmung erfolgt anhand der aufgefangen Massen im Vergleich zu einem geeichten Messbehälter (Ferraz et al., 2001).

Die Anwendung einer Volumen-Spektrometrie (Brown et al., 1995) stellt eine andere Möglichkeit dar. Die apikal ausgetretene Flüssigkeit (NaOCl) wird in einem Behälter mit destilliertem Wasser aufgefangen und dieses kann so anschließend mit einem Spektrometer auf die Konzentration von NaOCl untersucht werden. Durch eine Formel kann daraus auf das apikal überpresste Material umgerechnet werden.

### **1.3.2.2. Gewicht**

Die Bestimmung der apikalen Extrusion wird von Ferraz et al. (2001) beschrieben. Das überpresste Material wurde in einem mit destilliertem Wasser gefüllten Gefäß aufgefangen, einschließlich der am Zahn angehefteten Gewebereste. Um die Zähne zu trocknen, wurden die Gefäße fünf Tage bei 68°C gelagert und anschließend erfolgte die Gewichtsbestimmung mit einer elektrischen Waage.

### **1.3.2.3. Andere Methoden**

Indem Farblösungen zum Spülen verwendet werden, kann der apikale Bereich angefärbt werden. Zuvor muss der Zahn in Gips oder Gelatine eingebettet werden. Der gefärbte Bereich wird mittels eines Planimeters auf Farbdichtigkeit überprüft (Lee et al., 1991) und anschließend sollten die Ergebnisse schnellstmöglich photographisch dokumentiert werden, um die Aussage nicht zu verfälschen. Die Auswertung kann anhand einer Diareihung oder über Ausmessung der apikalen Anfärbung erfolgen.

## **1.4. Schlussbetrachtung**

Untersuchungen hinsichtlich der Effektivität verschiedener Spüllösungen und deren Nebenwirkungen bei falscher Anwendung wurden in der Literatur zahlreich beschrieben. In der modernen Endodontie sind Natriumhypochlorid und EDTA bezüglich einer Desinfektion der Kanäle und Auflösung von nekrotischem Gewebe am wirkungsvollsten einzuschätzen. Aber auch Kalziumhydroxid als medikamentöse Einlage stellt eine gute Alternative diesbezüglich dar. Untersuchungen hinsichtlich der Methode zur Wurzelkanalspülung lassen sich nicht ohne weiteres miteinander vergleichen. Zu groß sind die Differenzen zwischen den einzelnen Studien hinsichtlich der Auswahl des Untersuchungsmaterials, der Vorbereitung, der Anwendung der einzelnen Verfahren, der Methode zur Auswertung und schließlich der verwendeten Spüllösungen. Auch der Erfahrungsschatz eines jeweiligen Autors, mit dem einen oder anderen Gerät

umzugehen, darf nicht unterschätzt werden. Die neueren Methoden, wie die Anwendung von Lasern oder des RinsEndo<sup>®</sup>-Systems, werden stetig weiter entwickelt und klinische Studien diesbezüglich liegen noch nicht vor.

Eine effektive Desinfektionsmethode sollte also eine Spülung dabei unterstützen in möglichst viele Kanälchen des Wurzelkanalsystems vorzudringen, gleichzeitig aber nicht so viel Druck ausüben, dass es zu einer apikalen Extrusion der Flüssigkeit kommt.

### **1.5. Fragestellung**

Die vorliegende Arbeit soll zum einen die statische Lösungsapplikation und die konventionelle Handspülung einer Ultraschallspülung des Wurzelkanals (Piezon Master 400<sup>®</sup>) gegenüberstellen und die jeweilige zirkuläre und apikale Eindringtiefe der Spüllösung (Natriumhypochlorid) in das Dentin herausarbeiten. Andererseits soll eine mögliche apikale Extrusion durch die verwendeten Methoden bewertet werden. Die Studie soll klären, ob das ultraschallunterstützte Spülverfahren der altbewährten Technik überlegen bzw. gleichwertig ist.

## **2. Material und Methode**

### **2.1. Versuchssystematik**

Das Ziel des vorliegenden Versuchs war die Untersuchung der abschließenden Spülung im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung anhand zweier konventioneller und einer modernen Methode (Piezon Master 400®).

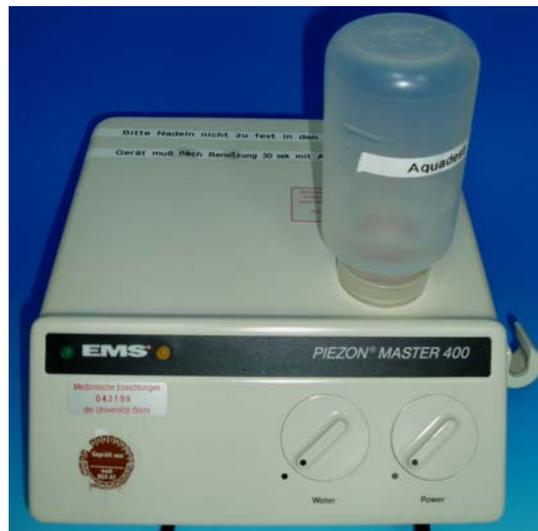
Die verwendeten Versuchspräparate bestanden aus 45 Zähnen, die, unabhängig von dieser Studie, als nicht erhaltungswürdig eingeschätzt und alio loco entfernt wurden. Es erfolgte zunächst eine Auswahl des Materials (s. 2.3. Auswahl des Untersuchungsmaterials). Anschließend wurde jedes Versuchsobjekt auf Höhe der Schmelz-Zement-Grenze dekapitiert, mit K-Feilen (Fa. VDW) bis ISO-Größe 30 aufbereitet und eine Volumenbestimmung des Kanalsystems durchgeführt (s. 2.3. Auswahl des Untersuchungsmaterials). Die Zähne wurden nun gleichmäßig auf drei Gruppen verteilt und in „Mini-Container“ der Fa. Eppendorf eingebettet, die zuvor mit Gelatine aufgefüllt worden waren (s. Abb. 4 und 2.5. Versuchsanordnung). Die weitere Versuchsdurchführung verlief gruppenweise. Als Spüllösung wurde jeweils Natriumhypochlorid mit einem Markerfarbstoff (s. 2.4. Farbstoffpenetrationstest) verwendet. Die Gruppen I und II dienten als Vergleichsgruppen (s. 2.5.2.2. Vergleichsgruppen). In Gruppe I wurde eine statische Lösung verwendet während Gruppe II mit einer manuell-dynamischen Spülung behandelt wurde. In Gruppe III wurde eine Ultraschallspülung mit dem Piezon Master 400® durchgeführt (s. 2.5.2.1. Der Piezon Master 400®). Sofort im Anschluss an die Versuchsdurchführung folgte eine photographische Dokumentation der Versuchsobjekte zur makroskopischen Bewertung (s. 2.6. Makroskopische Dokumentation). Unmittelbar danach wurden die Präparate mit dem Trenn-Schleif-System (Fa. Exakt) in Zahnquerschnitte (2, 4, 6 und 8 mm Entfernung vom Apex) verarbeitet, um sie anschließend anhand eines Auflichtmikroskopes mikroskopisch begutachten und photographieren zu können (s. 2.7. Weiterverarbeitung zur mikroskopischen Dokumentation und 2.8. Mikroskopische Dokumentation). Schließlich folgte die Auswertung der Ergebnisse mittels verschiedener Methoden (s. 2.9. Auswertung).

## 2.2. Verwendete Spülsysteme

### 2.2.1. Das Piezon Master System 400<sup>®</sup> zur Wurzelkanalinfektion und -reinigung

Das Piezon Master 400<sup>®</sup> System der Firma EMS ist ein Gerät, das 4 Systeme in sich vereint. Es findet Anwendung in der Endodontie, in der Prophylaxe und in der Parodontologie. Es besteht aus einem Ultraschall-Generator, einem Handstück, einem Flüssigkeitsbehälter und den jeweils benötigten Instrumenten. Der Generator arbeitet mit 32000 Schwingungen pro Minute (zwischen 15000 und 32000 Hz). Die Elektronik in SMD Technik (Surface Mounted Devices) wird von einem speziell programmierten Mikroprozessor gesteuert. Es werden keine Festanschlüsse für Wasser und Luft benötigt, sondern lediglich ein Stromanschluss.

Abb.: 2 : Piezon Master 400<sup>®</sup>



Für jedes Anwendungsgebiet gibt es ein spezielles Equipment, das durch eine Farbcodierung erkenntlich gemacht ist. Das Handstück kann über eine Schnellkupplung ausgewechselt werden und ist korrosionsstabil gegenüber aggressiven Flüssigkeiten. Ein zusätzlicher Wasserkreislauf ist nicht nötig. Die Intensität des Ultraschalls kann über „Power“ geregelt werden; eine Regelungsmöglichkeit besteht ebenfalls für die Flüssigkeitszufuhr.

Der Flüssigkeitsbehälter fasst 250 ml Inhalt und ist über einen Bajonettverschluss tropfsicher auszuwechseln und nachzufüllen. Generell können Feilgrößen von 15 bis 35 ISO verwendet werden. Der Hersteller empfiehlt aber im Rahmen der Wurzelkanalspülung nach jeder Aufbereitung kleine, feine Feilen der Größe ISO 15 zu verwenden. Diese sollen in größtmöglicher Tiefe ohne Klemmwirkung im Kanal platziert werden. Bei mittlerer Schwingungsintensität und einer maximalen Spülmenge von 50 ml/min wird die Spülflüssigkeit mit einem feinen Spray durch die oszillierende Feile bis zu deren Spitze transportiert. Der Winkel zwischen Handstück und Feile sollte zwischen 90° und 120° betragen.

Die Bedienung erfolgt über den Fußanlasser.

Laut Hersteller lassen sich folgende Spülflüssigkeiten verwenden (Tab.1)

Spülflüssigkeit	Minimale Konzentration	Maximale Konzentration
NaOCl	0,5%	2%
Zitronensäure	30%	40%
Kochsalzlösung	k. A.	k. A.
Aqua dest.	k. A.	k. A.
EDTA	k. A.	k. A.
Wasserstoffperoxid	k. A.	3%
Alkohol	70%	80%

Tab. 1: Darstellung der verwendbaren Spülflüssigkeiten und deren möglichen Konzentrationen.

Im Ablauf des Versuches stellt die Ultraschallspülung die Versuchsgruppe dar und wird als Gruppe III geführt.

### **2.2.2. Die statische Wurzelkanaldesinfektion**

Bei der statischen Desinfektionsmethode einer Wurzelkanalbehandlung soll die Wirkung der Desinfektion eines Kanals überwiegen und nicht etwa die mechanische Reinigung. Hierbei wird mit Hilfe einer Einmalspritze, die ein Volumen von 5 ml fasst, und einer orangen Kanüle ( $\varnothing$  0,5 x 25 mm) die desinfizierende Spüllösung vorsichtig in den Kanal geträufelt, so dass dieser gerade ausreichend gefüllt ist. Die Einwirkungszeit spielt in diesem Fall eine entscheidende Rolle, da die Lösung nicht nur im Hauptkanal wirken, sondern auch in die Seitenkanäle penetrieren sollte. Je länger eine Desinfektionslösung im Kanal verbleibt, umso sicherer ist eine Penetration in die Dentinkanälchen und umso größer ist ihre antibakterielle Wirkung im Kanalsystem. In der Literatur lassen sich diverse Angaben zwischen 30 s und 18 min hinsichtlich der Einwirkzeit finden. In dieser in-vitro Studie wurde nach Literaturrecherche (Lee et al., 1991; Turkunund Cengiz, 1997) eine Einwirkzeit von 3 Minuten gewählt. Auf eine längere Einwirkzeit wurde wegen fehlender Praxistauglichkeit verzichtet.

Die Lösung wird anschließend aus dem Kanal abgesaugt und dieser mit sterilen Papierspitzen getrocknet. Es handelt sich hierbei um eine sehr einfache Methode, die mit geringem Aufwand durchzuführen ist.

Die statische Lösungsapplikation dient in diesem Versuch als Vergleichsgruppe und wird im weiteren Verlauf als Gruppe I bezeichnet.

### **2.2.3. Die dynamische Wurzelkanaldesinfektion**

Es handelt sich bei dieser Methode um das derzeitige Standardverfahren, da es einfach und ohne weitere zusätzliche Geräte durchzuführen ist. Der Wurzelkanal wird über eine Einmalspritze und eine aufgesetzte Kanüle ( $\varnothing$  0,5 x 25 mm) gespült. Die Kanüle wird drucklos und ohne Klemmwirkung im unteren Drittel des Kanals platziert. Die Spüllösung wird mit einer definierten und gleichmäßigen Geschwindigkeit abgegeben. Die verwendbaren Spülflüssigkeiten sind frei wählbar.

Die manuell-dynamische Spülung wird in der weiteren Versuchsabfolge als Gruppe II aufgeführt.

### 2.3. Auswahl des Untersuchungsmaterials

Das Untersuchungsmaterial bestand zunächst aus 75 frisch extrahierten menschlichen Zähnen, die in physiologischer Kochsalzlösung mit einem Zusatz von 0,001‰ Natrium-Acid (Fa. Merck-Schuchardt Art. 822335) aufbewahrt wurden. Es wurden nur einwurzelige Zähne oder die palatinale Wurzel von Oberkiefermolaren verwendet, die - unabhängig von dieser Studie - nicht mehr erhaltungswürdig waren.

Als Zahnarten wurden obere Inzisivi, obere Canini, obere und untere Prämolaren und palatinale Wurzeln von Oberkiefermolaren ausgewählt. Einige Zähne konnten nicht in den Versuch mit einbezogen werden, da ihre Wurzelkanäle entweder bereits gefüllt oder obliteriert waren. Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass die Zähne kein offenes Foramen apikale aufwiesen und die apikale Krümmung nicht zu groß war (Schneider-Winkel < als 10 °).

Nachdem 30 Zähne aufgrund der zuvor genannten Ausschlußkriterien verworfen werden mussten, verblieben insgesamt 45 Zähne. Um möglichst vergleichbare Gruppen zu erhalten, wurden die Volumina der einzelnen Kanäle überprüft. Hierfür erfolgte eine Messung des Gewichtes der Zähne ohne und mit destilliertem Wasser. Die Gewichts Differenz entspricht dem Volumen in Millilitern.

Die Aufteilung der Zähne erfolgte randomisiert, so dass jede Gruppe folgende Zähne enthält:

- 3 x Oberkiefer 1 er
- 2 x Oberkiefer 2 er
- 2 x Oberkiefer 3 er
- 4 x Prämolaren (Ober- und Unterkiefer)
- 4 x palatinale Wurzeln oberer Molaren

### 2.4. Farbstoffpenetrationstest

Die 2%ige NaOCl-Spülung, die zur Reinigung der Kanäle angewandt wurde ist farblos. Um sie sowohl für den Beweis der apikale Extrusion als auch für die zirkuläre Penetration in die Dentinkanälchen sichtbar zu machen, musste der Lösung ein

Farbstoff zu gesetzt werden, der weder die Eigenschaften noch die Wirkung von NaOCl beeinflusst, das Dentin aber anfärbt.

In einem Vorversuch wurden zwei verschiedene Farbstoffe in unterschiedlichen Konzentrationen getestet. Die Konzentration von NaOCl wurde aufgrund von bereits veröffentlichten Studien auf 2% festgelegt. Als Farbstoffproben wurden Toluidinblau (Fa. Merck) und Säurefuchsin (Fa. Merck) verwendet. Toluidinblau kam für den Versuch nicht in Frage, da es in jeder angewendeten Konzentration ausfiel.

Auch bei der Anwendung von 0,63 g , 1,25 g und 2,5 g Säurefuchsin gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl kam es zur Ausfällung, bei 5 g und 10 g Säurefuchsin gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl gab es keine Ausfällung mit guter Anfärbung des Dentins (Abb. 4).

Aufgrund dieser Versuchsergebnisse wurde für die eigentliche Studie 100 ml 2%iges NaOCl mit 5 g Säurefuchsin verwendet.

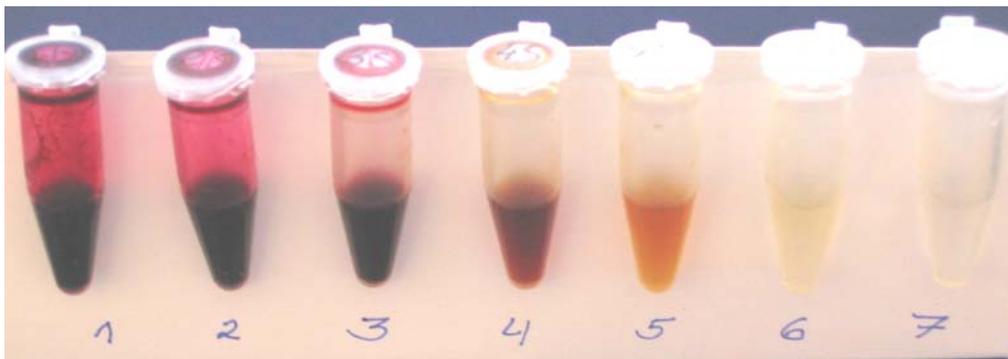


Abb. 3: Ermittlung der möglichen Konzentration von Säurefuchsin.

Konzentrationen: Präparat 1=10 g; 2=5 g; 3=2,5 g; 4=1,25 g; 5=0,63 g; 6=0,31 g; 7=0,16 g in 100 ml 2%igem NaOCl. Es ist zu erkennen, dass es bei einer Konzentration von 10 bzw. 5 g Säurefuchsin zu einer Anfärbung ohne Ausfällung kam. Bei 2,5 g, 1,25 g und 0,625 g konnte eine Ausfällung festgestellt werden; bei den geringen Konzentrationen fand keine Anfärbung statt. Aufgrund dieses Ergebnisses wurde eine Säurefuchsinkonzentration von 5 g gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl gewählt.

## **2.5. Versuchsanordnung**

### **2.5.1. Vorbereitung des Untersuchungsmaterials**

Die Zähne wurden zunächst bis zur eigentlichen Versuchsdurchführung in Minicontainern der Firma Eppendorf in 0,9%iger Kochsalzlösung mit 0,001‰ Natrium-Acid aufbewahrt. Als erstes wurde die Zahnkrone aller Zähne auf Höhe der Schmelz-Zement-Grenze mit einem Ledge Diamanten der Fa. Komet (Gebr. Brasseler GmbH & Co KG) unter Wasserkühlung von 50 ml pro Minute abgetrennt. Wurzelgefüllte Zähne wurden bereits hier verworfen. Pulpales Restgewebe wurde mit Exstirpationsnadeln (Fa. VDW) entfernt. Es folgte eine Wurzelkanalaufbereitung der verbliebenen Zähne. Zunächst wurde hierfür anhand von K-Feilen der ISO-Größe 10 (Fa. VDW) die Arbeitslänge durch optische Beurteilung der Feilenlänge bis zum sichtbaren physiologischen Apex festgelegt. Anschließend wurden die Kanaleingänge 2 mm tief mit Gates-Bohrern (Fa. VDW) in den Größen 2, 4 und 6 erweitert. Die eigentliche Aufbereitung wurde mit K-Feilen (Fa. VDW) der ISO-Größen 10, 15, 20, 25 und 30 bis 1 mm vor den anatomischen Apex durchgeführt. Je maximal 5 Zähne wurden mit einer Feile bearbeitet, wobei nur gerade Feilen verwendet und verbogene direkt entsorgt wurden. Nach jeder Feile folgte eine 2%ige NaOCl Spülung über eine 5 ml Spritze (BD Discardit II). Die Masterfeile war bei allen Zähnen eine K-Feile der ISO-Größe 30. Im Anschluss wurde die Step back Technik um 3 weitere ISO-Größen (bis ISO-Größe 45) angewendet.

Um die verbliebenen 45 Zähne gleichmäßig in vier Gruppen aufteilen zu können, wurde zusätzlich eine Volumenmessung durchgeführt und von jedem Zahn ein Röntgenbild angefertigt, so dass sich in jeder Gruppe Zähne mit gleichem Kanalvolumen und gleichem Krümmungswinkel (Schneider-Winkel) befinden.

Für die Volumenmessung wurde eine herkömmliche Waage benutzt. Als Halteeinrichtung während des Wiegevorgangs diente ein kleiner Plastikbehälter und Plastilin. Nach jeder Messung erfolgte eine Eichkontrolle; der Behälter wurde auf Wasserreste und der Zahn auf Plastilinreste überprüft.

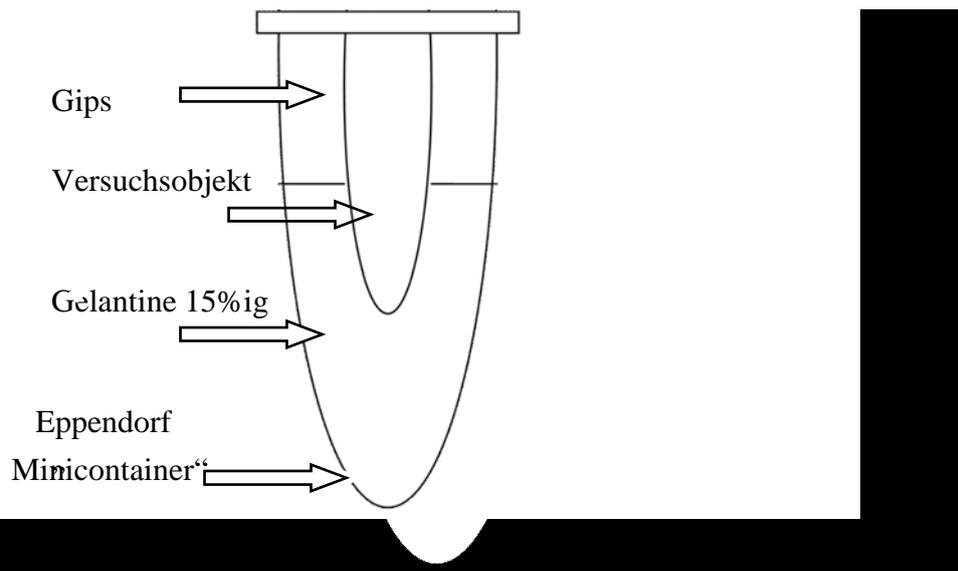


Abb. 4

Als Behälter für die dekapitierten Zähne diente ein „Mini-Container“ der Firma Eppendorf. Der untere Teil wurde in 15%ige Gelatine eingebettet, der obere Freiraum wurde mit Gips ausgefüllt. Ein glatter Übergang zwischen Zahn und Eppendorfgefäß sollte erreicht werden.

Für die eigentliche Volumenmessung wurden die Zähne mit je 5 Papierspitzen ISO-Größe 30 getrocknet, gewogen und anschließend folgte jedes Mal eine Eichung des Behälters auf 0 Gramm. Mittels einer Spritze und einer Kanüle wurde nun der Kanal außerhalb der Waage tropfenweise bis auf Höhe des Kanaleingangs mit Aqua dest. aufgefüllt. Hierbei entstandene Blasen konnten mit Hilfe von K-Feilen der ISO-Größe 10 beseitigt werden. Es erfolgte ein erneutes Wiegen des Zahnes. Die Gewichts-differenz der beiden Wiegevorgänge wurde berechnet und konnte aufgrund der Verwendung von Aqua dest. mit dem Volumen des Kanals gleichgesetzt werden.

Zusätzlich wurden alle Zähne in zwei Ebenen mit einem digitalen Röntgengerät geröntgt. Dies war erforderlich, da alle Zähne möglichst den gleichen Krümmungswinkel aufweisen sollten. Die Röntgenaufnahmen erfolgten unter standardisierten Bedingungen. Als Strahlenquelle diente ein Dentalröntgengerät mit Langtubus (Fa. Siemens) mit einer Belichtung von 60 kV und 2,81 mAs. Der digitale Film lag in einem Abstand von ca. 5 cm senkrecht vor dem Tubus, die einzelnen Zähne wurden direkt auf dem digitalen Filmsensor platziert und mit Hilfe einer Vorrichtung aus Plastilin in der richtigen Position gehalten. Die Zähne wurden in zwei im 90° Winkel zueinander

stehenden Ebenen geröntgt. Die Auswertung wurde anhand des Digora 2.0 Computer-Programms (Fa. Soredex) durch Errechnen des Schneider-Winkels durchgeführt. Alle gemessenen Schneider-Winkel waren kleiner als  $10^\circ$ .

Anschließend folgte die Gruppeneinteilung wie unter 2.4. beschrieben. Zwischen den einzelnen Arbeitsschritten wurde die Zähne in 0,9%iger Kochsalzlösung und einem Zusatz von Natrium-Acid kühl gelagert. Das Einbetten der Zähne erfolgte in Laborgefäßen der Firma Eppendorf, sog. „Mini-Container“, wobei der dekapitierte Zahn mit dem oberen Rand des Kunststoffgefäßes abschloss, so dass der Apex in der Gelatine gut gefasst werden konnte und nicht den Boden des Gefäßes berührte (Abb. 4).

Zur Weiterverarbeitung wurden die Zähne nun zur Simulation parodontaler Gewebe in Gelatine (15 g Gelatine gelöst in 100 ml Aqua dest.; Fa. Merck) mit einem Zusatz von 0,001‰ Natrium-Acid (Fa. Merck-Schuchard) eingebettet, so dass 5 mm des Apex gefasst waren. Um eine Kontaminierung des Kanals mit Gips zu verhindern wurde Plastilin über Zahn gespannt. Bis die Gelatine ausgehärtet war musste der Zahn in der entsprechenden Position fixiert werden. Hierfür wurde eine Folie (Parafilm<sup>®</sup> -M, Fa. Brand GmbH & Co KG) über Zahnwurzel und „Mini-Container“ gespannt.

Zunächst sollten nun die oberen 2/3 Zahnes, die nicht von Gelatine gefasst war, mit fließfähigem Kunststoff in dem Eppendorfgesäß fixiert werden, doch in einem Vorversuch konnte festgestellt werden, dass sich der Kunststoff während des Abbindevorgangs auf  $60^\circ\text{C}$  bis  $90^\circ\text{C}$  erhitzt, woraufhin es zu einer Verflüssigung der Gelatine und dadurch zu einem Absinken des Zahnes kommen könnte. Aus diesem Grund wurde bei der eigentlichen Versuchsdurchführung Hartgips (BonDur S blau, Fa. Wiegmann Dental) verwendet. Dieser schnell härtende Gips wurde in einem Verhältnis von 1:3 Wasser zu Pulver angerührt und mit Hilfe einer 5 ml Spritze vorsichtig in den verbliebenen Freiraum eingebracht, wobei der Wurzelkanal mit Plastilin geschützt wurde. Die Oberfläche des Gipses und der Übergang zum Zahn und zum Eppendorfgesäß wurden mit Klarlack versiegelt, um ein Durchsickern von Spülflüssigkeit an dieser Stelle zu verhindern, was das Versuchsergebnis verfälschen würde.

Um ein Austrocknen des Kanals bis zur weiteren Versuchsdurchführung zu verhindern, wurde der Kanal schließlich über eine Einmalspritze (BD Discardit II) und einer orangen Kanüle (Fa. Sterican,  $\varnothing$  0,5 x 25 mm) mit destilliertem Wasser bis zum Kanaleingang

gefüllt und im Kühlschrank gelagert. Die Gelatine konnte eine Woche im Kühlschrank aufbewahrt werden.

### **2.5.2. In-vitro-Versuchsdurchführung**

Die Versuche wurden von einem Behandler unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Die dynamische und die statische Finalspülung dienten als Vergleichsgruppen für die Abschluss-Spülung mit dem Ultraschallgerät. Die zeitliche Abfolge der einzelnen Versuchsdurchführungen war identisch, d.h. unmittelbar nach Beendigung eines Arbeitsschrittes folgte die Durchführung des nächsten Schrittes.

#### **2.5.2.1. Piezon Master 400<sup>®</sup>**

Durch bereits erfolgte in-vitro Studien mit dem Piezon Master 400<sup>®</sup> konnte über Literaturhinweise (Lee et al., 1991) eine Spüldauer von 3 Minuten festgelegt werden. Es wurden alle Kanäle der Zähne der 3. Versuchsgruppe über einen Zeitraum von 3 Minuten mit der Spülung aus 100 ml 2%igem NaOCl und dem Farbzusatz von 5 g Säurefuchsin gespült, wobei gleichzeitig mit einem chirurgischen Sauger abgesaugt wurde. Dies entsprach insgesamt eine Spülmenge von 150 ml. Die Spülung wurde von einem Behandler durchgeführt und erfolgte unter einer gleichmäßigen Flüssigkeitsabgabe und leichten Auf- und Abwärtsbewegungen, um ein Verkeilen der Nadel im Kanal zu verhindern. Anschließend wurde jeder Kanal mit jeweils 5 Papierspitzen der ISO-Größe 30 (Fa. VDW) getrocknet, so dass davon ausgegangen werden konnte, dass der Kanal keine Restflüssigkeit mehr enthielt und trocken war. Es folgte eine sofortige photographische Dokumentation der eventuellen Farbstoffpenetration und schließlich die Weiterverarbeitung für die mikroskopische Auswertung.

## **2.5.2.2. Vergleichsgruppen**

### **2.5.2.2.1. Die statische Spülung**

Die Kanäle der Zähne der Gruppe 1 wurden nicht dynamisch gespült, sondern es erfolgte eine statische Lösungsapplikation. Hierfür wurden die Kanäle über eine 5 ml Spritze und einer orangen Kanüle ( $\varnothing$ : 0,50 x 25 mm) tropfenweise mit der Versuchslösung aus 2%igem NaOCl und Säurefuchsin (5 g Säurefuchsin gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl) bis zum Kanaleingang aufgefüllt wurden. Die Applikation erfolgte mit leichten Auf- und Abwärtsbewegungen so tief wie möglich, ohne allerdings eine Klemmwirkung zu bewirken. Dabei entstandene Luftblasen konnten mit K-Feilen der ISO-Größe 10 (Fa. VDW) beseitigt werden. Eine Überinstrumentierung wurde hierbei durch einen angebrachten Silikonstop verhindert, der 1 mm kürzer als die AAT angebracht war. Die Desinfektionslösung wurde für drei Minuten in dem Kanalsystem belassen, anschließend mit einem chirurgischen Sauger abgesaugt und ebenfalls mit jeweils 5 Papierspitzen der ISO Größe 30 (Fa. VDW) getrocknet. Auch hier wurde das Ergebnis sofort photographisch festgehalten und für die mikroskopische Untersuchung vorbereitet.

Die Dauer dieses Versuchsabschnittes von drei Minuten wurde frei gewählt und sollte lediglich dem Vergleichsversuch mit Piezon Master 400<sup>®</sup> angepasst sein.

### **2.5.2.2.2. Manuell-dynamische Spülung**

Um die durchschnittliche Spüldauer einer manuell-dynamischen Spülung von 5 ml mit gleichmäßiger Geschwindigkeit zu ermitteln, war ein Vorversuch nötig. Hierbei wurde von zwei Behandlern 10 Spüldurchgänge einer 5 ml Einmalspritze mit einer orangen Kanüle ( $\varnothing$ : 0,50 x 25 mm) durchgeführt. Die Durchschnittszeit betrug eine Minute und wurde als Maßstab angenommen.

Der eigentliche Versuch wurde von einem Behandler ausgeführt. Als Spüllösung dienten je 5 ml 2%iger NaOCl-Lösung mit einem Zusatz von Säurefuchsin (5 g Säurefuchsin gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl). Jeder Wurzelkanal der Gruppe II wurde mit gleichmäßiger Geschwindigkeit über einen Zeitraum von 1 Minute gespült und es wurde

darauf geachtet, dass die Kanüle möglichst tief in den Kanal reichte. Dabei kam es zu keiner Klemmwirkung der Kanüle im Kanal. Zusätzlich wurden leichte Auf- und Abwärtsbewegungen durchgeführt. Die überlaufende Spülflüssigkeit wurde parallel zur Versuchsdurchführung mit einem chirurgischen Sauger abgesaugt. Es folgte eine Trocknung mit Papierspitzen der ISO-Größe 30 (Fa. VDW). Die photographische Dokumentation und die Auswertung erfolgten analog zu den ersten beiden Versuchsgruppen.

## **2.6. Makroskopische Dokumentation**

Direkt nachdem eine Gruppe von Zähnen gespült und mit Papierspitzen getrocknet worden war, wurde sie mit einem Film der Firma Fuji (ISO 100; Super Fine Grain, Day Light) über eine Kamera der Firma Nikon (Provia 100F) als 1:1 Aufnahme photographiert. Als Messlehre diente ein Lineal, um eine genaue Größenwiedergabe zu erhalten.

Es war entscheidend, dass das Ergebnis sehr schnell nach Versuchsdurchführung festgehalten wurde, so dass nicht noch weiter Flüssigkeit penetrieren konnte, die nicht mehr direkt in Verbindung mit dem Spülvorgang stand.

Anhand der Photos sollte festgestellt werden, ob es zu einer apikale Extrusion gekommen war oder nicht. Die eigentliche Auswertung erfolgte durch eine Diareihung von 12 objektiven Begutachtern.

## **2.7. Weiterverarbeitung zur mikroskopischen Dokumentation**

Nach der makroskopischen Dokumentation wurden die Präparate mit einem handelsüblichen Sekundenkleber auf einen Objektträger geklebt. Mit einem Trennschleif-System (Fa. Exakt) wurden 2, 4, 6, 8 und 10 mm Querschnitte der Zähne, vom anatomischen Apex aus gemessen, in den Eppendorfgläsern vorgenommen. Dies erfolgte unter Wasserkühlung und unter Berücksichtigung der Herstellerangaben.

Jeweils ein Schnitt wurde auf einen Objektträger, der mit der Nummer des Zahnes und der Schnittgröße beschriftet war, für die mikroskopische Dokumentation vorbereitet.

## **2.8. Mikroskopische Dokumentation**

Es folgte eine mikroskopische Auswertung der Schnitte. Hierbei wurde jeder Objektträger einzeln unter einem Auflichtmikroskop (Fa. Wild Heerberg 0,4x Stereo 40/14) bei 18facher und 33facher Vergrößerung betrachtet. Zur Dokumentation diente eine am Mikroskop installierte Photokamera (Wild MPS 45 Photoautomat). Die Eichung des Mikroskops auf eine 18fache bzw. 33fache Vergrößerung erfolgte über eine skalierte Messplatte der Firma Wild (Seriennummer: 310345).

## **2.9. Auswertung**

In der Versuchsdurchführung sollten auf zwei entscheidende Aspekte eingegangen werden.

Zunächst wurde eine „Ja/Nein“-Entscheidung zur apikalen Extrusion der Spüllösung getroffen und anschließend folgte eine Diareihung der Extrusion in absteigender Reihenfolge von 12 objektiven Betrachtern.

Eine weitere Auswertung des Versuches umfasste die zirkuläre Ausdehnung der Spüllösung im Dentin.

### **2.9.1. Apikale Extrusion**

#### **2.9.1.1. „Ja/Nein“-Entscheidung**

Es wurde eine „Ja/Nein“-Entscheidung hinsichtlich einer apikalen Extrusion getroffen. Zunächst erfolgte eine Bewertung mit bloßem Auge und anschließend auch mit dem Lichtmikroskop. Eine „Ja“-Entscheidung lag vor, wenn im periapikalen Bereich eine rote

Anfärbung sichtbar war. Eine „Nein“-Entscheidung wurde gefällt, wenn analog dazu keine rote Anfärbung im periapikalen Bereich festzustellen war.

### **2.9.1.2. Rangfolge**

Die apikale Extrusion wurde mit Hilfe einer Diareihung beurteilt. Hierfür bewerteten 12 objektive Testpersonen die Präparate anhand von Dias, die die apikale Situation unmittelbar nach der Versuchsdurchführung darstellten. Die Testpersonen wurden angewiesen, eine Rangfolge gemäß der Größe der apikalen Anfärbung zu treffen. Präparate ohne eine apikale Anfärbung wurden nicht mit einbezogen, so dass 16 Dias bewertet werden konnten. Die Rangfolge reichte von Rang 1, was der kleinsten apikalen Anfärbung entsprach bis Rang 16, was die größte apikale Anfärbung darstellte. Die Dias waren zufällig zur späteren Auswertung nummeriert (1-16), so dass die Beurteilung der Testpersonen nicht beeinflusst wurde. Die 12 einzelnen Ergebnisse wurden zu einem Ergebnis kombiniert. Hierzu wurden für jedes Präparat die Produkte aus Platzierung und Anzahl der jeweiligen Platzierungen addiert. Aus diesen Summen wurde die Rangfolge nach der Größe der errechneten Summe erstellt, wobei die kleinste Summe der geringsten Überpressung und die größte Summe der größten Überpressung entsprach (s. Tab. 2).

### **2.9.2. Eindringtiefe in das Dentin**

Um die Penetration der Spüllösung in das zirkuläre Dentin bewerten zu können, mussten die Dias der 2, 4, 6, 8 und 10 mm Schnitte über einen Diaprojektor mit einem festgelegtem Abstand (2 m) auf die Leinwand projiziert und begutachtet werden. Die Umrechnung erfolgte anhand einer ebenfalls mit fotografierten Messlehre (Vergrößerung 18fach und 33fach). Bei 18facher Vergrößerung entsprachen 14 cm auf der Leinwand 1 mm auf der Messskala. 25 cm auf der Leinwand ergaben 1 mm auf der Skala bei 33facher Vergrößerung.

Die Penetrationstiefe der einzelnen Schnitte wurde sowohl in oral-vestibulärer als auch in mesial-distaler Richtung ausgemessen.

Als weitere Auswertung wurde die relative Eindringtiefe bezogen auf die Dentinstärke dargestellt. Als Ergebnisse ergaben sich: „keine Anfärbung“ (= kein Eindringen in die Dentinwand), „Wand“ (= Eindringen an den Rand der luminalen Kanalwand), „< 50%“ (= Eindringtiefe bis zur Hälfte des Wurzelkanaldentins) und „> 50%“ (= Eindringtiefe, die über die Hälfte des Wurzelkanaldentins übersteigt). Zur Auswertung wurde die 50% Grenze bezogen auf die Dicke der Wurzelkanalwand festgelegt. So war es möglich die einzelnen Gruppen untereinander, aber auch die verschiedenen Schnitthöhen und Penetrationsrichtungen zu vergleichen.

### **2.9.3. Erfassung klinischer Aspekte**

Die apikale Extrusion wurde in der in-vitro Versuchsdurchführung als klinischer Parameter erfasst und als „Ja/Nein“-Entscheidung dokumentiert.

Um eine Aussage bezüglich der Quantität zu schaffen, wurde die Ausdehnung der apikale Extrusion durch eine Diareihung objektiver Betrachter der Größe nach geordnet.

### **2.9.4. Statistische Auswertung der Ergebnisse**

Die statistische Auswertung erfolgte anhand des Computerprogramms SPSS für Windows 10.0 (Fa. SPSS Inc.). Um die verschiedenen statistischen Test durchführen zu können, wurde zunächst eine Ergebnistabelle in SPSS erstellt. Anschließend folgte eine Beurteilung der Normalverteilung mit dem Shapiro Wilk-Test.

Da sowohl die oro-vestibuläre als auch die mesio-distale Richtung gemessen wurde, musste beurteilt werden, ob in der weiteren Bewertung eine gemeinsame Messrichtung angewendet werden konnte oder ob eine getrennte Auswertung erfolgen musste. Hierfür wurde der Mann-Whitney-U-Test angewendet. Es handelt sich um einen nichtparametrischen Test, der aussagt, ob zwei unabhängige Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen.

Der Wilcoxon-Test diente der Beurteilung der Ergebnisse der zirkulären Eindringtiefe. Der Wilcoxon-Test ist ein nichtparametrischer Test für nicht normalverteilte Werte und ermöglicht die Überprüfung, ob zwei verbundenen Variablen dieselbe Verteilung haben. Von den Ergebnissen der „Ja/Nein“-Entscheidung und von den Ergebnissen der „relativen Eindringtiefe bezogen auf die Dentinstärke“ wurden Kreuztabellen angelegt und diese anschließend anhand des Chi-Quadrat-Tests statistisch analysiert. Der Chi-Quadrat-Test überprüft die Annahme, dass Zeilen- und Spaltenvariablen unabhängig sind, ohne dass dabei die Stärke oder die Richtung der Beziehung angegeben wird (s. 7.2.2. Statistische Test).

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Makroskopische Befunde

##### 3.1.1. Apikale Extrusion

Als wichtiger Aspekt einer Wurzelkanalspülung wurde die apikale Extrusion dokumentiert, wie es auch andere Autoren in verschiedenen Studien bereits beschrieben. Es konnte eine Situation ähnlich dem periapikalen Gewebe geschaffen werden, indem im apikalen Bereich Gelatine verwendet wurde. Dies ermöglichte zusätzlich eine photographische Dokumentation. Die Beurteilung der apikalen Extrusion erfolgte auf zwei verschiedenen Wegen. Bezüglich des Vorhandenseins einer apikalen Extrusion wurde zunächst eine „Ja/Nein“-Entscheidung getroffen. Mit bloßem Auge sichtbare Anfärbungen der Gelatine im periapikalen Bereich wurde mit „Ja“ gewertet. War keine Anfärbung sichtbar wurde eine „Nein“-Entscheidung gefällt.

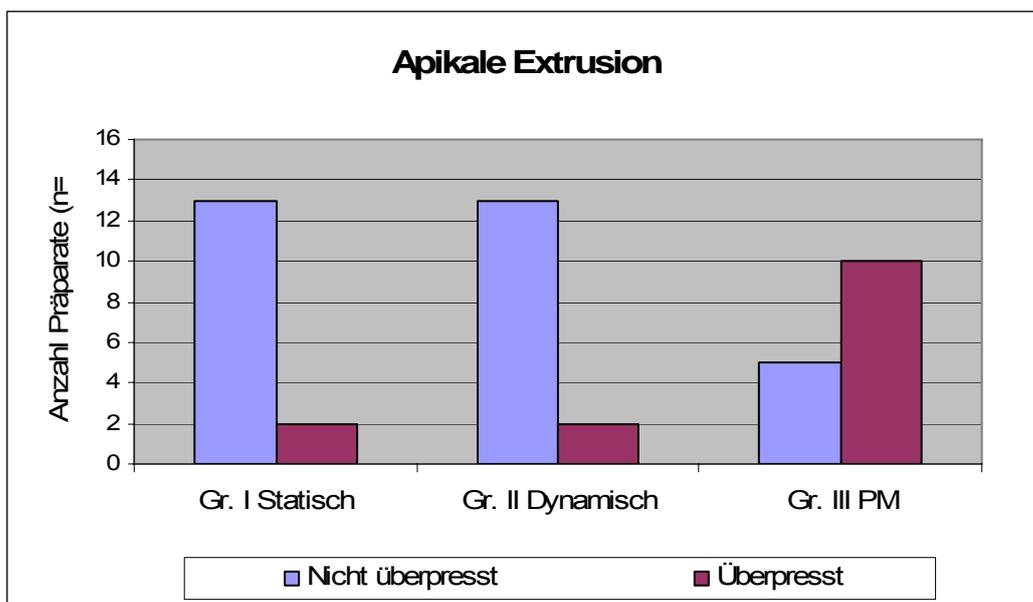


Abb. 5: Apikale Extrusion der Spüllösung in drei verschiedenen Gruppen. Ein offensichtlicher Unterschied zwischen den beiden Kontrollgruppen (I = statische Lösung und II = dynamische Spülung) und der Testlösung (III = Piezon Master 400<sup>®</sup>) ist zu erkennen.

In Gruppe I (statische Lösung) wiesen nur zwei Präparate (13,3%; n = 14) eine apikale Extrusion auf. Ebenso verhielt sich die Situation (13,3%; n = 15) in Gruppe II (dynamische Spülung). Gruppe III (Piezon Master 400<sup>®</sup>) dagegen zeigte eine apikale Extrusion in 10 Fällen (66,6%, n = 15). (siehe Abb. 5). Die Ergebnisse wurden auf statistische Signifikanz untersucht und erwiesen sich als statistisch signifikant (s. 7.2.2.2. Statistik für apikale Extrusion, Tab. 13 und 14).

Nachdem die Zähne aus den Versuchsbehältern ausgebettet worden waren, konnte die apikale Region mit bloßem Auge auf eine sichtbare Anfärbung überprüft werden. Das Foramen apikale wurde bei 18facher Vergrößerung unter dem Stereomikroskop untersucht und ebenfalls mit einer „Ja/Nein“-Entscheidung dokumentiert. Die „Ja“-Entscheidung wurde getroffen, sobald eine rote Verfärbung im Bereich des Foramen apikale erkennbar war; analog dazu eine „Nein“-Entscheidung sobald keine Anfärbung sichtbar war. Die Ergebnisse der ersten makroskopischen Auswertung konnten durch die mikroskopische Untersuchung vertieft werden.

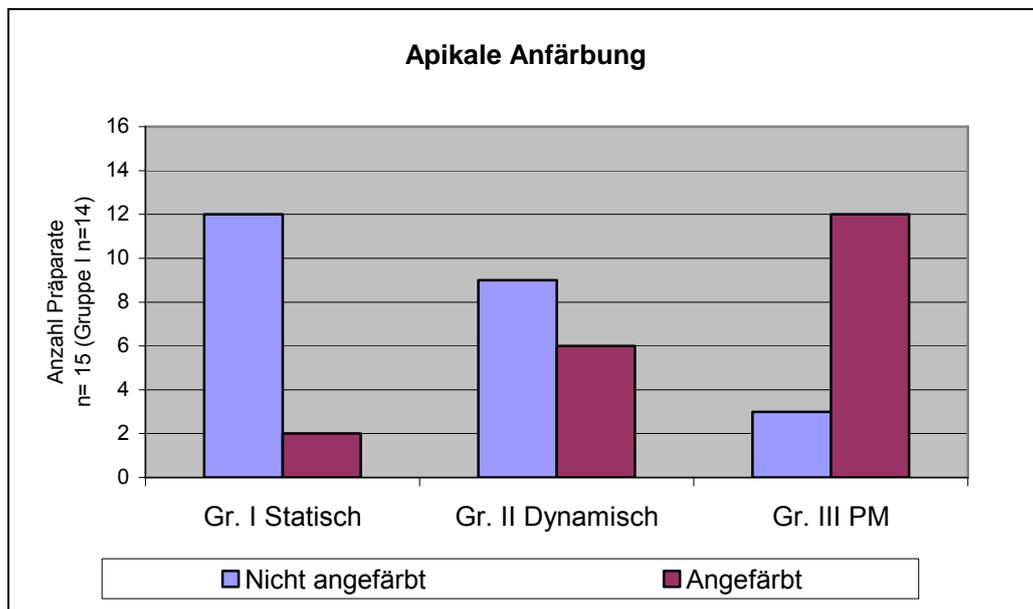


Abb. 6: Anfärbung des Foramen apikale nach mikroskopische Begutachtung.

In Gruppe I (statische Lösung) sind 2 Apices angefärbt, ein Präparat war nicht verfügbar. In Gruppe II (dynamische Spülung) waren 6 Apices angefärbt. In Gruppe III (Testlösung) konnten 12 angefärbte Apices erkannt werden.

In Gruppe I änderte sich die Situation nicht, während in Gruppe II eine Veränderung zugunsten der Anfärbung stattfand. Statt 12 nicht überpressten Präparaten waren nach mikroskopischer Betrachtung neun Präparate nicht angefärbt (60%; n = 15). In Gruppe III erfolgte ebenfalls eine Verschiebung zugunsten der Anfärbung. Hier waren 12 Präparate angefärbt, also 2 mehr als bei der ersten Untersuchung (s. Abb. 6). Anhand der Werte wurde eine statistische Auswertung mit dem Chi-Quadrat-Test n. Pearson durchgeführt und es zeigte sich ein statistische Signifikanz (s. 7.2.2.3. Statistik für die apikale Anfärbung, Tab. 15 und 16).

### **3.1.2. Rangfolge**

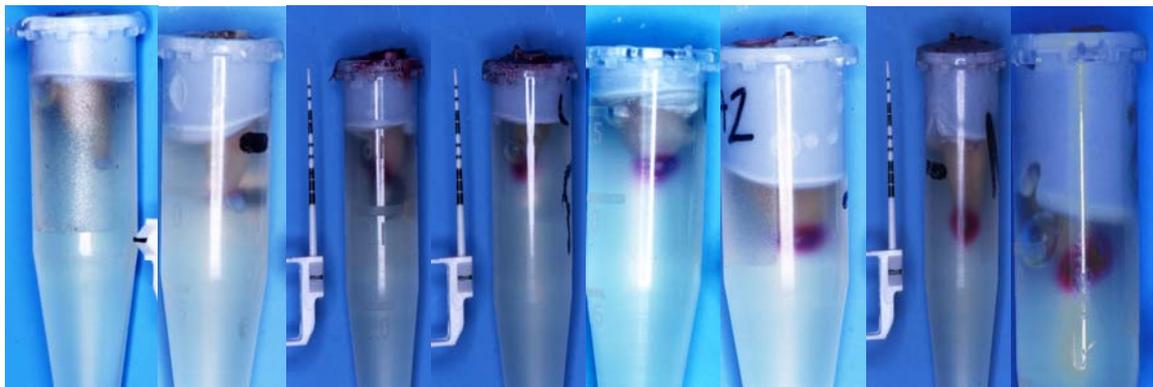
Zur weiteren Spezifizierung der Ergebnisse der apikale Extrusion, wurde eine Diareihung durchgeführt, mit dem Ziel eine Rangordnung nach der Größe der apikale Extrusion festzulegen. In die Reihung wurden nur Präparate miteinbezogen, die auch eine apikale Anfärbung aufwiesen, so dass 16 von 45 Präparaten integriert wurden. Die Diareihung erfolgte durch Personen, die nicht am Versuch beteiligt waren (s. 2.9.1.2. Rangfolge).

Betrachtet man die Ergebnisse in Tabelle 2, so ist deutlich zu erkennen, dass Gruppe III gehäuft in den oberen Rängen zu finden ist, d.h. in den Bereichen, in denen sich eine größere apikale Extrusion ereignete. Somit kann bedingt eine Aussage bezüglich der quantitativen Ausmaße der Extrusion getroffen werden. Neben der Tatsache, dass die Extrusion am häufigsten in Gruppe III statt gefunden hat, ist gleichzeitig die quantitativ größte apikale Extrusion in dieser Gruppe festzuhalten.

		<b>Rang</b>	<b>Präparat</b>	<b>Gruppe</b>
Kleinste Extrusion	apikale	1	32	<i>II</i>
		2	84	<i>III</i>
		3	87	<i>III</i>
		4	47	<i>I</i>
		5	42	<i>II</i>
		6	61	<i>III</i>
		7	23	<i>I</i>
		8	4	<i>II</i>
		9	85	<i>III</i>
		10	64	<i>III</i>
		11	82	<i>III</i>
		12	70	<i>III</i>
Größte Extrusion	apikale	13	16	<i>III</i>
		14	28	<i>III</i>
		15	66	<i>III</i>
		16	49	<i>III</i>

Tab. 2: Rang 1 = kleinste apikale Extrusion; Rang 16 = größte apikale

Extrusion. Die Tabelle zeigt ausschließlich Präparate, die eine Extrusion aufwiesen; n = 15 in jeder Gruppe; Gruppe I = statische Lösungsapplikation; Gruppe II=manuell-dynamische Spülung; Gruppe III = Piezon Master 400®.



25

32

84

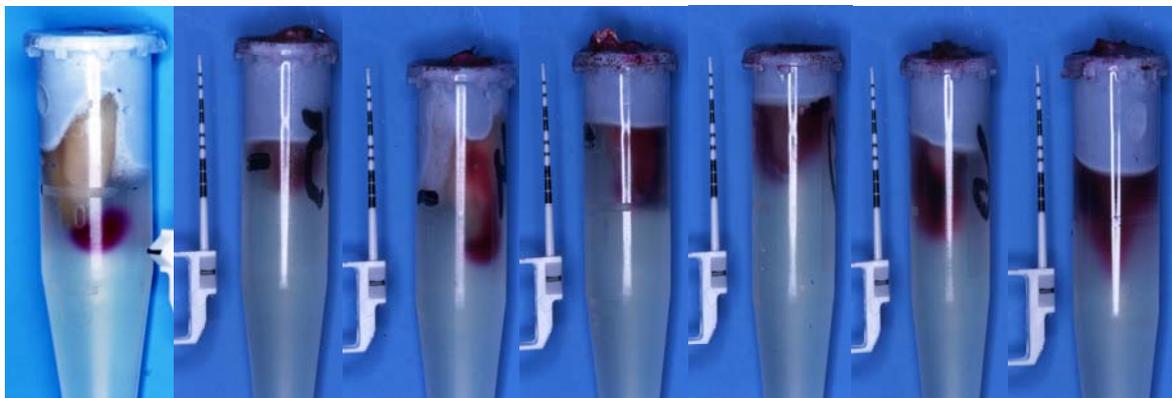
87

47

42

61

23



4

85

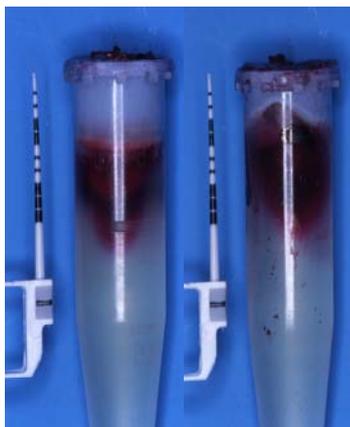
64

82

70

16

28



66

49

Abb. 7: Darstellung der Versuchspräparate nach der Reihenfolge der Größe der apikalen Extrusion. Präparat 25 diente den Versuchspersonen als Beispiel für keine apikale Extrusion.

## 3.2. Mikroskopische Ergebnisse

### 3.2.1. Eindringtiefe auf verschiedenen Schnittebenen

Die Ergebnisse wurden auf vier verschiedenen Schnittebenen (zwei, vier, sechs und acht Millimeter vom anatomischen Apex entfernt) untersucht und beurteilt. Es wurden jeweils die Penetrationstiefen der gefärbten Spüllösung in zirkulärer Richtung gemessen. Die Messung erfolgte sowohl in mesio–distaler als auch in oro–vestibulärer Ausdehnung. Die beiden Messrichtungen wurden anhand des Mann-Whitney-U-Tests untersucht und es konnte festgestellt werden, dass beide aus der gleichen Grundgesamtheit stammen, da keine signifikanten Unterschiede der Orientierung vorlagen (s. 7.2.2.1. Statistik für die Orientierung der Messrichtung; Tab. 12).

In vielen Studien wurde die Eindringtiefe nach apikal überprüft. Kombiniert man die apikale Eindringtiefe mit der zirkulären Penetration in die Dentinkanälchen, kann man eine weitere Aussage über die Qualität der verschiedenen Eindringtiefen treffen. Es wurde hierbei keine absolute Aussage bezüglich der apikalen Eindringtiefe gemacht, sondern die Schichtebene zwei Millimeter als Maximum der Eindringtiefe der Spüllösung angenommen, um das zirkuläre Dentin zu beurteilen.

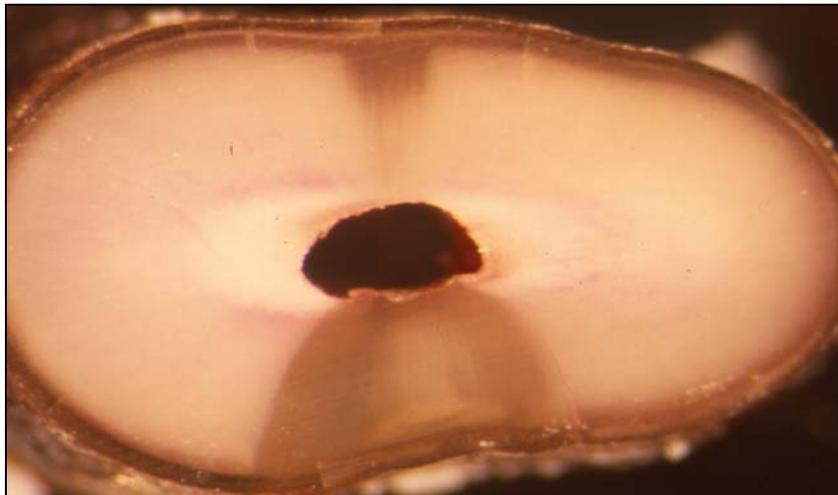


Abb. 8: Darstellung der Eindringtiefe der Spüllösung in das periapikale Dentin (Präparat Gruppe III; Piezon Master 400®). Der rosa angefärbte Bereich zeigt die penetrierte Lösung in den Dentintubuli.

Es ist zu erkennen, dass im Vergleich der Schnittebenen untereinander, innerhalb jeder Gruppe, die Penetrationstiefe auf der Schnittebene acht Millimeter in allen Gruppen am größten ist und sukzessiv von sechs über vier bis zwei Millimeter abnimmt.

Ein Zusammenhang zwischen einer größeren Penetrationstiefe „koronaler“ gelegener Bereiche lässt sich aus den Werten herleiten. Gruppe III (s. Abb. 11) weist gegenüber den anderen Gruppen in allen Schnittebenen eine erhöhte Penetrationstiefe auf.

Die drei Gruppen wurden unabhängig von den verschiedenen Schnittebenen verglichen und das Ergebnis war hochsignifikant (s. 7.2.2.5. Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen, Tab. 21-23).

Eine statistische Auswertung der Gruppe I (s. Abb. 9) hinsichtlich der unterschiedlichen Penetrationstiefen zeigte signifikante Unterschiede (s. Tab. 5). Eine Ausnahme machten die Ebenen zwei und vier Millimeter. Hier wurde keine Signifikanz festgestellt (s. 7.2.2.5. Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen; Tab. 21-23 und Tab. 3). In Gruppe II (s. Abb. 10) zeigten sich auf allen Schnittebenen statistisch signifikante Unterschiede (s. 7.2.2.5. Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen; Tab. 21-23 und Tab. Und Tab. 3).

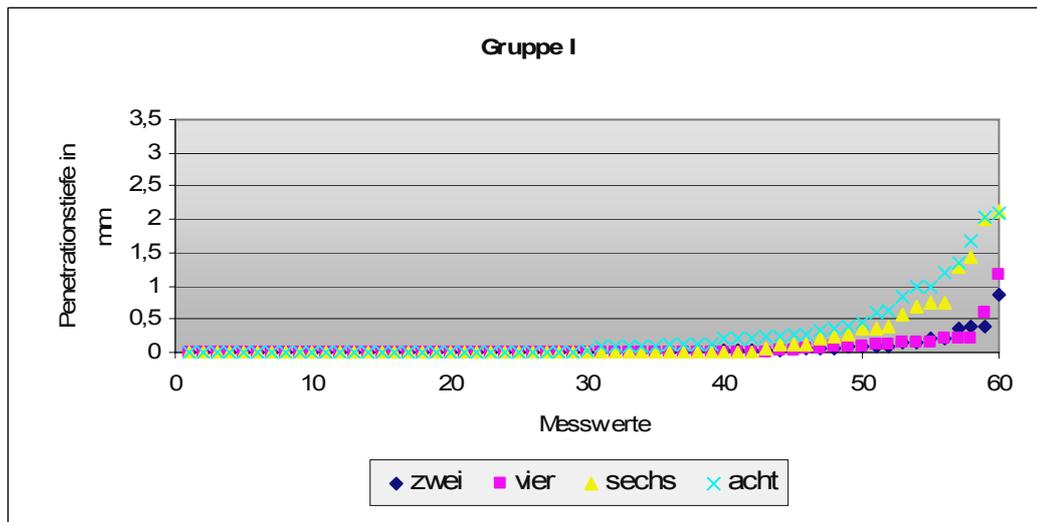


Abb. 9: Es wird die Verteilung der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter innerhalb der Gruppe I dargestellt. Auf Höhe der acht Millimeter Schnitthöhe konnte die größte Penetrationstiefe festgestellt werden, gefolgt von sechs und vier Millimeter. Bei zwei Millimetern zeigt sich die geringste Penetration, mit nur einer geringen Differenz zu vier Millimetern.

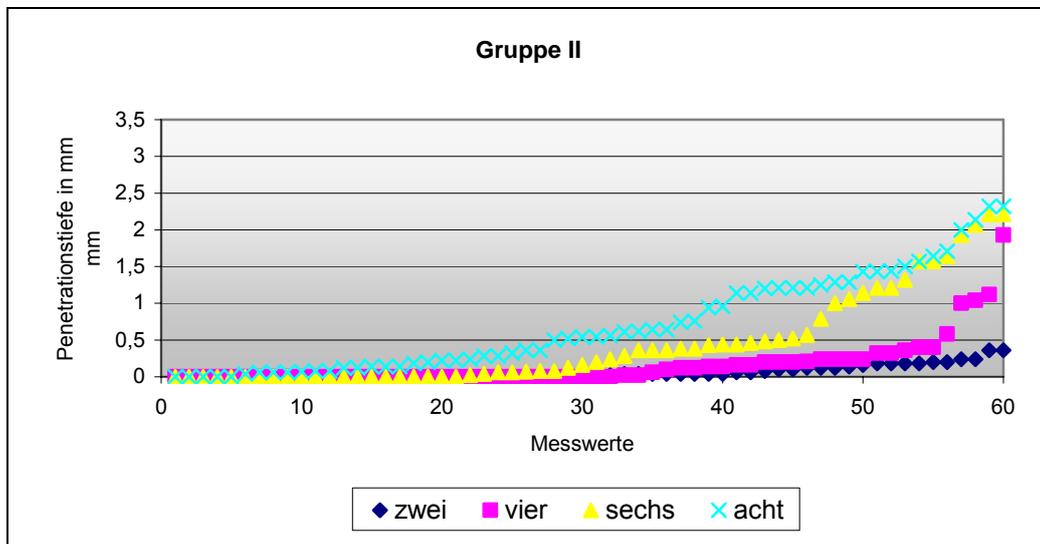


Abb. 10: Die Abbildung zeigt die Verteilung der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter vom Apex innerhalb der Gruppe II. Auf der Schnitthöhe acht Millimetern wurden die größten Penetrationstiefen gemessen, gefolgt von den Präparaten der sechs Millimeter Schnitthöhe. Bei zwei Millimeter trat die geringste Penetrationstiefe auf.

Vergleicht man alle Schnittebenen untereinander innerhalb der Gruppe III (s. Abb. 11), so lässt sich eine statistische Signifikanz erkennen, außer bei dem Vergleich der Kanalquerschnitten sechs und vier Millimeter ist statistisch keine Unterschiede fest zu stellen (s. 7.2.2.5. Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen; Tab. 21-23 und Tab. 3).

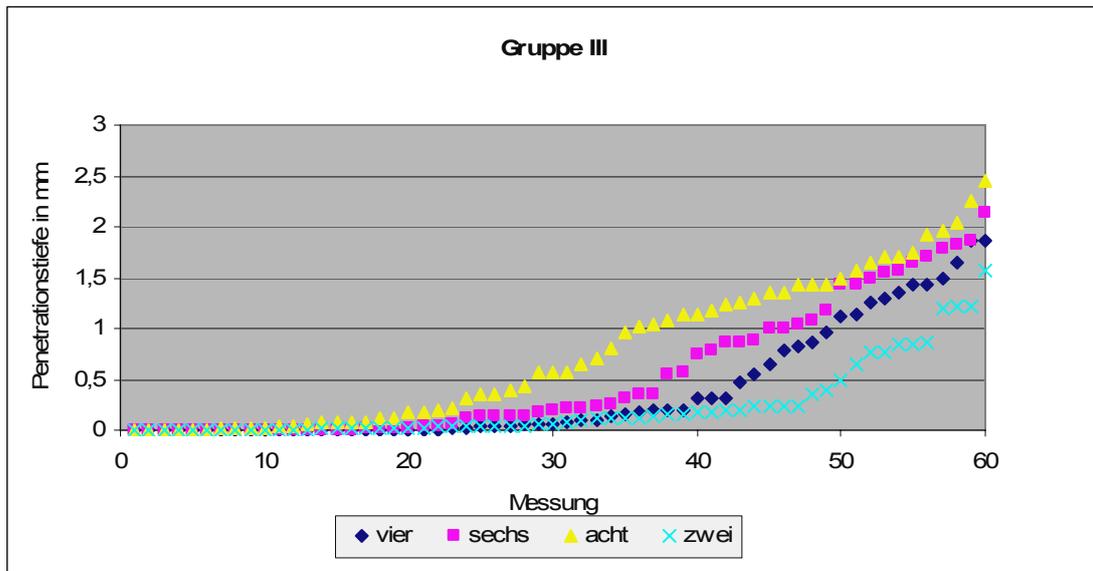


Abb. 11: Vergleich der Verteilung der Penetrationstiefe auf den verschiedenen Schnittebenen in Gruppe III (Piezon Master 400®). Auch in dieser Gruppe ist auf Höhe der acht Millimeter-Schnitts eine deutlich größere Penetrationstiefe zu erkennen als auf den anderen Schnittebenen. Die geringste Penetration der Flüssigkeit konnte auf dem zwei Millimeter Schnitt festgestellt werden. Zwischen allen Schnittebenen ist ein deutlicher Unterschied zu verzeichnen.

	4mm- 2mm	6mm- 2mm	8mm- 2mm	6mm- 4mm	8mm- 4mm	8mm- 6mm
Gruppe I	p=0,771	P=0,000	P=0,000	p=0,000	p=0,000	p=0,000
Gruppe II	p=0,000	P=0,000	P=0,000	p=0,000	p=0,000	p=0,000
Gruppe III	p=0,006	P=0,003	P=0,000	p=0,064	p=0,000	p=0,011

Tab. 3: Darstellung der statistischen Ergebnisse innerhalb der verschiedenen Gruppen bezogen auf die unterschiedlichen Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm. In Gruppe II zeigen sich statistische signifikante Unterschiede, in den Gruppen I und III kann dies nicht bestätigt werden. Der Vergleich zwischen 2 und 4 mm in Gruppe I und der Vergleich in Gruppe III zwischen 6 und 4 mm zeigt keine statistische Signifikanz (Signifikanzniveau:  $p = 0,05$ ). (Zusammenfassung der Tabellen 21-23, s. 7.2.2.5. Statistik für den Schnittebenenvergleich der Penetrationstiefe innerhalb der Gruppen)

Betrachtet man die verschiedenen Schnittebenen mit den jeweiligen Penetrationstiefen, so lassen sich zwischen den Kontrollgruppen (Gruppe I und Gruppe II) und der Versuchsgruppe (Gruppe III) Unterschiede feststellen (Abb. 9-11). Die Gruppe III (Piezon Master 400<sup>®</sup>) weist generell größere Penetrationstiefen auf. Sowohl bei den Vergleichsgruppen als auch bei der Testlösung nimmt die Penetrationstiefe von zwei bis acht Millimeter zu (Abb. 11-14).

Vergleicht man die Schnittebenen untereinander innerhalb jeder Gruppe, so lässt sich nur in Gruppe II ein generell statistisch signifikanter Unterschied feststellen (s. Tab. 3).

Im statistischen Vergleich der drei Gruppen auf den einzelnen Schnittebenen zeigen sich bei den Gruppen I (statische Lösungsapplikation) und III (Piezon Master 400<sup>®</sup>) signifikante Unterschiede bis auf die Schnittebene 6 mm und bei den Gruppen II

(manuell-dynamische Spülung) und III signifikante Unterschiede bis auf die Schnittebenen 4 und 8 mm (s. 7.2.2.4. Statistik für den Gruppenvergleich der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen; Tab. 17-20 bzw. Tab. 4).

	Gr. I – II	Gr. I – III	Gr. II – III
2 mm	p=0,011	p=0,000	p=0,001
4 mm	p=0,006	p=0,000	p=0,048
6 mm	p=0,008	p=0,492	p=0,000
8 mm	p=0,000	p=0,000	p=0,659

Tab. 4: Statistische Darstellung der Gruppen im direkten Vergleich auf den Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 Millimetern (Signifikanzniveau  $p=0,05$ ). Es konnten im Vergleich der Gruppen I und III auf Höhe des 6 Millimeter Schnittes und im Vergleich der Gruppen II und III bei 4 und 8 Millimeter keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. In allen anderen Fällen lag eine eine statistische Signifikanz vor. (Zusammenfassung der Tabellen 17-20, s. 7.2.2.4. Statistik für den Gruppenvergleich der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen.)

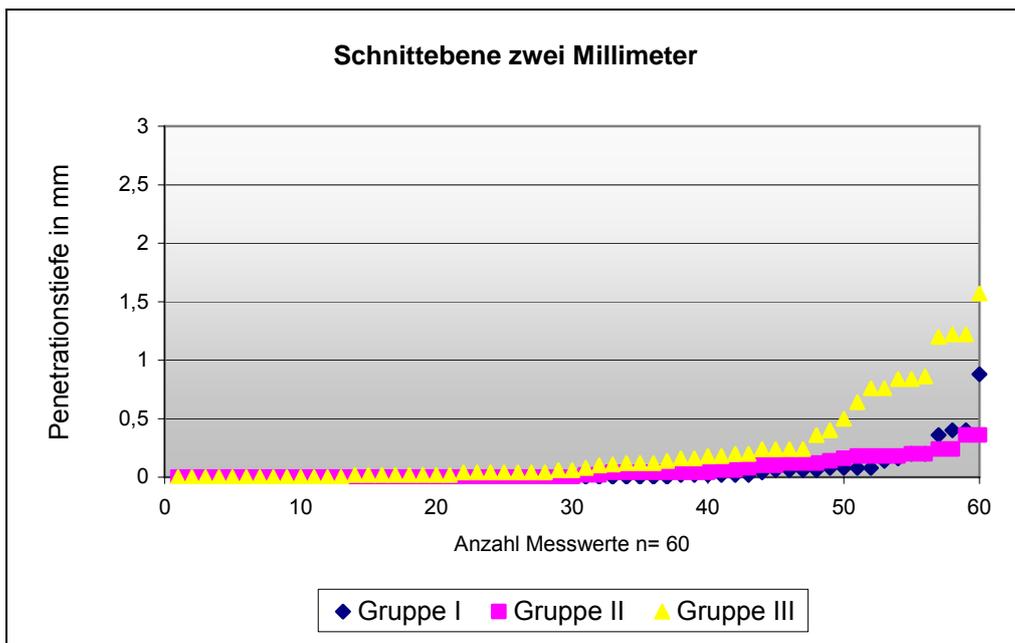


Abb. 12: Vergleich der Gruppen auf der Schnittebenen 2 mm.

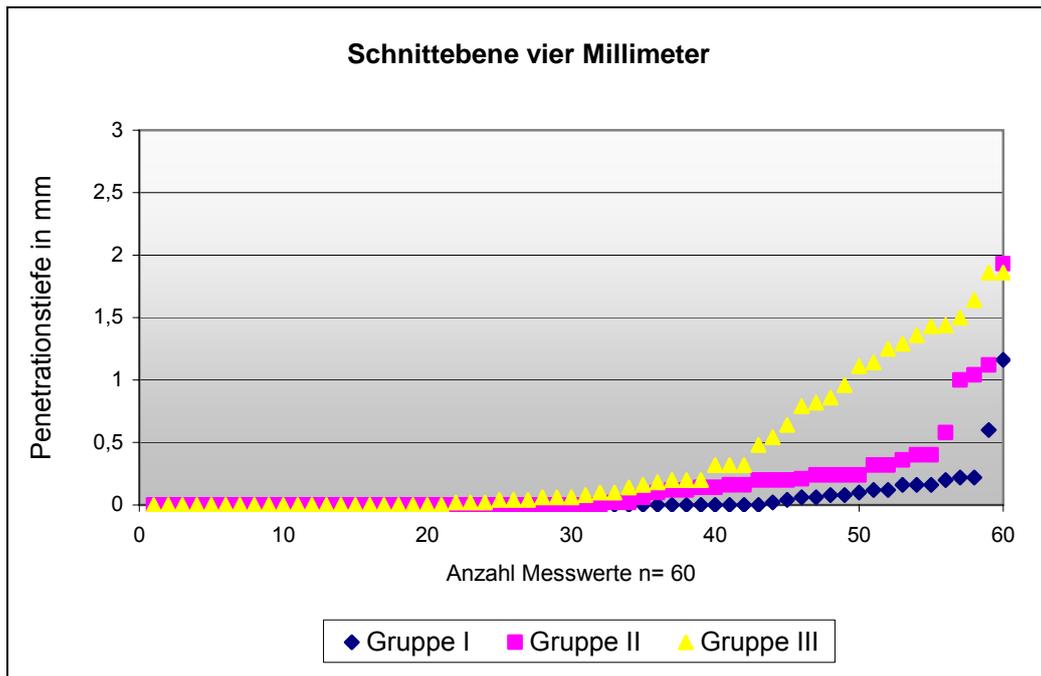


Abb. 13: Vergleich der Gruppen auf der Schnittebene 4 mm.

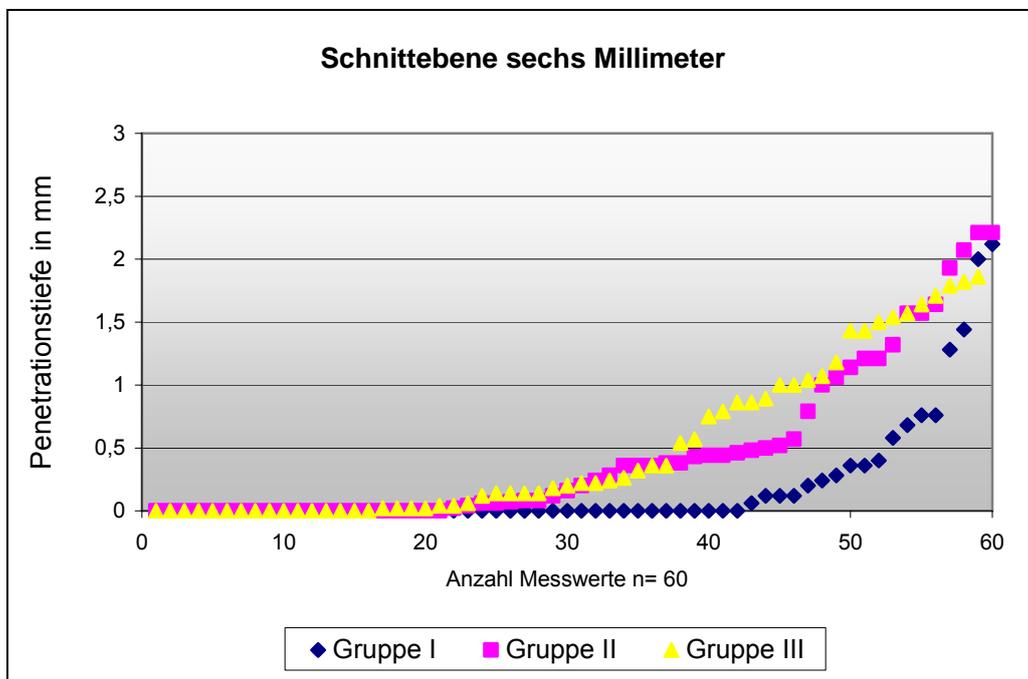


Abb. 14: Vergleich der Gruppen auf der Schnittebene 6 mm.

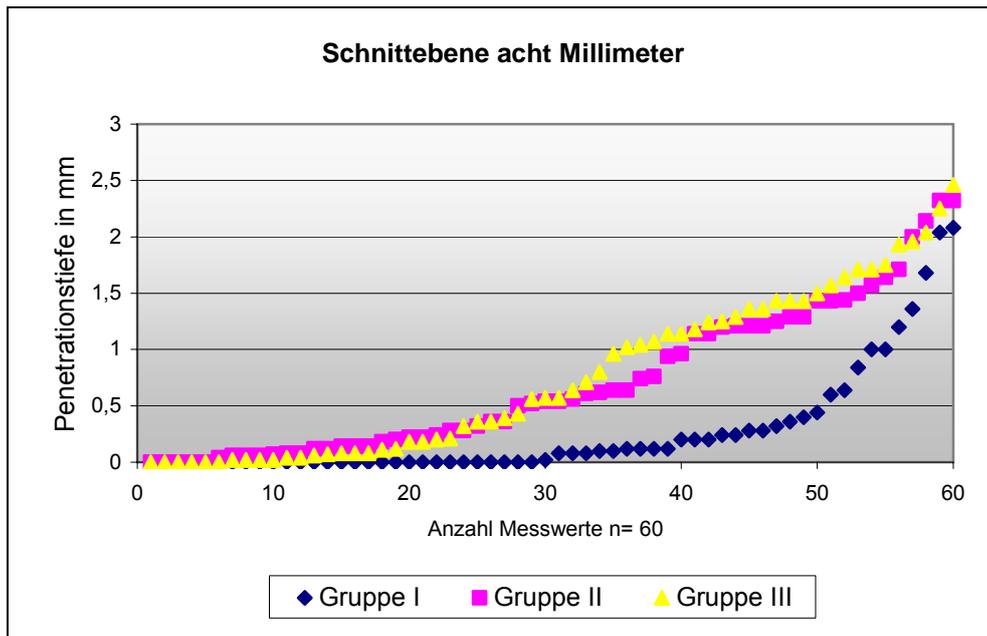


Abb. 15: Vergleich der Gruppen auf der Schnittebene 8 mm.

Abb. 12-15: Vergleich der Gruppen auf den verschiedenen Schnittebenen

zwei, vier, sechs und acht Millimeter. Die Größe der Penetrationstiefe nimmt in allen Gruppen von zwei bis acht Millimeter kontinuierlich zu. Gruppe III (Piezon Master 400<sup>®</sup>) zeigt im Vergleich die besten Ergebnisse. Die Gruppe II (dynamische Spülung) ist auf der Schnittebene zwei Millimeter eher mit der ersten Gruppe I (statische Lösung) vergleichbar, aber in den folgenden Schnitten ist sie dieser doch deutlich überlegen. Gruppe I zeigt auf allen Ebenen das schlechteste Ergebnis.

In der Literatur findet man zwei verschiedene Angaben zur nachgewiesenen Eindringtiefe von Bakterien im Dentin. Sirén (1997), Basrani et al. (2003) und Schäfer und Bössmann (2005) fanden Bakterien bis in einer Eindringtiefe von 250 µm. Hülsmann (2001) konnte im Fall einer infizierten Pulpanekrose Bakterien bis in einer Tiefe von 1,2 mm nachweisen.

Die Eindringtiefe von 250 µm kann also als minimale Anforderung an die Penetrationstiefe betrachtet werden, so dass man folgende Schlüsse ziehen kann:

Es ist deutlich zu erkennen, dass in den Schnittebenen zwei und vier Millimeter mehr als die Hälfte aller Präparate eine Eindringtiefe  $< 250 \mu\text{m}$  aufweisen.

In Gruppe I sind in der Schnittebene zwei Millimeter 56 Werte (93,3%;  $n = 60$ ), und in der Ebene vier 58 Werte (96,7%;  $n = 60$ ) bei nicht ausreichender Penetrationstiefe. In Gruppe II sind es bei zwei Millimeter 58 Werte (96,7%;  $n = 60$ ) und bei vier Millimeter 50 Werte (83,3%;  $n = 60$ ) deren Penetrationstiefe  $< 250 \mu\text{m}$  ist. In der Gruppe III sind es 47 (78,3%;  $n = 60$ ) und 39 Werte (65,0%;  $n = 60$ ) die unter der entscheidenden Penetrationstiefe liegen.

In den Schnittebenen sechs und acht Millimeter fallen in Gruppe III 33 (55%;  $n = 60$ ) bzw. 23 Werte (38,3%;  $n = 60$ ) unter eine Grenze von  $250 \mu\text{m}$ . Die Gruppe I ist bei einer Schnitthöhe von sechs Millimeter bei 48 Werten (80%;  $n = 60$ ) und bei einer Höhe von acht Millimetern bei 44 Werten (73,3%;  $n = 60$ ) kleiner als  $250 \mu\text{m}$ . In der Gruppe II verhält es sich auf Höhe der Schnitte sechs und acht wie folgt: Bei sechs Millimeter sind 32 Werte (53,3%;  $n = 60$ ) und bei acht Millimeter 22 Werte (56,6%;  $n = 60$ ) unter der  $250 \mu\text{m}$ -Grenze.

Bezieht man sich auf eine notwendige Eindringtiefe von 1,2 mm, lassen sich folgende Werte ermitteln:

Insgesamt ist zu erkennen, dass 1,2 mm Penetrationstiefe nur in geringer Anzahl zu erreichen ist. In Gruppe I erreichen neun Werte (3,75%;  $n = 240$ ), in Gruppe II 29 Werte (12,8%;  $n = 240$ ) eine entsprechende Penetrationstiefe. In Gruppe III erreichen 43 Werte (17,9%;  $n = 240$ ) eine Tiefe von 1,2 mm (Tab. 5).

Auf die einzelnen Schnittebenen bezogen lassen sich folgende Ergebnisse festhalten. Bei zwei Millimeter erreichen in den Gruppen I und II keine Werte eine Eindringtiefe von 1,2 mm. In Gruppe III erreichen bei zwei Millimeter vier Werte (6,6%;  $n = 60$ ) eine Tiefe von 1,2 mm. Auf der Schnitthöhe vier Millimeter liegt in Gruppe I kein Wert, in Gruppe II ein Wert (1,67%;  $n = 60$ ) und in Gruppe III neun Werte (15%;  $n = 60$ ) auf oder über dem Wert 1,2 mm. Der Schnitt sechs Millimeter weist in Gruppe I vier Werte (6,7%;  $n = 60$ ), in Gruppe II zehn Werte (16,7%;  $n = 60$ ) und in Gruppe III elf Werte (18,3%;  $n = 60$ ) mit Ergebnissen gleich oder größer 1,2 mm auf. Bei acht Millimeter kann folgendes festgestellt werden: Gruppe I weist bei fünf (8,3%;  $n = 60$ ), Gruppe II bei achtzehn (30%;

n = 60) und Gruppe III bei neunzehn (31,6%; n = 60) eine ausreichende Tiefe auf (Abb. 16).

	0 mm	≥ 250 µm	≥ 1,2 mm
Gruppe I	62,91%	14,2%	3,75%
Gruppe II	36,67%	32,5%	12,08%
Gruppe III	16,10%	40,8%	17,91%

Tab. 5: Prozentuale Verteilung der Eindringtiefe in den Gruppen I, II und III

In Gruppe I überwiegen die Ergebnisse im Bereich „0 mm“ und dem Geringsten Anteil bei „≥ 1,2 mm“. In Gruppe II ist das Verhältnis ähnlich, doch weniger deutlich. In Gruppe III zeigt sich, dass die meisten Präparate bei „≥ 250 µm“ gefunden wurden, gefolgt von „≥ 1,2 mm“ und „0 mm“.

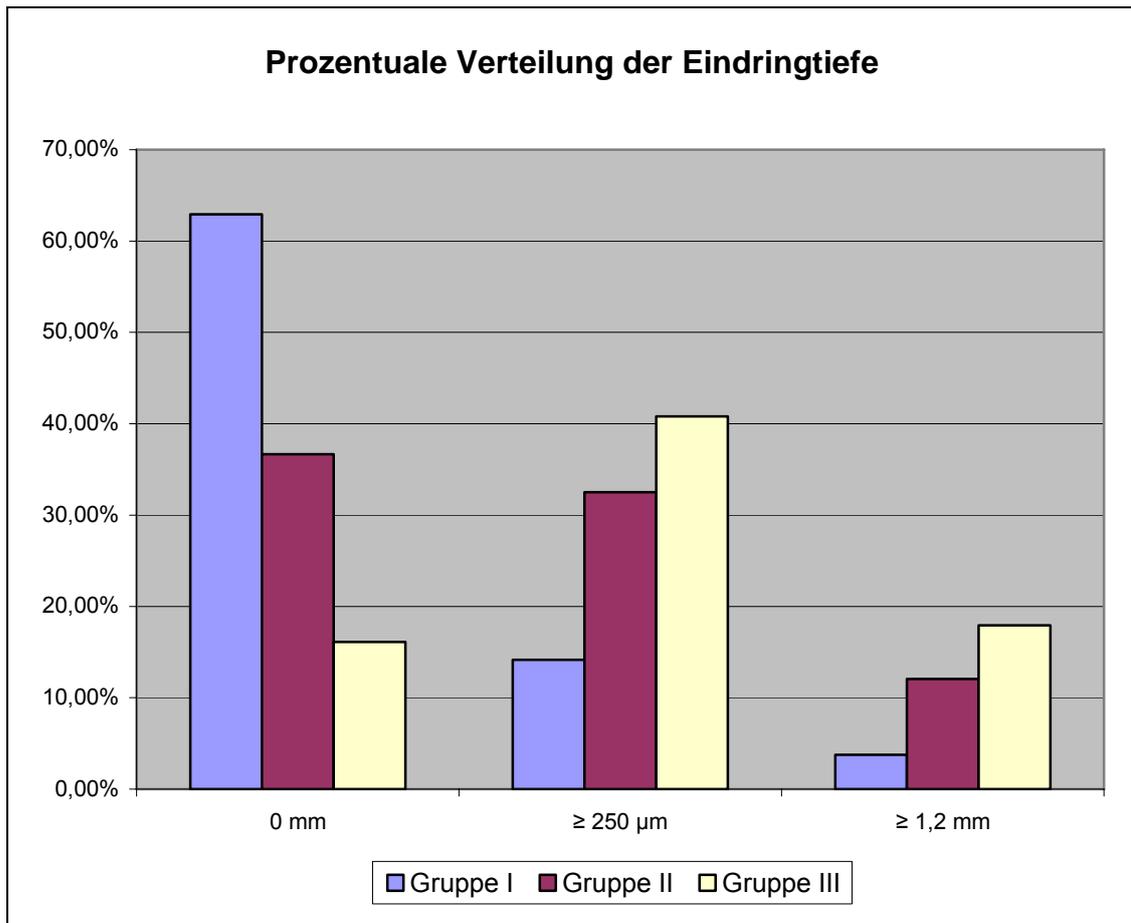


Abb. 16: Prozentuale Anteile der Eindringtiefe aus Tab. 5 im Diagramm dargestellt. Gruppe I (statische Lösung) weist die meisten Werte mit „keiner Eindringtiefe“ („0 mm“) auf und die geringste Anzahl an Werten über 250 µm und über 1,2 mm. Die Gruppe II (dynamische Spülung) liegt bei allen drei Vergleichen zwischen Gruppe I und Gruppe III (Piezon Master 400®), wobei der Anteil von „keiner Eindringtiefe“ noch sehr hoch ist. Gruppe III weist die geringste Anzahl an „0 mm“ Werten auf und hat den größten Prozentualen Anteil bei über „250 µm“ und bei „1,2 mm“.

### 3.2.2. Durchschnittliche Eindringtiefe

Betrachtet man die durchschnittliche zirkuläre Penetrationstiefe auf den verschiedenen Schnittebenen im direkten Gruppenvergleich, so stellt man fest, dass die Gruppe III (Piezon Master 400<sup>®</sup>), wie durch vorangegangene Ergebnisse zu erwarten war, eine erhöhte Penetrationstiefe aufweist.

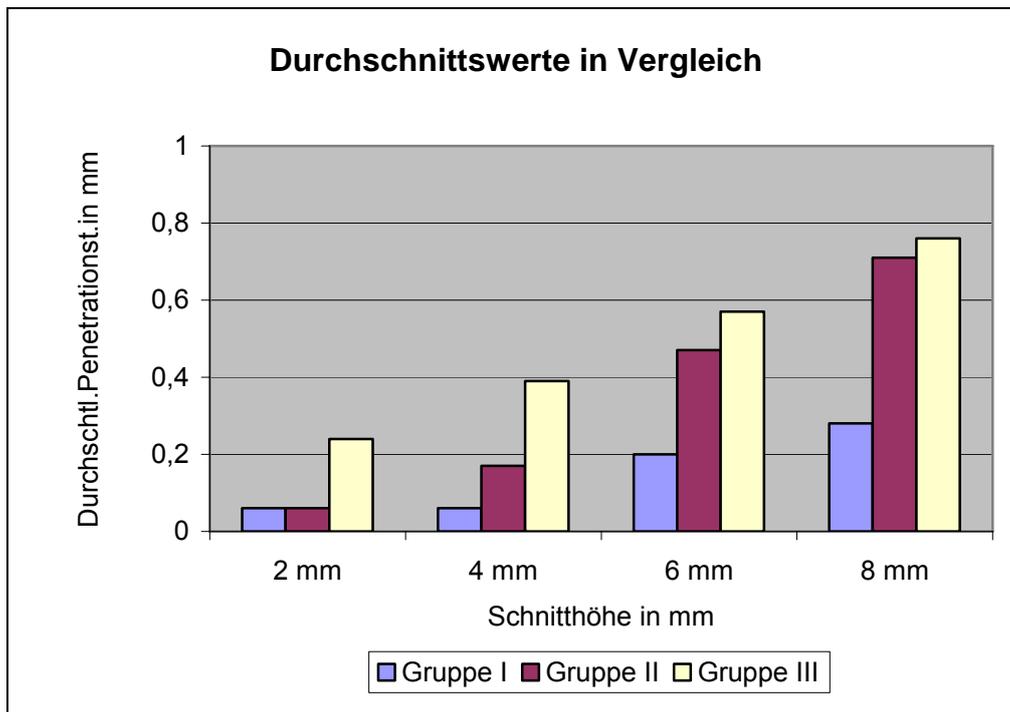


Abb. 17: Durchschnittliche Penetrationstiefe im direkten Gruppenvergleich auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter. Auf allen Schnittebenen zeigt die Gruppe III (Piezon Master 400<sup>®</sup>) das Beste Ergebnis und die Gruppe I (statische Lösung) das schlechteste. In allen Gruppen konnte eine stetige Zunahme der durchschnittliche Eindringtiefe erkannt werden, je höher die Schnittebene lag. Keine Gruppe erreichte eine durchschnittliche Penetrationstiefe von einem Millimeter.

Statistisch betrachtet konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Durchschnittswerte der Penetrationstiefen im Gruppenvergleich festgestellt werden (s. 7.3.2.6. Statistik für die durchschnittliche Eindringtiefe; Tab. 24 bzw. Tab. 6).

	<b>Gr. II - I</b>	<b>Gr. III - II</b>	<b>Gr. III - I</b>
Asymptomatische Signifikanz	p= 0,109	p=0,068	p=0,068

Tab. 6: Statistische Auswertung nach Wilcoxon-Test für die Gruppen I, II und III. Eine Statistische Signifikanz lag nicht vor.

### 3.2.3. Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke

Die Beurteilung des angefärbten Dentins wurde in Relation zur Dicke der Wurzelkanalwand gesetzt. Hierdurch ist es möglich nicht nur ein absolutes Ergebnis zu erhalten, sondern die Relation der Penetration zur jeden einzelnen Wurzelkanalwanddicke zu betrachten (Tab.7). Bewertet wurde die prozentuale Eindringtiefe „keine Anfärbung“; „Wand“ = angefärbte Wurzelkanalwand im Bereich des Lumens; „ $\leq 50\%$ “ = Anfärbung bis 50% des Wurzelkanaldentins und „ $\geq 50\%$ “ = Anfärbung, die die 50% - Grenze überschreitet. Alle Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht wurden in die Auswertung einbezogen. Zunächst wurden die Vergleichsgruppen ausgewertet:

Die Gruppe I (statische Lösung) zeigt prozentual folgende Ergebnisse:

Schnittebene	„keine Anfärbung“	„Wand“	„ $\leq 50\%$ “	„ $\geq 50\%$ “
2 mm	46,67%	53,33%	0,00%	0,00%
4 mm	53,33%	46,67%	0,00%	0,00%
6 mm	53,33%	20,00%	13,33%	13,33%
8 mm	26,67%	40,00%	20,00%	13,33%

Tab. 7: Gruppe I . Prozentuale Verteilung der Penetrationstiefen in Relation zur Dicke des Wurzelkanalwanddentins auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter. Auf Höhe der zwei Millimeterschnitte zeigte fast die Hälfte der Präparate keine Anfärbung bzw. eine Anfärbung im Bereich der „Wand“. Eine tiefere Penetration konnte nicht festgestellt werden. Ähnlich verhielt es sich auf Höhe der vier Millimeterschnitte. Bei sechs Millimetern konnte bei mehr als 50% keine Anfärbung erkannt werden, 20% zeigten eine Anfärbung im Bereich der Wand, aber auch jeweils 13% „ $\leq 50\%$ “ und „ $\geq 50\%$ “ des Querschnittes. Bei acht Millimetern verschiebt sich das Verhältnis. Nur noch 26% zeigen keine Anfärbung und 40% zeigen eine Reaktion im Bereich „Wand“. Ein Unterschied in der Größenordnung „ $\geq 50\%$ “ im Vergleich zur sechs Millimeterschnittebene besteht nicht.

Auffällig ist der geringe prozentuale Anteil der Anfärbung bis tief in das Dentin hinein. In 17,4% der Fälle war eine tiefere Anfärbung als die des Wandbereiches nachzuweisen (12 von 69 Fällen).

Vergleicht man die Anzahl der Präparate innerhalb der Gruppe I auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter, so zeigt sich eine ähnliche Auswertung. Bei zwei und vier Millimetern überwiegt die Anzahl der nicht angefärbten Präparate, bzw. der Färbung im Bereich der „Wand“. Das Ergebnis verschiebt sich bei „ $\leq 50\%$ “ und „ $\geq 50\%$ “, so dass hier keine zwei und vier Millimeterschnitte mehr zu finden sind, dafür aber sechs und acht Millimeterschnitte (Abb. 18).

Die einzelnen Schnittebenen der Gruppe I unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (s. 7.2.2.8. Gruppenvergleich bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke; Tab. 26 und 27).

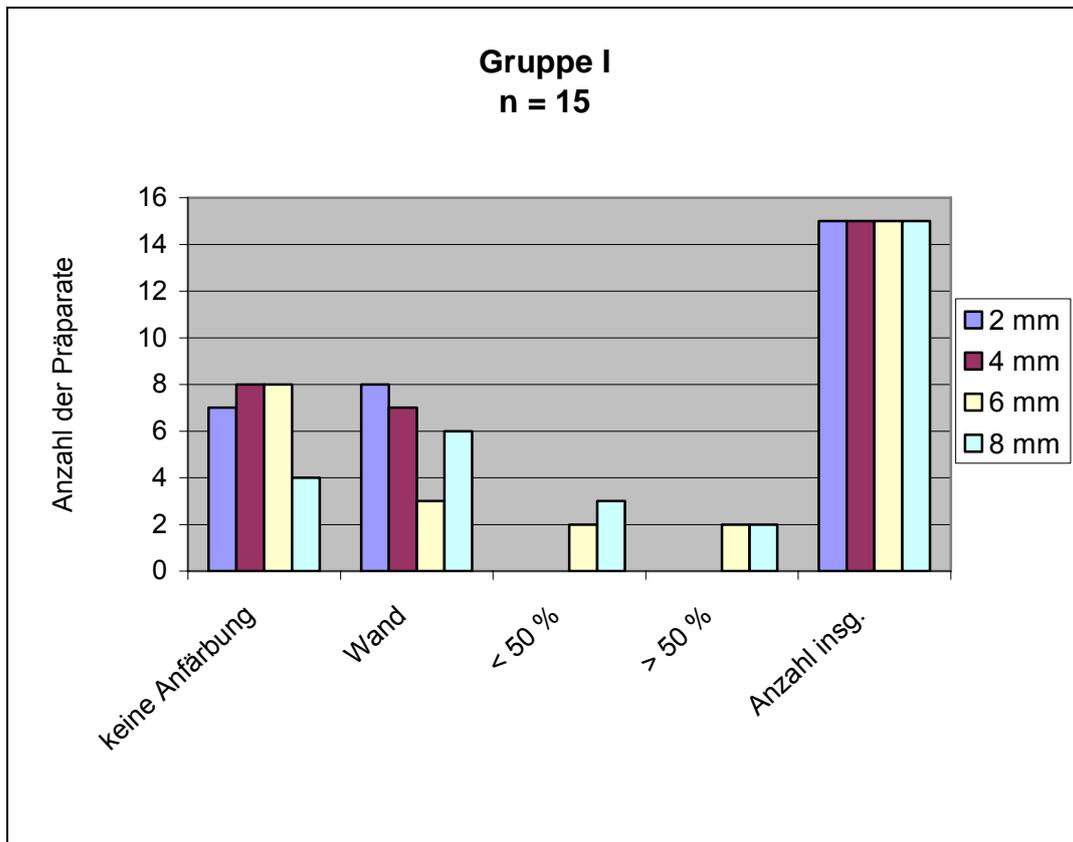


Abb. 18: Eindringtiefe in Relation zur Wanddicke der Gruppe I in den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter.

Es ist zu erkennen, dass in den Bereichen „keine Anfärbung“ und „Wand“ deutlich mehr Präparate gefunden wurden als in den Bereichen „ $\leq 50\%$ “ und „ $\geq 50\%$ “. Hier konnten nur in den Schnittebenen sechs und acht eine geringe Anzahl von Präparaten ausgewertet werden; zwei und vier Millimeterschnitte waren nicht vertreten.

Die Gruppe II (manuell-dynamische Spülung) zeigte auf Höhe der Schnittebene zwei Millimeter in 40% der Fälle keine Eindringtiefe, in 60% der Fälle war eine Eindringtiefe

der Farblösung im Randbereich des Wurzelkanallumen (Wand) zu beobachten. Eine Penetration in tiefere Dentinbereiche war nicht festzustellen. Im Bereich der vier Millimeter Schnitthöhe war in 33,3% der Fälle keine Anfärbung zu verzeichnen. In 53,3% war der Bereich „Wand“ angefärbt. Jeweils in 6,7% war eine Anfärbung „ $\leq 50\%$ “ bzw. „ $\geq 50\%$ “ zu erkennen.

Auf Höhe der sechs Millimeter Schnitthöhe die Ergebnisse „Nichts“: 33,3%; „Wand“: 33,3%; „ $\leq 50\%$ “: 13,3% und „ $\geq 50\%$ “: 20% ermittelt.

Ab einer Schnitthöhe von acht Millimeter fand immer eine Anfärbung statt, d.h. es lagen keine Präparate mit dem Ergebnis „keine Anfärbung“ vor. Es konnte folgendes festgehalten werden: „Wand“ = 46,5%; „ $\leq 50\%$ “ = 33,3% und „ $\geq 50\%$ “ = 20% (Tab. 8).

Schnittebene	„keine Anfärbung“	„Wand“	„ $\leq 50\%$ “	„ $\geq 50\%$ “
2 mm	40,0%	60,0%	0,0%	0,0%
4 mm	33,3%	53,3%	6,7%	6,7%
6 mm	33,3%	33,3%	13,3%	20,0%
8 mm	0,0%	46,6%	33,3%	20,0%

Tab. 8: Gruppe II Prozentuale Verteilung der Penetrationstiefe in Relation zur Dicke des Wurzelkanalwanddentins auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter.

Auf Höhe der zwei Millimeterschnitte fand bei 40% der Präparate keine Anfärbung statt, 60% zeigten eine Färbung im Bereich der Kanalwand. Auch auf Höhe der vier Millimeter zeigte sich der größte Anteil der Färbung im Bereich der „Wand“, ein Drittel zeigte keine Färbung und jeweils 6% der Präparate lagen bei „ $\leq 50\%$ “ und „ $\geq 50\%$ “. Auf der Höhe der sechs Millimeterschnittebene bei „ $\leq 50\%$ “ mit 13,3% und bei „ $\geq 50\%$ “ mit 20% zeigten mehr Präparate eine tiefere Penetration. Ein Drittel zeigte auch hier keine Reaktion im Gegensatz zu den acht Millimeterschnitten, bei denen alle Präparate eine Anfärbung zeigten. Fast die Hälfte zeigte Färbungen im Bereich Kanalwand, 33% lagen bei „ $\leq 50\%$ “ und 20% bei „ $\geq 50\%$ “.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass, ohne dies einzeln zu differenzieren, 25% den Bereich „ $\leq 50\%$ “ und „ $\geq 50\%$ “ erreichen. Bei der Schnittebene zwei Millimeter erreicht kein Präparat die tieferen Dentinbereiche. Bei vier Millimeter waren es 13,3% bei sechs Millimeter 33,3% und bei acht Millimeter 53,3% (Abb. 19).

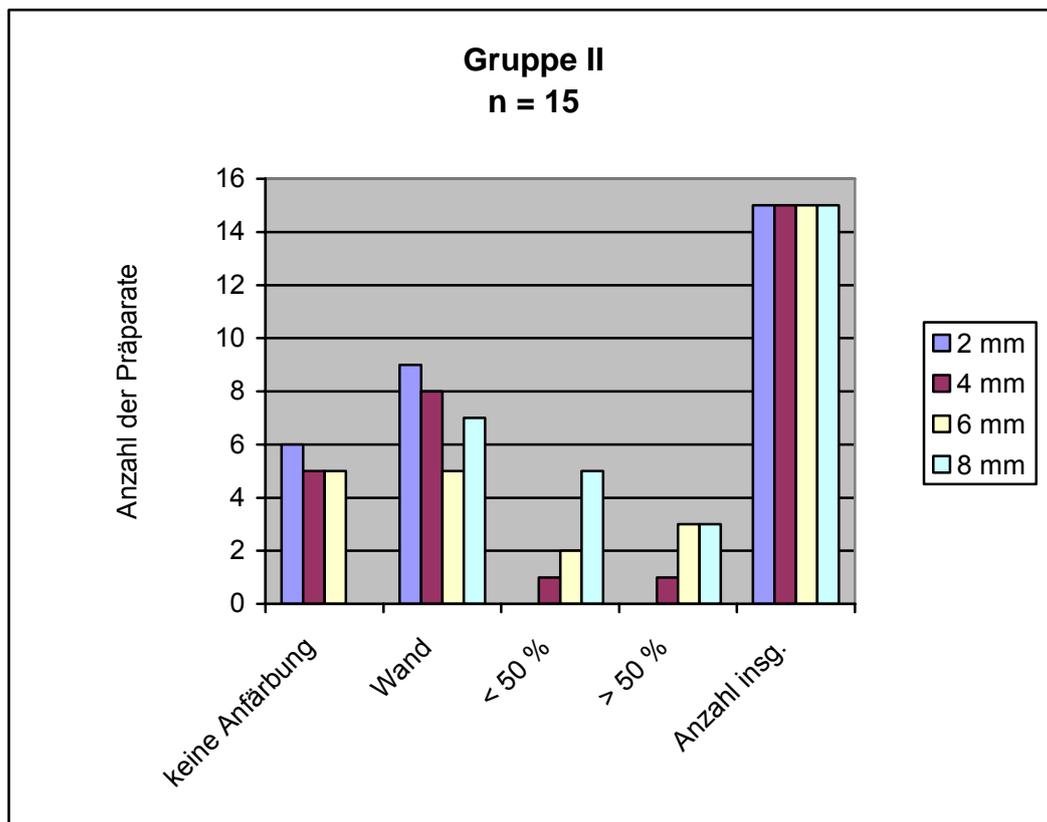


Abb. 19: Eindringtiefe in Relation zur Wanddicke in Gruppe II (dynamische Spülung) in den verschiedenen Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter. Im Bereich „Wand“ sind die meisten Präparate zu finden. Danach folgte der Bereich „keine Anfärbung“, allerdings gibt es keine acht Millimeterschnitte mit „keine Anfärbung“. In der Schnittebene zwei Millimeter konnte keine Anfärbung im Bereich „ $\leq 50\%$ “ und „ $\geq 50\%$ “ ermittelt werden.

Die Ergebnisse zeigten eine statistische Signifikanz (s. 7.2.2.8. Gruppenvergleich bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke; Tab. 28 und 29).

Die Auswertung der Gruppe III (Piezon Master 400<sup>®</sup>) ergab folgende Ergebnisse:

Schnittebene	„keine Anfärbung“	Wand	„≤ 50%“	„≥ 50%“
2 mm	26,6%	46,7%	13,3%	13,3%
4 mm	20,0%	46,7%	20,0%	13,3%
6 mm	6,7%	33,3%	40,0%	20,0%
8 mm	0,0%	26,6%	20,0%	53,3%

Tab. 9: Gruppe III Prozentuale Verteilung der Penetrationstiefe in Relation zur Dicke des Wurzelkanalwanddentins auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter.

Die größte Anfärbung in Gruppe III (Piezon Master 400<sup>®</sup>) zeigte sich im Bereich „≥ 50%“ auf einer Schnitthöhe von acht Millimeter und es konnte kein Schnitt mit dem Ergebnis „keine Anfärbung“ gefunden werden. Die verbliebenen Prozente verteilten sich relativ gleichmäßig auf den Bereich „Wand“ mit 26,6% und den Bereich „≤ 50%“ mit 20,0%. Bei zwei Millimeter waren 26,6 % nicht angefärbt, also mit „Nichts“ zu werten, fast die Hälfte (46,7%) lagen im Bereich „Wand“ und jeweils 13,3% „≤ 50%“ bzw. „≥ 50%“. Ähnlich verhielt es sich auf Höhe des vier Millimeterschnittes mit 20,0 % im Bereich „keine Anfärbung“, 46,7% Wand, 20,0% bei „≤ 50%“ und 13,3% bei „≥ 50%“. In der Schnittebene sechs Millimeter änderte sich das Ergebnis wie folgt. Lediglich 6,7% lagen im Bereich „keine Anfärbung“, 33,3% im Bereich „Wand“. Bei 40% penetrierte die Spülung „≤ 50%“ und bei 20,0% „≥ 50%“.

Die Ergebnisse der Gruppe III zeigten keine statistische Signifikanz (s. 7.2.2.8. Gruppenvergleich bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke; Tab. 30 und 31).

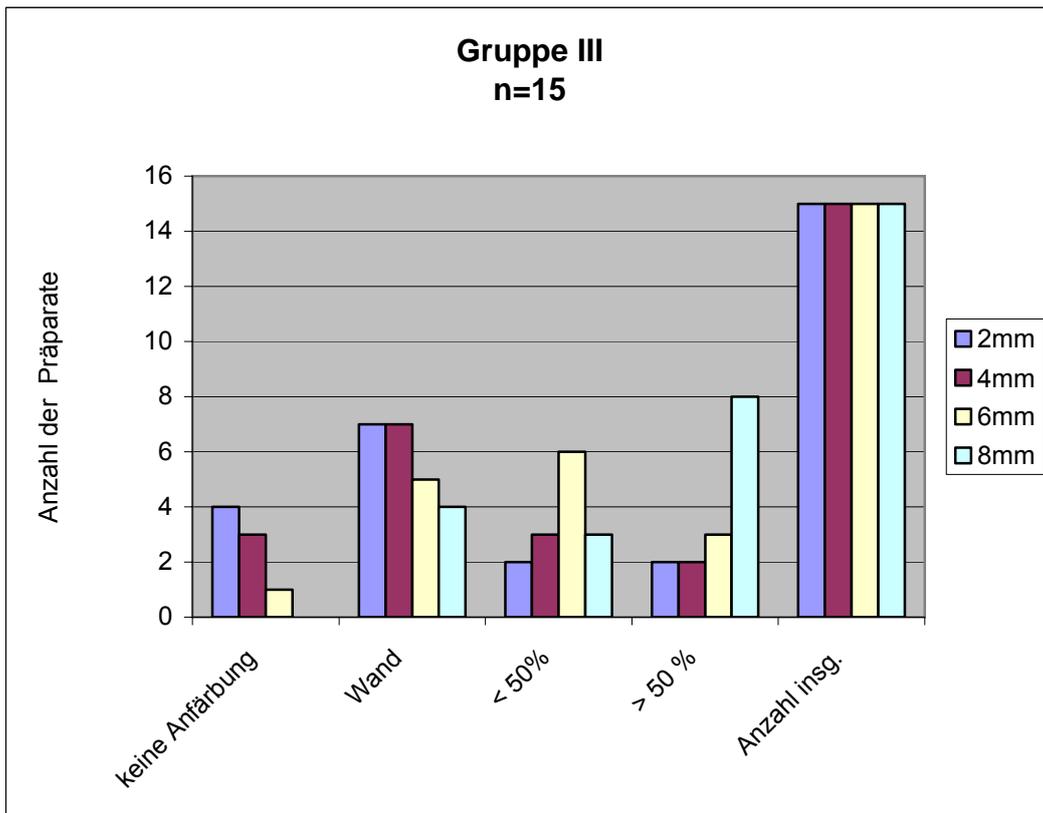
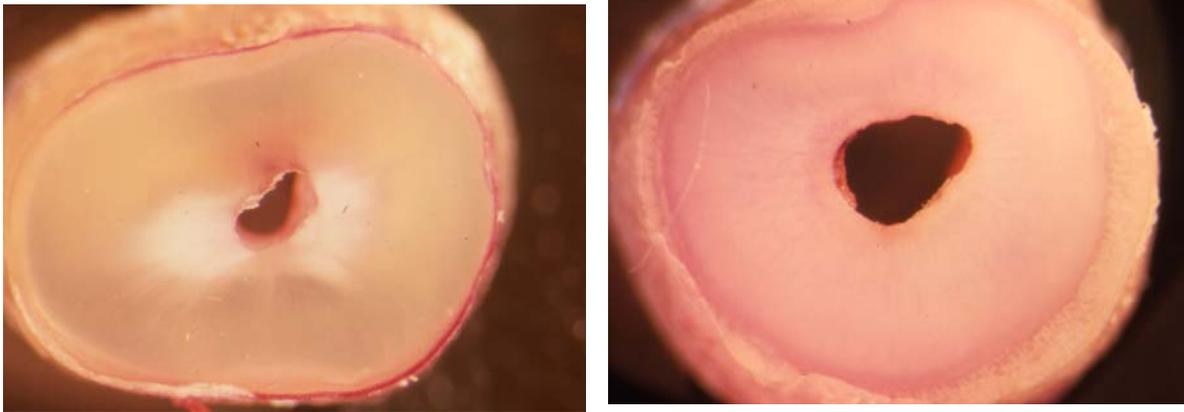


Abb. 20: Eindringtiefe in Relation zur Wanddicke in Gruppe III in den verschiedenen Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter. Auf allen Schnittebenen konnte eine Anfärbung „ $\geq 50\%$ “ festgestellt werden. Über die Hälfte der 15 Präparate verzeichnete bei acht Millimeter eine Anfärbung „ $\geq 50\%$ “. Auf gleicher Schnitthöhe konnten keine Präparate mit „keiner Anfärbung“ gefunden werden. Bei zwei und vier Millimeter lag das Maximum der Anfärbung im Bereich (Wand), bei sechs Millimeter im Bereich „ $\leq 50\%$ “.



6 mm

8 mm



10 mm

Abb. 21-25: Darstellung der Schnittebenen zwei (Bild 1), vier (Bild 2), sechs (Bild 3) und acht (Bild 4) Millimeter; bei 18facher Vergrößerung. Abb. 25 zeigt einen sechs Millimeter Schnitt bei 33facher Vergrößerung. Alle Bilder gehören zu Gruppe III (Piezon Master 400®).

In Gruppe I waren durch die Auswertung überwiegend die Bereiche „keine Anfärbung“ und „Wand“ festzustellen. Eine tiefe Penetration in die Dentintubuli konnte nur selten erkannt werden.

Die Gruppe II zeigte in allen Bereichen eine Anfärbung, das Maximum lag im Bereich „Wand“.

In der Gruppe III waren nur wenige Präparate mit „keine Anfärbung“ zu finden. Die größte Anzahl der Färbung lag im Bereich „Wand“ mit 38%. Aber auch in den Bereiche „ $\leq 50\%$ “ (23,3%) und „ $\geq 50\%$ “ (20,5%) konnte eine vermehrte Anfärbung festgestellt werden (Abb. 26).

Die statistische Auswertung der einzelnen Schnittebenen lässt keine statistische Signifikanz erkennen (s. 7.2.2.9. Vergleich der Schnittebenen bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke; Tab. 32-40 bzw. Tab. 10)

	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm
Gr. I – II- III	p=0,169	p=0,241	p=0,155	p=0,026

Tab. 10: Darstellung der statistischen Signifikanz der verschiedenen Gruppen auf der Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter, bezogen auf die Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke (Zusammenfassung Tab. 32-40, s. Vergleich der Schnittebenen bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke). In allen drei Gruppen lassen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede erkennen (Signifikanzniveau  $p=0,05$ ).

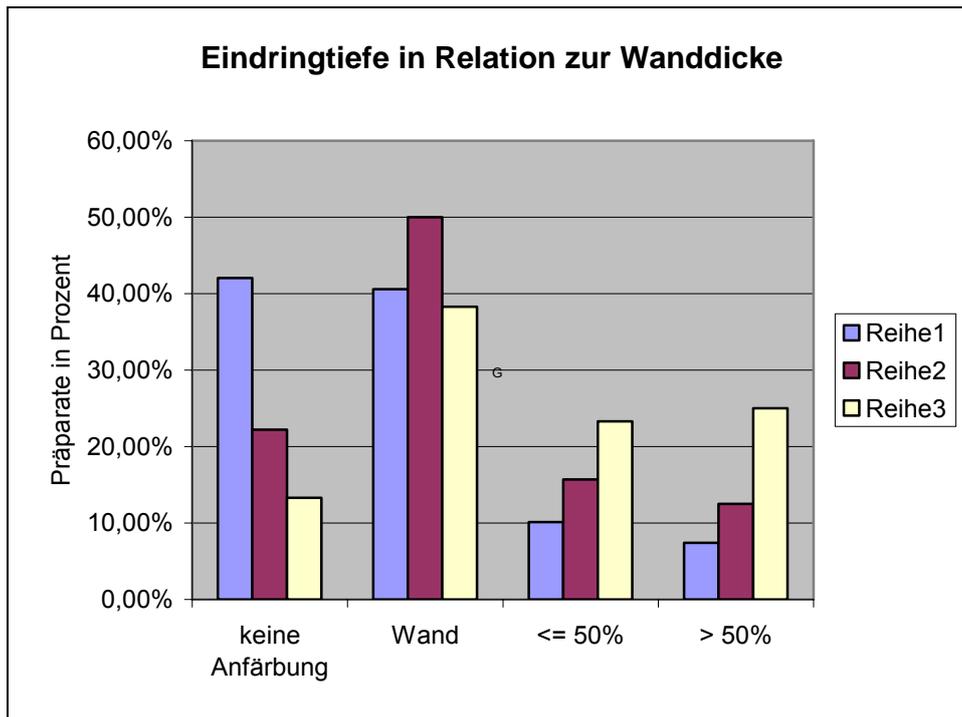


Abb. 26: In Gruppe I waren durch die Auswertung überwiegend die Bereiche „keine Anfärbung“ (44,9%) und „Wand“ (40%) festzustellen. Eine tiefe Penetration in die Dentintubuli konnte nur selten erkannt werden (6,6%). Die Gruppe II zeigte in allen Bereichen eine Anfärbung. Das Maximum lag im Bereich „Wand“ (48,3%). Viele Präparate waren noch im Bereich „keine Anfärbung“ zu erkennen (26,6%). Bei der Gruppe III waren nur wenige Präparate mit „keine Anfärbung“ (13,3%) zu finden. Die größte Anzahl der Färbungen lag im Bereich „Wand“ mit 38,3%. Aber auch in den Bereichen „ $\leq 50\%$ “ (23,3%) und „ $\geq 50\%$ “ (25%) konnte eine vermehrt auftretende Anfärbung festgestellt werden.

#### 4. Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war es, eine Ultraschallspültechnik zwei konventionellen Methoden gegenüber zu stellen. Neben der Effektivität sollte zusätzlich die klinische Einsatzfähigkeit des Ultraschallgerätes bewertet werden. Die Praxistauglichkeit wurde anhand einer möglichen apikalen Extrusion der Spüllösung ausgewertet, weil diese eine häufige Komplikation im Rahmen einer Wurzelkanalspülung darstellt. Die Betrachtungen in der vorliegenden Studie bezogen sich ausschließlich auf eine Spülung, die nach Beendigung jeder Wurzelkanalaufbereitung durchgeführt werden sollte (Hülsmann, 2001).

Bereits verfügbare Studien (Attin et al., 2002; Hata et al., 2001) beziehen sich überwiegend auf die makroskopische Eindringtiefe einer Spüllösung in das Wurzelkanalsystem. Dieser Aspekt fand in dem vorliegenden Versuch ebenfalls Beachtung. Doch zur Einschätzung der Wirkung des Spülmediums wurde insbesondere die mikroskopische Beurteilung der zirkulären Penetration in das Dentin als Methode gewählt. Dies ist sehr wichtig, da eine vollständige Dekontamination des Wurzelkanals im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung nur durch eine Penetration der Spülung in das zirkumpulpare Dentin erreicht werden kann (Hülsmann, 2001; Nolden, 1994). Hierzu wurde in der gegenwärtigen Studie die zirkuläre Eindringtiefe der Spüllösung in definierten Kanalquerschnitten (auf der Höhe von 2, 4, 6 und 8 mm vom Apex entfernt) ermittelt. Eine Vergleichbarkeit der Gruppen konnte gewährleistet werden, da durch randomisierte und einheitliche Verfahrensweisen eine Standardisierung der Gruppen stattfand.

Die Bewertung der Penetrationstiefe erfolgte durch den Einsatz eines Farbmakers (Säurefuchsin), der dem Wirkstoff Natriumhypochlorid zugesetzt wurde. In einem Vorversuch konnte gezeigt werden, dass 5 g Säurefuchsin in 100 ml 2%igem NaOCl ausreichte, um eine angemessene Einfärbung der Spülflüssigkeit zu erreichen (s. 2.4. Farbstoffpenetrationstest). Hierbei wurde ebenfalls ersichtlich, dass es zu keiner Bleichung durch den Wirkstoff (NaOCl) in Bezug auf den Farbstoffzusatz (Säurefuchsin) kam. Daraus lässt sich schließen, dass zwischen beiden verwendeten Stoffen keine Interaktionen vorlagen. Da NaOCl die organischen Bestandteile in den Dentinkanälchen zersetzt und dadurch erst eine Farbstoffpenetration ermöglicht, ist davon auszugehen,

dass eine Korrelation zwischen der NaOCl-Penetration und der Farbstoffpenetration besteht. Die Eindringtiefe des Wirkstoffes könnte größer sein als die des Farbstoffes, da NaOCl eine geringere Molekülgröße aufweist. Die Eindringtiefe des Farbstoffes stellt also einen relativen Indikator für das Wirkungsbild der NaOCl-Spüllösung dar. Um dieses Problem zu berücksichtigen, wurde in dieser Studie nicht die absolute Farbstoffpenetration bewertet, sondern die Penetrationswerte im standardisierten Vergleich zwischen den Kontrollgruppen (Statische Lösungsapplikation und Manuell-dynamische Spülung) und der Versuchsgruppe (Piezon Master 400®) ausgewertet.

Eine genaue Angabe bezüglich der geforderten Penetrationstiefe ist in der Literatur nicht zu finden. Horiba (1991) stellte fest, dass bei stark infizierten Zähnen, Bakterien und Endotoxine bis in das tiefe Dentin hinein nachweisbar sind und eine mechanische Aufbereitung alleine nicht ausreicht, um eine absolute Keimfreiheit zu erlangen. Dies ist aber unbedingt notwendig, um eine Reinfektion des Kanals durch bakterielle Residuen zu verhindern. Prinzipiell sollte eine Spüllösung also maximal in das Dentin penetrieren. In der vorliegenden Studie wurde die relative Farbstoffpenetration in Bezug zu der nach der Aufbereitung vorhandenen Dentinstärke gesetzt. Da in diesem Fall die unterschiedlichen Dicken der Kanalwände jedes Präparates mit einbezogen wurden, konnte so ein repräsentativer Vergleich der Ergebnisse zwischen den Gruppen geschaffen werden (s. 3.2.3. Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke).

Eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien ist nicht notwendigerweise gegeben, da viele variable Faktoren bei solchen Penetrationstest die Ergebnisse sehr unterschiedlich ausfallen lassen.

Nur die Gruppe III mit der Ultraschallaktivierung zeigte in diesem Versuchsteil bezüglich der zirkulären Penetrationstiefe ein akzeptables Ergebnis. Die Kontrollgruppen Gruppe I als statischen Lösung und Gruppe II als dynamische Handspülung konnten nicht überzeugen, obwohl Gruppe II signifikant höhere Eindringtiefen aufweist als Gruppe I. Die Auswertung der apikalen Schnittebenen (2 mm und 4 mm) machten deutlich, dass die Eindringtiefe der Spülung nach apikal in der Gruppe III ebenfalls besser war als in den beiden Kontrollgruppen. Statistisch gesehen konnten allerdings im Vergleich der Gruppen II und III auf Höhe der Schnittebenen 2 und 4 mm keine statistischen signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Es gibt eine Reihe weitere Methoden zur Überprüfung der zirkulären Penetrationstiefe von Spüllösungen in das Dentin. Cecic et al. (1984) verwendete zum Beispiel radioaktiv markiertes Material und andere (Folwazny et al., 2002; Moritz et al. 1999; Pataky et al., 2002; Peters et al., 2000; Piccolomini et al.; 2002; Schäfer und Bössmann, 2005) nutzten die mikrobielle Infektion der Kanäle aus. Die typischen Eigenschaften von NaOCl werden durch den Einsatz von radioaktiven Tracern erhalten. Es handelt sich dabei jedoch um eine sehr aufwendige und teure Methode, die nur mit hohen Auflagen durchführbar ist.

Die Versuchssystematik war in allen drei Gruppen der vorliegenden Studie identisch. Lediglich die Dauer der Spülzeit unterschied sich. In Gruppe I (Statische Applikation der Lösung) und Gruppe III (Piezon Master 400®) betrug die Einwirkzeit 3 Minuten, während die Spüllösung in Gruppe II (manuell-dynamische Spülung) deutlich weniger Zeit zur Wirkung erhielt. Die Einwirkzeit in Gruppe I wurden nach bereits vorliegenden Studien festgelegt (Lee et al., 1991; Turkün und Cengiz, 1997). Die Zeit für die manuell-dynamische Spülung wurde in einem Vorversuch festgelegt, indem die Zeit gemessen wurde, die für die Entleerung einer 5 ml Spritze nötig war. Sie betrug durchschnittlich 60 s. Die Spülzeit in Gruppe III wurde ebenfalls aufgrund von Literaturangaben festgelegt (Lee et al., 1991). In der Literatur findet man teilweise längere Spülzeiten von bis zu 18 Minuten (Cameron, 1985). Durch den Einsatz der im Vergleich zur Literatur kurzen Einwirkzeit in dieser Studie, wurden an die einzelnen Spülmethode hohe Anforderungen gestellt. Eine Spülung über mehrere Minuten findet in der Praxis nur selten statt, so dass diese hohe Anforderung als Maßstab für eine praxistaugliche Spülmethode angesehen werden kann.

Die Literaturangaben bezüglich der Eindringtiefe einer Spüllösung fallen sehr unterschiedlich aus, wobei das Ziel jeder Wurzelkanalspülung prinzipiell eine maximale zirkuläre und apikale Penetrationstiefe sein sollte. Eine nicht erfolgreich verlaufende Wurzelkanalbehandlung ist oftmals darauf zurück zu führen, dass Bakterien in Dentintubuli oder anderen schwer zugänglichen Bereichen des Wurzelkanalsystems überleben, da NaOCl nicht bis hier vordringen kann (Evans et al., 2001). Dementsprechend groß ist das Interesse an Spültechniken, die ein Eindringen in speziell diese Regionen ermöglichen.

In den letzten Jahren wurden viele Ansätze zur Vergrößerung der zirkulären Penetrationstiefe untersucht. Insbesondere der Einsatz von Ultraschallgeräten gewann zunehmend an Interesse (s. 1.2.4.1.1. Physikalisch-mechanische Methode). Hülsmann (2001) konnte einen gesteigerten Flüssigkeitstransport bei Verwendung eines Ultraschalls nachweisen.

Ein anderer Ansatz bezieht sich auf den Einsatz von Lasern (s. 1.2.4.1.4. Thermische Methoden). Die Anzahl der Bakterien in Wurzelkanälen konnte durch die Verwendung von Lasern verringert werden (Mehl et al., 1999; Moritz et al., 1997). Allerdings ist der Einsatz bis heute noch mit zahlreichen Nebenwirkungen verbunden.

In der vorliegenden Studie führten bei einzelnen Präparaten anatomische Varianten zu unterschiedlichen zirkulären Penetrationstiefen (s. Abb. 6 und 7). So zeigten sich mehrfach Unterschiede in den Größen der Eindringtiefe im Zusammenhang mit einer sichtbar verstärkten Kalzifizierung des Dentins. Da die Verteilung der Zähne aber randomisiert erfolgte, nahm dies keinen weiteren Einfluss auf die Versuchsergebnisse.

Als eine mögliche minimale Penetrationstiefe gaben Sirén et al. (1997) und Schäfer und Bössmann (2005) 250 µm an, so dass die drei Gruppen hinsichtlich dieser Literaturangabe ausgewertet wurden. Lediglich die Gruppe III (Piezon Master 400®) zeigte bei einem Anteil von 40,8% aller Befunden mit einer Eindringtiefe > 250 µm ein nahezu annehmbares Resultat. Allerdings beschränkte sich dieses Ergebnis auf die Schnitthöhe sechs und acht Millimeter vom Apex entfernt. Im apikalen Bereich (2 mm und 4 mm) konnte die minimal geforderte Eindringtiefe in vielen Fällen nicht erreicht werden. In Gruppe I erreichten 14,2% eine Penetrationstiefe von 250 µm und in Gruppe II immerhin noch 32,5%. Gruppe I (Statische Lösungsapplikation) und Gruppe II (Manuell-dynamische Spülung) konnten in diesem Versuchsteil kein ausreichendes Ergebnis aufweisen, allerdings liegt auch Gruppe III, trotz 40,8% positiven Befunden, deutlich unter den Erwartungen.

Leider wiesen viele Präparate keine Anfärbung der Dentinkanälchen auf, was bedeutet, dass absolut keine Penetration statt gefunden hat. In Gruppe I (Statische Lösungsapplikation) waren dies 63% und in Gruppe II (Manuell-dynamische Spülung), der heutigen Standardmethode, immerhin noch fast 37%. Diese Ergebnisse sind nicht

akzeptabel und sprechen gegen die Verwendung der Verfahren der statischen Applikation und der dynamische Spülung. Auch in Gruppe III waren noch 16% der Präparate ohne eine Penetration in die Dentintubuli fest zu stellen, so dass keine Gruppe überzeugen konnte.

Insgesamt lässt sich zwar durch den Einsatz eines Ultraschallgerätes (Gruppe III) das Gesamtergebnis deutlich verbessern, aber ein befriedigendes Resultat konnte auch hier nicht erreicht werden. Die Gruppe III war gegenüber den konventionellen Methoden hinsichtlich der zirkulären und apikalen Penetration überlegen, weitere Verbesserungen sind dennoch erforderlich, um eine optimale Penetrationstiefe zu erzielen. Die Ultraschallenergie zu erhöhen stellt in diesem Fall keine Alternative dar, weil es, wie im Folgenden besprochen, die apikale Extrusion vermutlich noch verstärken würde.

In der Literatur wird immer wieder darauf hingewiesen, dass eine apikale Extrusion von Spülflüssigkeiten strengstens zu vermeiden ist. So kann es durch einen Kontakt von NaOCl mit dem periapikalen Gewebe zu zytotoxischen Komplikationen kommen (Hülsmann und Hahn, 2000). Postoperative Schwellungen, Schmerzen und Nekrosen (Brown et al., 1995) können ebenso auftreten wie Emphyseme (Jeansonne und White, 1994; Segura et al., 1999).

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass die Gruppe III (Piezon Master 400®) hierbei am schlechtesten abschneidet. 66,6% der Präparate wiesen eine Extrusion der Spüllösung in den periapikalen Bereich auf. Im Vergleich hierzu, lagen die Ergebnisse in Gruppe I (Statische Lösungsapplikation) und Gruppe II (Manuell-dynamische Spülung) bei jeweils 13,3%. Das Ergebnis war statistisch signifikant (s. 7.2.2.3. Statistik für die apikale Extrusion). Nicht nur bezüglich der Anzahl der apikale Extrusionen zeigte die Gruppe III das ungünstigste Ergebnis, sondern auch hinsichtlich des Volumens der überpressten Flüssigkeit. Für den Einsatz in der Praxis ist das Ergebnis nicht zufrieden stellend und stark verbesserungsbedürftig.

Um eine apikale Extrusion so weit wie möglich auszuschließen, sollte nach Hülsmann und Hahn (2000) eine gründliche Auswahl des Zahnmaterials erfolgen und auf gewisse Vorsichtsmaßnahmen geachtet werden. In dieser Studie wurden Zähne mit weit offenem

Foramen apikale, mit Verletzung oder Resorption im apikalen Bereich direkt ausgeschlossen, so dass eine sorgfältige Auswahl des Zahnmaterials stattfand.

Bradford et al. (2002) gaben an, dass eine Klemmwirkung der Spülnadel im Kanal und ein Abfließen der Flüssigkeit nach koronal von entscheidender Bedeutung sind. Der Druck, mit dem die Flüssigkeit in den Kanal abgegeben wird, sollte schwach und konstant sein.

In den Gruppen I (Statische Lösungsapplikation) und II (Manuell-dynamische Spülung) konnten alle Maßnahmen berücksichtigt werden, da es sich um manuell durchgeführte Spülungen handelte. In Gruppe III (Piezon Master 400<sup>®</sup>) allerdings war nur die Platzierung der Kanüle durch den Behandler und auf einen spannungsfreien Sitz der Spülnadel im Kanal zu beeinflussen. Der Druck, bzw. die Anzahl der Schwingungen, war vom Hersteller festgelegt und somit ohne Einfluss des Behandlers.

Eine Möglichkeit zur Vermeidung der apikalen Extrusion mit dem Piezon Master 400<sup>®</sup> könnte ein Herabsetzen der Ultraschallenergie während der Spülung durch den Hersteller sein. Zusätzlich bestände die Möglichkeit, entgegen den Forderungen nach einer möglichst tiefen Positionierung der Nadel, die Spülkanüle im koronalen Anteil zu positionieren. Auf diese Weise könnte der apikal entstehende Druck eventuell verringert werden.

Um weitere Vergleichsergebnisse zu erhalten, wäre es durchaus interessant, moderne Ultraschallsysteme anderen neu entwickelten Methoden, wie z.B. dem RinsEndo<sup>®</sup>-System der Firma Dürr, gegenüber zu stellen. Es bedarf weiterer in-vitro Studien hinsichtlich der klinischen Einsatzfähigkeit, insbesondere im Bezug auf die apikale Extrusion. Auch in-situ Tierversuche (z.B. am Schweinekiefer) könnten zur Überprüfung der in-vitro gewonnenen Ergebnisse durchgeführt werden, um eine möglichst realistische Beurteilung zu erhalten.

Können die viel versprechenden Ergebnisse hinsichtlich der zirkulären Penetration bestätigt werden und lässt sich das Problem der apikalen Extrusion beseitigen, so kann die Ultraschallspülung zu einer Verbesserung der Dekontamination der Wurzelkanäle in der modernen Endodontie beitragen.

## 5. Zusammenfassung

Ziel dieser in-vitro Studie war es, sowohl die zirkuläre Penetration im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung angewendeter Spülmittel in das Wurzelkanaldentin als auch die apikale Extrusion der Spüllösung bei Nutzung eines Ultraschallsystems zu untersuchen. Eine statische Lösungsapplikation und die konventionelle Handspülung des Wurzelkanals dienten als Vergleichsgruppen. 45 frisch extrahierte, einkanalige Zähne wurden dekapitiert, bis zu einer ISO-Größe 30 aufbereitet, und in Container eingebettet. Die eigentliche Versuchsdurchführung fand in drei Gruppen mit je 15 Zähnen statt. Als Spüllösung wurde 2%iges NaOCl mit einem Farbzusatz (Säurefuchsin) verwendet. Das Eindringen der Farblösung ist hierbei als indirekter Nachweis für die Penetrationstiefe des Wirkstoffes anzusehen. In Gruppe I erfolgte eine statische Lösungsapplikation mit einer Einwirkzeit von 3 min. Die Präparate der Gruppe II wurden 60 s mit einer manuell-dynamischen Spülung behandelt, während in Gruppe III für 3 min mit Ultraschallaktivierung gespült wurde. Nach der Versuchsdurchführung folgte eine direkte photographische Dokumentation der apikalen Extrusion. Die mikroskopische Beurteilung der zirkulären Eindringtiefe wurde anhand von Kanalquerschnitten (2, 4, 6 und 8 mm vom anatomischen Apex) durchgeführt.

Mit dem Ultraschall-System konnte eine statistisch signifikant höhere Penetrationstiefe in das zirkuläre Dentin erreicht werden. 41% der Präparate erzielten eine minimal geforderte Eindringtiefe von 0,25 mm (Statische Lösungsapplikation: 14%; Manuell-dynamische Spülung: 32%).

In der dritten Gruppe (Ultraschallanwendung) zeigte sich im Vergleich zu den Vergleichsgruppen eine signifikant erhöhte Extrusion der Spüllösung nach apikal (extrudierte Präparate: Ultraschall = 66,6%; Statische/Dynamische Applikation = 13,3%). Das Ergebnis war also klinisch nicht akzeptabel.

Die Studie konnte zeigen, dass die Ultraschall-Spülmethode gegenüber den konventionellen Spülmethoden, bezüglich der zirkulären Eindringtiefe einer Lösung in das Dentin, einen Fortschritt darstellt. Die vermehrt auftretende apikale Extrusion nach Spülung mit dem Ultraschallsystem konnte klinisch jedoch nicht überzeugen, so dass ein Einsatz in der Praxis mit Vorsicht erfolgen sollte und eine technische Verbesserung dies bezüglich unumgänglich erscheint.

## 6. Literaturverzeichnis

### 1. **Abbot PV, Heithersay GS, Hume WR.**

Release and diffusion through human tooth roots in vitro of corticosteroid and tetracycline trace molecules from Ledermix paste.

Endod Dent Traumatol 1988; 4: 49-54

### 2. **Abou Rass M, Piccinino MV.**

The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1982; 54: 323-328

### 3. **Attin T, Buchalla W, Zirkel C, Lussi A.**

Clinical evaluation of the cleansing properties of the noninstrumental technique for cleaning root canals.

Int Endod J 2002; 35: 929-933

### 4. **Ayham H, Sultan N, Cirak M, Ruhi MZ, Bodur H.**

Antimicrobial effects of various endodontic irrigants on selected microorganisms.

Int Endod J 1999; 32: 99-102

### 5. **Bahcall JK, Barss JT.**

Understanding and evaluating the endodontic file.

Gen Dent 2000; 48: 690-692

### 6. **Barabakov F, Lutz F, Toth L.**

Materialien und Techniken bei Wurzelkanalbehandlungen in der Schweiz- eine Standortbestimmung.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 1995; 105: 1412-1417

### 7. **Barnett F, Trope M, Kreshtool D, Tronstad L.**

Suitability of controlled release delivery system for root canal disinfection.

Endod Dent Traumatol 1986; 2: 71-74

### 8. **Basrani B, Tjäderhane L, Santos JM, Pascon E, Grad H, Lawrence HP, Friedmann S.**

Efficacy of chlorhexidine – and calcium hydroxide – containing medicaments against *Enterococcus faecalis* in vitro.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Radiol Endod 2003; 96: 618-624

**9. Baumgartner JC, Ibay AC.**

The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement.  
J Endod 1987; 13: 47-51

**10. Baumgartner IC, Mader CL.**

A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens.  
J Endod 1987; 13: 147-157

**11. Baumgartner JC, Cuenin PR.**

Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation.  
J Endod 1992; 18: 605-612

**12. Becker TD, Wollard GW.**

Endodontic irrigation.  
Gen Dent 2001; 49: 272-276

**13. Beer R, Gängler P, Beer M.**

In-vitro-Untersuchung unterschiedlicher Wurzelkanalfülltechniken und  
- materialien.  
Zahn- Mund-Kieferheilkd. 1986; 74: 800-806

**14. Benthem van H.**

Laseranwendung in der Zahnmedizin.  
Stellungnahme der DGZMK. Dtsch Zahnärztl Z 1994; 49: 451

**15. Berkiten M, Okar J, Berkiten R.**

In vitro study of the penetration of Streptococcus sanguis and Prevotella  
intermedia strains into human dentinal tubules.  
J Endod 2000; 26: 236-239

**16. Bhat KS.**

Tissue emphysema caused by hydrogen peroxide.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1974; 38: 304-307

**17. Blomlof J, Blomlof L, Lindskog S.**

Effect of different concentrations of EDTA on smear layer removal collagen  
exposure in Periodontitis – affected root surfaces.  
J Clin Periodontal 1997; 24: 534-537

**18. Bloomfield SF, Miles GA.**

The antibacterial properties of sodium dichlorite and sodium hypochlorite formulations.

J Appl Bacteriol 1979; 46: 65-73

**19. Bradford CE, Eleazer PD, Downs KE, Scheetz JP.**

Apical pressures developed by Needles for canal irrigations.

J Endod 2002; 28: 333-335

**20. Brown DC, Moore BK, Brown CE Jr, Newton CW.**

An in vitro study of apical extrusion of sodium hypochlorite during endodontic canal preparation.

J Endod 1995; 21: 587-591

**21. Buck RA, Eleazer PD, Staat RH, Scheetz JP.**

Effectiveness of three endodontic irrigants at various tubular depths in human dentin.

J Endod 2001; 27: 206-208

**22. Buttler TK, Grawford JJ.**

The detoxifying effect of varying concentrations of sodium hypochlorite on endotoxins.

J Endod 1982; 8: 59-66

**23. Byström A, Sundqvist G.**

Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy.

Scand J Dent Res 1981; 89: 321-328

**24. Byström A, Claesson R, Sundqvist G.**

The antimicrobial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated pheno and calcium hydroxide in the treatment of injected root canals.

Endod Dent Traumatol 1985; 1: 170-175

**25. Çalt S, Serper.**

A smear layer removal by EDTA.

J Endod 2000; 26: 459-461

**26. Cameron JA.**

The choice of irrigant during hand instrumentation and ultrasonic irrigation of the root canal: a SEM study.

Aust Dent J 1995; 40: 85-90

**27. Carson KR, Goodell GG, Mc Clanahan SB.**

Comparison of the antimicrobial activity of six irrigants on primary endodontic Pathogens.

J Endod 2005; 31: 471-473

**28. Cecic PA, Peters DD, Grower MF.**

The comparative efficiency of final endodontic cleansing procedures in removing a radioactive albumin from root canal systems.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1984; 58: 336-342

**29. Cergneux M, Ciucchi B, Dietschi JM, Holz J.**

The influence of the smear layer on the sealing ability of canal obturation.

Int Endod J 1987; 20: 228-232

**30. Cheung GSP, Stock CJR.**

In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics.

Int Endod J 1993; 26: 334-343

**31. Chow TW.**

Mechanical effectiveness of root canal irrigation.

J Endod 1983; 9: 475-479

**32. Cymbler DM, Ardakani P.**

Sodium hypochlorite injection into periapical tissues.

Dental Update 1994; 21: 345-346

**33. Czonstkowsy M, Wilson EG, Holstein FA.**

The smear layer in Endodontics.

Dent Clin North Am 1990; 34: 13-25

**34. Dahin HD.**

On the use of certain antiseptic substances in treatment of infected wounds.

Br Med J 1915; 2: 318-320

- 35. Dahlen G, Begehenholz O.**  
Endotoxic activity in teeth with necrotic pulps.  
J Dent Res 1980; 59: 1033-1040
- 36. Dalton BC, Orstavik D, Philips C Pettiette M, Trope M.**  
Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation.  
J Endod 1998; 24: 763-767
- 37. D´Arcancelo C, Varvara G, De Fazio P.**  
An evaluation of the action of different root canal irrigants of facultative aerobic  
- anaerobic, obligate anaerobic and microaerophilic bacteria.  
J Endod 1999; 25: 351- 355
- 38. Davies RM, Hull PS.**  
Plaque inhibition and distribution of chlorhexidine in Beagle dogs,  
J Periodontal Res Suppl 1973; 12: 22-27
- 39. Delany GM, Patterson SS, Miller CH, Newton CW.**  
The effect of chlorhexidine gluconate irrigation on the root canal flora of freshly  
extracted necrotic teeth.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1982; 53: 518-523
- 40. Dwyer TG, Torabinejad M.**  
Radiographic and histologic evaluation of the effect of endotoxin on the  
periapical tissues of the cat.  
J Endod 1980; 7: 31-35
- 41. Ehrmann EH.**  
Pulpotomies in traumatized and carious permanent teeth using a corticosteroid-  
antibiotic preparation.  
Int Endod J 2002; 35: 221-228
- 42. Evans M, Davies JK, Sundqvist G, Figdor D.**  
Mechanisms involved in the resistance of *Enterococcus faecalis* to calcium  
hydroxide.  
Int Endod J 2001; 34: 354-458
- 43. Ferguson JW, Sarich SJ, Hatton JF, Gillespie MJ.**  
Efficacy of common intracanal medicaments against *Candida albicans*.  
J Endod Res 2000; 79: 568

- 44. Ferraz CCR, Gomes NV, Zaia AA, Teixeira FB, Souza-Filho FJ.**  
Apical extrusion of debris and irrigants using two hand and three engine-driven Instrumentation techniques.  
Int Endod J 2001; 34: 354-358
- 45. Folwaczny M, Mehl A, Jordan C, Hickel R.**  
Antibacterial effects of pulsed Nd:YAG laser radiation at different energy settings In root canals.  
J Endod 2002; 28: 24-29
- 46. Ford TRP.**  
Endodontic materials and techniques.  
Curr opinion Dentistry 1991; 1: 729-733
- 47. Frentzen M, Koort HJ.**  
Lasertechnik in der Zahnheilkunde.  
Dtsch Zahnärztl Z 1991; 46: 443-452
- 48. George JW, Michanowicz AE, Michanowicz JP.**  
A method of canal preparation to control apical extrusion of low temperature thermoplasticized gutta-percha.  
J Endod 1987; 13: 18-23
- 49. Götze W.**  
Zur Frage der Eindringtiefe des Tetracyclin bei der Behandlung der Pulpitis mit Ledermix.  
Dtsch Zahnärztl. Z 1966; 21: 974-977
- 50. Gomes BP, Drucker DB, Lilley JD.**  
Associations of specific bacteria with some endodontic signs and symptoms.  
Int Endod J 1994; 27: 291-298
- 51. Gomes BPFA, Souza SEC, Ferraz CCR, Teixeira FB, Zala AA, Valdrighi L, Souza-Filho FJ.**  
Effectiveness of 2 % chlorhexidine gel and calcium hydroxide against Enterococcus Faecalis in bovine root dentine in vitro.  
Int Endod J 2003; 36: 267-275

**52. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M.**

Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions.

Int Endod J 2003; 36: 411-417

**53. Grossman LJ, Neiman BW.**

Solution of pulp tissue by chemical agents.

J Am Dent Assoc 1941; 28: 223-225

**54. Guerisoli DM, Marchesan MA, Walsmley AD, Lumely PJ, Pecora JD.**

Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic agitation.

Int Endod J 2002; 35: 418-421

**55. Gulabivala KL, Leung SF.**

Review of a new root canal obturation technique.

Dent Update 1994; 21: 73-78, 80-83

**56. Guldener PHA, Langeland K.**

Endodontologie - Diagnostik und Therapie.

Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1993.

**57. Gutknecht N, Kaiser F, Hassan A, Lampert F.**

Long-term clinical evaluation of endodontically treated teeth by Nd:YAG-lasers.

J Clin Laser Med Surg 1996; 14: 7-11

**58. Haapasalo HK, Siren EK, Waltimo TM, Orstavik D, Haapasalo MP.**

Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study

Int Endod J 2000; 33: 126-131

**59. Hand RE, Smith ML, Harrison JW.**

Analysis of the effect of dilution on the necrotic dissolution property of sodium hypochlorite.

J Endod 1978; 4: 60-64

**60. Hardee MW, Miserindino LJ, Kos W, Walia H.**

Evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd:YAG laser irradiation.

J Endod 1994; 20: 377-380

**61. Hassan FE.**

A new method for treating weeping canals: clinical and histopathologic study.  
Egypt Dent J 1995; 41: 1403-1408

**62. Hasselgren G, Olsson B, Cvek M.**

Effects of calcium hydroxide and sodium hypochlorite on the dissolution of necrotic porcine muscle tissue.  
J Endod 1988; 14: 125-127

**63. Hata G, Hayami S, Weine FS, Toda T.**

Effectiveness of oxidative potential water as root canal irrigant.  
Int Endod J 2001; 34: 308-317

**64. Heling I, Pecht M.**

Efficacy of Ledermix paste in eliminating *Staphylococcus aureus* from infected dentinal tubules in vitro.  
Endod Dent Traumatol 1991; 7: 251-254

**65. Heling I, Chandler NP.**

Antimicrobial effect of irrigant combinations within dentinal tubules.  
Int Endod J 1998; 31: 8-14

**66. Hellwig E, Klimek J, Attin TH.**

Einführung in die Zahnerhaltung. 3. Auflage  
München: Urban und Fischer Verlag, 2003

**67. Hermann BW.**

Kalziumhydroxid als Mittel zum Behandeln und Füllen von Zahnwurzelkanälen.  
Dissertation, Würzburg 1920

**68. Hermann JW, Heicht RC.**

Complications in therapeutic use of sodium hypochlorite.  
J Endod 1979; 5: 160

**69. Holcomb JQ, Pitts DL, Nichols JI.**

Further investigation of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation.  
J Endod 1987, 13: 277-284.

- 70. Horiba N, Maekawa Y, Abe Y, Ito M, Matsumoto T, Nakamura H.**  
Correlation between endotoxin and clinical symptoms or radiolucent areas in infected root canals.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1991; 71: 492-495
- 71. Hülsmann M.**  
Die Wurzelkanalspülung – Ziele, Mittel und Techniken  
Endodontie 1997; 6: 47-62
- 72. Hülsmann M, Denden JM.**  
Iatrogene Zwischenfälle bei der Wurzelkanalspülung – Literaturübersicht und Falldarstellung.  
Endodontie 1997; 6: 191-206
- 73. Hülsmann M, Hahn W.**  
Complications during root canal irrigation: literature review and case reports .  
Int Endod J 2000; 33: 186-193
- 74. Hülsmann M.**  
Die Aufbereitung des Wurzelkanals.  
In: Heidemann D, Hrsg. Praxis der Zahnheilkunde Band Endodontie. München, Jena: Urban und Fischer, 2001: 80-116
- 75. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A.**  
Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use.  
Int Endod J 2003; 36: 810-830
- 76. Jeansonne M, White RR.**  
A comparison of 2,0 % chlorhexidine gluconate and 5,25 % sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants.  
J Endod 1994; 20: 276-278
- 77. Joffe E.**  
Complications during root canal therapy following accidental extrusion of sodium hypochlorite through the apical foramen.  
Gen Dent 1991; 39: 460-461

- 78. Koba K, Kimura Y, Matsumoto K, Watanabe H, Shinoki T, Kojo R, Ito M.**  
Post-operative symptoms and healing after endodontic treatments of infected teeth using pulsed Nd:YAG laser.  
Endod Dent Traumatol 1999; 15: 68-72
- 79. Komorowski R, Grad H, Wu XY, Friedman S.**  
Antimicrobial substantivity of chlorhexidine-treated bovine root dentine.  
J Endod 2000; 26: 315-317
- 80. Kuruvilla JR, Kamath MP.**  
Antimicrobial activity of 2,5% sodium hypochlorite and 0,2% chlorhexidine gluconate separately and combined as endodontic irrigants.  
J Endod 1998; 24: 472-4763.
- 81. Lee SH, Lee CS, Strittmatter EJ.**  
An in vitro comparison of root canal content extrusion using ultrasonic and hand instrumentation.  
Endod Dent Traumatol 1991; 7: 65-68
- 82. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR.**  
The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different sized simulated plastic root canals.  
Int Endod J 2004(a); 37: 607-612
- 83. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR.**  
The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonic to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal wall.  
Int Endod J 2004(b); 37: 672- 678
- 84. Leonardo MR, da Silva LA, Leonardo RT, Utrilla LS, Assed S.**  
Histological evaluation of therapy using a calcium hydroxide dressing for teeth with incompletely formed apices and periapical lesions.  
J Endod 1993; 19: 348-452
- 85. Lertchirakarn V, Palmara JE, Messer HH.**  
Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture.  
J Endod 1999; 25: 99-104

- 86. Loe H, Rindom Schiott C.**  
The effect of mouthrinses and topical application of chlorhexidine on the development of dental plaque and gingivitis.  
Periodontal Res 1970; 5: 79-83
- 87. Lussi A, Messerli L, Hotz P, Grosrey J.**  
A new non – instrumental technique for cleaning and filling root canals.  
Int Endod J 1995; 28: 1-6
- 88. Lynne RE, Liewehr FR, West LA, Patton WR, Buxton TB, McPherson JC.**  
In vitro antimicrobial activity of various medication preparations on E faecalis in root canal dentine.  
J Endod 2003; 29: 187-190
- 89. McKinley IB, Ludlow MO.**  
Hazards of laser smoke during endodontic therapy.  
J Endod 1994; 20: 558-559
- 90. Mehl A, Folwaczny M, Haffner C, Hickel R.**  
Bacterial effects of 2.94 microns Er:YAG-laser radiation in dental root canals.  
J Endod 1999; 25: 490-493
- 91. Miserendino LJ.**  
Current endodontic instruments, materials, and drugs, and new techniques for their application.  
Curr Opin Dent 1992; 2: 78-84
- 92. Moore WE.**  
Microbiology of periodontal disease.  
J Periodontal Res 1987; 22: 335-341
- 93. Moritz A, Doertbudak O, Gutknecht N, Goharkhay K, Schoop U, Sperr W.**  
Nd:YAG Laser irradiation of infected root canals in combination with microbiological examinations.  
J Am Dent Assoc 1997; 128: 1525-1530

**94. Moritz A, Schoop U, Goharkay K, Jakolitsch S, Kluger W, Wernisch W, Sperr W.**

The antibacterial effect of Nd:YAG, Ho:YAG and Er:YAG laser irradiation in the root canal: an in vitro comparison.

J Clin Laser Med Surg 1999; 17: 161-164

**95. Moshonov I, Sion A, Kasirer J, Rotstein I, Stabholz A.**

Efficacy of argon laser irradiation in removing intracanal debris.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1995; 79: 221-225

**96. Motsch A, van Thiel R, Haas G.**

Klinische und bakterilogische Untersuchungen verschiedener Kortikoidpräparate zur Pulpitistherapie

Dtsch Zahnärztl Z 1968; 23: 233-239

**97. Nerwich A, Figdor D, Messer HH.**

ph changes in root dentin over a 4-week period following root canal dressing with calcium hydroxide.

J Endod 1993; 19: 302-306

**98. Nikiforuk G, Sreebny L.**

Demineralization of hard tissues by organic chelating agents of neutral pH.

J Dent Res 1953; 32: 859-867

**99. Niu W, Yoshiaka T, Kobayashi C, Suda H.**

A scanning electron microscopic study of dentinal erosion by final irrigation with EDTA and NaOCl solutions.

Int Endod J 2002; 35: 934-939

**100. Nolden R.**

Zahnerhaltungskunde.

Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1994

**101 . Nygaard Östby B.**

Chelation in root canal therapy.

Odontal Tidster 1957; 65: 3-11

**102. Ørstavik D, Haapasalo M.**

Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules.

Endod Dent Traumatol 1990; 6: 142-149

**103. Ørstavik D, Kerekes K, Molven O.**

Effects of extensive apical reaming and calcium hydroxide dressing on bacterial infection during treatment of apical periodontitis: a pilot study.

Int Endod J 1991; 24: 1-7.

**104. Parsons GJ, Patterson SS, Miller CH, Kata S, Kafrawy AH, Newton CW.**

Uptake and release of CHX by bovine pulp and dentine specimens and their subsequent acquisition of antibacterial properties.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1980; 49: 455-459

**105. Pataký L, Iványi I, Grigar Á, Fazakas Á.**

Antimicrobial efficacy of various root canal preparation techniques: an in vitro comparative study.

J Endod 2002; 28: 603-605

**106. Patterson CJ, McLundie AC.**

Apical penetration by a root canal irrigant: a case report.

Int Endod J 1989; 22: 197-199

**107. Peters LB, Harrison, JW.**

A comparison of leakage of filling materials in demineralized and non-demineralized resected root ends under vacuum and non-vacuum conditions

Int Endod J 1992; 25: 273-278

**108. Peters LB, Wesselink PR, Moorer WR.**

Penetration of bacteria in bovine root dentin in vitro.

Int Endod J 2000; 33: 28-36

**109. Peters LB, Wesselink PR, Buijs JF, van Winkelhoff AJ.**

Viable bacteria in root dentinal tubules of teeth with apical periodontitis.

J Endod 2001; 27: 76-81

**110. Peters LB, Wesselink PR.**

Periapical healing of endodontically treated teeth in one and two visits obturated in the presence of absence of detectable mikroorganisms.

Int Endod J 2002(a); 35: 660-667

**111. Peters LB, van Winkelhoff AJ, Buijs JF, Wesselink PR.**

Effects of instrumentation, irrigation and dressing with calcium hydroxide on infection in pulpless teeth with periapical bone lesions.

Int Endod J 2002 (b); 35: 13-21

**112. Petschelt A, Ebert J, Hickel R.**

Dichtigkeit von Wurzelfüllungen in schmierschichtfreien Wurzelkanälen.

Dtsch Zahnärztl Z 1988; 43: 884-886

**113. Piccolomini R, D`Arangelo C, D`Ercole S, Catamo G, Schiaffino G, Fazio P.**

Bacteriologic evaluation of the effect of Nd:YAG laser irradiation in experimental infected root canals.

J Endod 2002; 28: 276-278

**114. Proell F.**

Über die Eigenschaft des Calxyls und seine Vorzüge vor anderen in der zahnärztlichen Praxis angewandten Medikamenten.

Zahnärztl. Pdsch 1949; 14:255-259

**115. Reeh ES, Messer HH.**

Long - term paresthesia following inadvertent forcing of sodium hypochlorite through perforation in incisor.

Endod Dent Traumatol 1989; 5: 200-203

**116. Reeves R, Stanely HR.**

The relationship of bacterial penetration and pulpal pathosis in carious teeth.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1966; 22: 59-65

**117. Reit C, Molander A, Dahlen G.**

The diagnostic accuracy of microbiologic root canal sampling and the influence of antimicrobial dressings.

Endod Dent Traumatol 1999; 15: 278- 283

- 118. Rollison S, Barnett F, Stevens RH.**  
Efficacy of bacterial removal from instrumented root canals in vitro related to Instrumentation technique and size.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Radiol Endod 2002; 94: 366-371
- 119. Saarinen-Savolainen P, Jarvinen T, Araki- Sasaki K, Watanabe H, Urtti A.**  
Evaluation of cytotoxicity of various ophtalmic drugs, eye drop excipients and cyclodextrins in an immortalized human corneal epithelial cell line.  
Pharm Res 1998; 15: 1275-1280
- 120. Safavi KE, Nichols FC.**  
Effect of calcium hydroxide on bacterial lipopolysaccharide.  
J Endod 1993; 19: 76-78
- 121. Saquy PC, Maia Campos G, Sousa Neto MD, Guimares LF, Pecora JD.**  
Evaluation of chelating action of EDTA in association with Dakin`s Solution.  
Braz Dent J 1994; 5: 65-70
- 122. Sarbinoff JA, O`Leary TJ, Miller CH.**  
The comparative effectiveness of various agents in the detoxifying diseased root surfaces.  
J Periodontal 1983; 54: 77-88
- 123. Schäfer E.**  
Wurzelkanalaufbereitung.  
Dtsch Zahnärztl Z 2000; 11: 730-740
- 124. Schäfer E, Bössmann K.**  
Antimicrobial effects of chloroxylenol and chlorhexidine in the treatment of infected root canals.  
Am J Dent 2001; 14: 233-237
- 125. Schäfer E, Bössmann K.**  
Antimicrobial efficacy of chlorhexidine and two calcium hydroxide formulations against Enterococcus faecalis.  
J Endod 2005; 31: 53-56

**126. Schilder H, Amsterdam M.**

Inflammatory potential of root canal medicaments - a preliminary report including nonspecific drugs.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1959; 12: 211-221

**127. Schoop U, Moritz A, Kluger W, Patruta S, Goharkhay K, Sperr W, Wernisch J, Gattringer R, Mrass P, Georgopoulos A.**

The ER:YAG laser in endodontics: results of an in vitro study.

Lasers Surg Med 2002; 30: 360-364

**128. Sedgley CM, Nagel AC, Hall D, Appelgate B.**

Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro.

Int Endod J 2005; 38: 97-104

**129. Segura JJ, Jimenez – Rubio A, Guerrero JM, Calvo JR.**

Comparative effects of two endodontic irrigants, chlorhexidine digluconate and sodium hypochlorite, on macrophage adhesion to plastic surface.

J Endod 1999; 25: 243-246

**130. Sen BH, Piskin B, Demirci T.**

Observation of bacteria and fungi in infected root canals and dentinal tubules by SEM.

Endod Dent Traumatol 1995; 11:6-9

**131. Senia ES, Marraro RV, Mitchell JL.**

Rapid sterilization of gutta-percha cones with 5,25% sodium hypochlorite and hydrogen peroxide versus normal saline solution.

J Endod 1975 ; 1: 136-140

**132. Serper A, Özbek M, Calt S.**

Accidental sodium hypochlorite – induced skin injury during endodontic treatment.

J Endod 2004; 30: 180-181

- 133. Setlock J, Fayad MI, BeGole E, Bruzick M.**  
Evaluation of canal cleanliness and smear layer removal after the use of the Quantec-E irrigating system and syringe: a comparative scanning electron microscope study.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Radiol Endod 2003; 96: 615-617
- 134. Shuping GB, Orstavik D, Sigurdsson A, Trop M.**  
Reduction of intracoronary bacteria using Nickel- Titanium rotary instrumentation and various medicaments.  
J Endod 2000; 26: 751-755
- 135. Silva L, Nelson-Filho P, Leonardo MR, Rossi MA, Pausani CA.**  
Effect of calcium hydroxide on bacterial endotoxine in vivo.  
J Endod 2002; 28: 94-98
- 136. Siqueira Junior JF, Lima KC, Magalhaes FA, Lopes HP, de Uzeda M.**  
Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques.  
J Endod 1999; 25: 332-335
- 137. Siqueira JF Jr, Rocas IN, Favieri A, Lima KC.**  
Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigating with 1,25% und 5,25% sodium hypochlorite.  
J Endod 2000; 26: 331-334
- 138. Sirén EK, Haapasalo MP, Ranta K, Salmi P, Kerosuo EN.**  
Microbiological findings and clinical treatment procedures in endodontic cases selected for microbiological investigation.  
Int Endod J 1997; 30: 91-95
- 139. Sjögren U, Figdor D, Spanberg L, Sundqvist G.**  
The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short- term intracanal dressing.  
Int Endod J 1991; 24: 119-125
- 140. Spagberg L, Engström B, Langeland K.**  
Biologic effects of dental materials. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1973; 36: 856-871

- 141. Stabholz A, Kettering J, Neer J, Torabinejad M.**  
Effects of the XeCl excimer laser on *Streptococcus mutans*.  
J Endod 1993; 19: 232-235
- 142. Strindberg LZ.**  
The dependence of the results of pulp therapy on certain factors. An analytical  
based on radiographic and clinical follow-up examinations.  
Acta Odontol Scand 1956, 21: 1-174
- 143. Svec TA, Harrison JW.**  
Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium  
hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution.  
J Endod 1977; 3: 49-53
- 144. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K.**  
A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants  
and two types of laser.  
Int Endod 1999; 32: 32-39
- 145. Torabinejad M, Khademi A, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K,  
Kim J, Shabahang S.**  
A new solution for the removal of the Smear Layer.  
J Endod 2003; 29: 171-175
- 146. Turkun M, Cengiz T.**  
The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution  
and root canal cleanliness.  
Int Endod J 1997; 30: 335-342
- 147. Vahdaty A, Pitt Ford TR, Wilson RF.**  
Efficacy of chlorhexidine in disinfecting dentinal tubules in vitro.  
Endod Dent Traumatol 1993; 9:243-248
- 148. Wadachi R, Arai K, Suda H.**  
Effect of calcium hydroxide on the dissolution of soft tissue on the root canal  
wall.  
J Endod 1998; 24: 326-330

- 149. Walker A.**  
A definite and dependable therapy for pulpless teeth.  
J Am Dent Assoc 1936; 23: 1418-1425
- 150. Walters MJW, Baumgartner JC, Marshal JG.**  
Efficacy of Irrigation with Rotary Instrumentation.  
J Endod 2002; 28: 837-839
- 151. Waltimo TM, Siren EK, Torrko HL, Olsen I, Haapasalo MP.**  
Fungi in therapy- resistant apical periodntitis.  
Int Endod J 1997; 30: 96-101
- 152. Weinreb MM, Meier E.**  
The relative efficiency of EDTA, sulfuric Acid, and mechanical instrumentation in  
The enlargement of root canals.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1965; 19: 247-252
- 153. Weller RN, Brady JM, Bernier WE.**  
Efficacy of ultrasonic cleaning.  
J Endod 1980; 6: 740-743
- 154. White RR, Janer LR, Hays GL.**  
Residual antimicrobial activity associated with a chlorhexidine endodontic irrigant  
used with sodium hypochlorite.  
Am J Dent 1999; 12: 148-150
- 155. Yamada RS, Armas A, Goldmann M, Lin PS.**  
A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with  
several irrigating solutions.  
J Endod 1983; 9: 137-142
- 156. Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyos S, Sekine J.**  
Chemical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant.  
J Endod 1995; 21: 592-593
- 157. Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Seuer B, Waltimo T.**  
Tissuedissolving capacity and antimicrobial effect of buffered and unbuffered  
hypochlorite solutions.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2002; 94: 755-762

**158. Zehnder M, Grawehr M, Hasselgren G, Waltimo TM.**

Tissue dissolution capacity and dentin disinfection potential of calcium hydroxide mixed with irrigating solutions.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Radiol Endod 2003; 96: 608-613

**159. Zehnder M, Lehnert B, Schönberger K, Waltimo T.**

Irrigating solutions and intracanal medicaments in endodontics.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 2003; 113: 756-763

## 7. Anhang

### 7.1. Herstellerverzeichnis

Dürr Dental	Bietigheim-Bissingheim	Deutschland
EMS	München	Deutschland
Eppendorf	Hamburg	Deutschland
Exakt	Norderstedt	Deutschland
Fuji	Düsseldorf	Deutschland
Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG	Lemgo	Deutschland
KaVo Dental GmbH	Biberach/Riss	Deutschland
Kodak	Stuttgart	Deutschland
Merck	Darmstadt	Deutschland
Merck-Schuchard	Hohenbrunn	Deutschland
Nikon	Düsseldorf	Deutschland
Premier Dental	Norristown	USA
Siemens AG	Berlin/München	Deutschland
Sigma Alderich	St. Louis	USA
Soredex	Tuusula	Finnland
SPSS Inc.	Chicago	USA
VDW	München	Deutschland
Wiegmann Dental	Bonn	Deutschland
Wild	Heerburg	Schweiz
Yoshida Dental Mfg. Co.	Tokio	Japan

## 7.2. Tabellen und Diagramme

### 7.2.1. Ergebnistabelle

Tabelle: 11

#### Legende

**Zahn:** Präparatnummer

**Zahnart:** 1=Frontzahn; 2=Prämolar; 3=Molar

**Behandlung:** 1=statische Lösung; 2=dynamische Spülung; 3= Piezon Master 400®

**Abstand:** 2= 2 mm; 4=4 mm; 6=6 mm; 8=8 mm; 10=10 mm;

entspricht der Entfernung in Millimeter vom Apex; (Abstand 10 mm wurde aufgrund vieler fehlender Werte nicht berücksichtigt)

**Messstrecke:** 1=mesial; 2=distal; 3=oral; 4=vestibulär

**Orientierung:** 1=mesial-distal; 2=oral-vestibulär

**Penetrationstiefe:** Angaben in Millimeter

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
1	1	1	2	1	1	0,00
1	1	1	4	1	1	0,16
1	1	1	6	1	1	0,76
1	1	1	8	1	1	2,08
1	1	1	10	1	1	0,00
1	1	1	2	2	1	0,40
1	1	1	4	2	1	0,60
1	1	1	6	2	1	0,12
1	1	1	8	2	1	0,00
1	1	1	10	2	1	1,76
1	1	1	2	3	2	0,00
1	1	1	4	3	2	0,00
1	1	1	6	3	2	0,28
1	1	1	8	3	2	0,00
1	1	1	10	3	2	0,00
1	1	1	2	4	2	0,00
1	1	1	4	4	2	0,00
1	1	1	6	4	2	2,00
1	1	1	8	4	2	1,36
1	1	1	10	4	2	0,00
2	1	1	2	1	1	0,00
2	1	1	4	1	1	0,00

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
2	1	1	6	1	1	0,00
2	1	1	8	1	1	0,00
2	1	1	10	1	1	0,00
2	1	1	2	2	1	0,00
2	1	1	4	2	1	0,00
2	1	1	6	2	1	0,00
2	1	1	8	2	1	0,00
2	1	1	10	2	1	0,04
2	1	1	2	3	2	0,00
2	1	1	4	3	2	0,00
2	1	1	6	3	2	0,00
2	1	1	8	3	2	0,00
2	1	1	10	3	2	0,00
2	1	1	2	4	2	0,00
2	1	1	4	4	2	0,00
2	1	1	6	4	2	0,00
2	1	1	8	4	2	0,00
2	1	1	10	4	2	0,08
3	1	1	2	1	1	0,04
3	1	1	4	1	1	0,22
3	1	1	6	1	1	0,36
3	1	1	8	1	1	0,84
3	1	1	10	1	1	0,08
3	1	1	2	2	1	0,02
3	1	1	4	2	1	0,12
3	1	1	6	2	1	0,24
3	1	1	8	2	1	0,08
3	1	1	10	2	1	1,00
3	1	1	2	3	2	0,08
3	1	1	4	3	2	0,16
3	1	1	6	3	2	0,12
3	1	1	8	3	2	0,20
3	1	1	10	3	2	0,50
3	1	1	2	4	2	0,02
3	1	1	4	4	2	0,10
3	1	1	6	4	2	0,40
3	1	1	8	4	2	0,24
3	1	1	10	4	2	0,54
4	1	1	2	1	1	0,00
4	1	1	4	1	1	0,00
4	1	1	6	1	1	0,00
4	1	1	8	1	1	0,00
4	1	1	10	1	1	0,00
4	1	1	2	2	1	0,00
4	1	1	4	2	1	0,08
4	1	1	6	2	1	0,00

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
4	1	1	8	2	1	0,00
4	1	1	10	2	1	0,00
4	1	1	2	3	2	0,00
4	1	1	4	3	2	0,00
4	1	1	6	3	2	0,00
4	1	1	8	3	2	0,10
4	1	1	10	3	2	0,02
4	1	1	2	4	2	0,00
4	1	1	4	4	2	0,00
4	1	1	6	4	2	0,00
4	1	1	8	4	2	0,00
4	1	1	10	4	2	0,00
5	1	1	2	1	1	0,00
5	1	1	4	1	1	0,00
5	1	1	6	1	1	0,00
5	1	1	8	1	1	0,32
5	1	1	10	1	1	0,40
5	1	1	2	2	1	0,08
5	1	1	4	2	1	0,00
5	1	1	6	2	1	0,06
5	1	1	8	2	1	0,24
5	1	1	10	2	1	0,16
5	1	1	2	3	2	0,02
5	1	1	4	3	2	0,00
5	1	1	6	3	2	0,00
5	1	1	8	3	2	0,08
5	1	1	10	3	2	0,28
5	1	1	2	4	2	0,14
5	1	1	4	4	2	0,00
5	1	1	6	4	2	0,00
5	1	1	8	4	2	0,12
5	1	1	10	4	2	0,26
6	1	1	2	1	1	0,00
6	1	1	4	1	1	0,00
6	1	1	6	1	1	0,00
6	1	1	8	1	1	0,00
6	1	1	10	1	1	0,20
6	1	1	2	2	1	0,00
6	1	1	4	2	1	0,00
6	1	1	6	2	1	0,00
6	1	1	8	2	1	0,20
6	1	1	10	2	1	0,20
6	1	1	2	3	2	0,00
6	1	1	4	3	2	0,00
6	1	1	6	3	2	0,00
6	1	1	8	3	2	0,00

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
6	1	1	10	3	2	0,00
6	1	1	2	4	2	0,00
6	1	1	4	4	2	0,00
6	1	1	6	4	2	0,00
6	1	1	8	4	2	0,00
6	1	1	10	4	2	0,00
7	1	1	2	1	1	0,06
7	1	1	4	1	1	0,06
7	1	1	6	1	1	0,00
7	1	1	8	1	1	0,00
7	1	1	10	1	1	0,00
7	1	1	2	2	1	0,20
7	1	1	4	2	1	0,12
7	1	1	6	2	1	0,00
7	1	1	8	2	1	0,00
7	1	1	10	2	1	0,00
7	1	1	2	3	2	0,88
7	1	1	4	3	2	1,16
7	1	1	6	3	2	0,00
7	1	1	8	3	2	0,00
7	1	1	10	3	2	0,00
7	1	1	2	4	2	0,36
7	1	1	4	4	2	0,00
7	1	1	6	4	2	0,12
7	1	1	8	4	2	0,00
7	1	1	10	4	2	0,04
8	2	1	2	1	1	0,00
8	2	1	4	1	1	0,00
8	2	1	6	1	1	0,00
8	2	1	8	1	1	1,20
8	2	1	10	1	1	1,36
8	2	1	2	2	1	0,40
8	2	1	4	2	1	0,22
8	2	1	6	2	1	0,84
8	2	1	8	2	1	0,10
8	2	1	10	2	1	1,71
8	2	1	2	3	2	0,00
8	2	1	4	3	2	0,00
8	2	1	6	3	2	1,44
8	2	1	8	3	2	2,04
8	2	1	10	3	2	1,50
8	2	1	2	4	2	0,00
8	2	1	4	4	2	0,00
8	2	1	6	4	2	0,58
8	2	1	8	4	2	1,68
8	2	1	10	4	2	1,79

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstecke	Orientierung	Penetrationstiefe
9	2	1	2	1	1	0,08
9	2	1	4	1	1	0,00
9	2	1	6	1	1	0,00
9	2	1	8	1	1	1,00
9	2	1	10			
9	2	1	2	2	1	0,00
9	2	1	4	2	1	0,00
9	2	1	6	2	1	0,00
9	2	1	8	2	1	0,02
9	2	1	10			
9	2	1	2	3	2	0,00
9	2	1	4	3	2	0,00
9	2	1	6	3	2	0,00
9	2	1	8	3	2	0,64
9	2	1	10			
9	2	1	2	4	2	0,16
9	2	1	4	4	2	0,00
9	2	1	6	4	2	0,00
9	2	1	8	4	2	0,60
9	2	1	10			
10	2	1	2	1	1	0,00
10	2	1	4	1	1	0,00
10	2	1	6	1	1	0,00
10	2	1	8	1	1	0,12
10	2	1	10			
10	2	1	2	2	1	0,00
10	2	1	4	2	1	0,00
10	2	1	6	2	1	0,00
10	2	1	8	2	1	0,00
10	2	1	10			
10	2	1	2	3	2	0,02
10	2	1	4	3	2	0,00
10	2	1	6	3	2	0,00
10	2	1	8	3	2	0,40
10	2	1	10			
10	2	1	2	4	2	0,00
10	2	1	4	4	2	0,00
10	2	1	6	4	2	0,00
10	2	1	8	4	2	0,00
10	2	1	10			
11	2	1	2	1	1	0,00
11	2	1	4	1	1	0,00
11	2	1	6	1	1	0,00
11	2	1	8	1	1	0,12
11	2	1	10			
11	2	1	2	2	1	0,00

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
11	2	1	4	2	1	0,00
11	2	1	6	2	1	0,00
11	2	1	8	2	1	0,28
11	2	1	10			
11	2	1	2	3	2	0,00
11	2	1	4	3	2	0,00
11	2	1	6	3	2	0,00
11	2	1	8	3	2	0,00
11	2	1	10			
11	2	1	2	4	2	0,00
11	2	1	4	4	2	0,00
11	2	1	6	4	2	0,00
11	2	1	8	4	2	0,00
11	2	1	10			
12	3	1	2	1	1	0,00
12	3	1	4	1	1	0,00
12	3	1	6	1	1	0,00
12	3	1	8	1	1	0,00
12	3	1	10			
12	3	1	2	2	1	0,00
12	3	1	4	2	1	0,00
12	3	1	6	2	1	0,00
12	3	1	8	2	1	0,00
12	3	1	10			
12	3	1	2	3	2	0,00
12	3	1	4	3	2	0,00
12	3	1	6	3	2	0,00
12	3	1	8	3	2	0,00
12	3	1	10			
12	3	1	2	4	2	0,00
12	3	1	4	4	2	0,00
12	3	1	6	4	2	0,00
12	3	1	8	4	2	0,00
12	3	1	10			
13	3	1	2	1	1	0,06
13	3	1	4	1	1	0,00
13	3	1	6	1	1	0,36
13	3	1	8	1	1	0,28
13	3	1	10			
13	3	1	2	2	1	0,06
13	3	1	4	2	1	0,06
13	3	1	6	2	1	0,20
13	3	1	8	2	1	0,44
13	3	1	10			
13	3	1	2	3	2	0,20
13	3	1	4	3	2	0,00

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
13	3	1	6	3	2	0,76
13	3	1	8	3	2	1,00
13	3	1	10			
13	3	1	2	4	2	0,06
13	3	1	4	4	2	0,20
13	3	1	6	4	2	0,68
13	3	1	8	4	2	0,00
13	3	1	10			
14	3	1	2	1	1	0,08
14	3	1	4	1	1	0,08
14	3	1	6	1	1	0,00
14	3	1	8	1	1	0,08
14	3	1	10			
14	3	1	2	2	1	0,00
14	3	1	4	2	1	0,16
14	3	1	6	2	1	1,28
14	3	1	8	2	1	0,36
14	3	1	10			
14	3	1	2	3	2	0,02
14	3	1	4	3	2	0,02
14	3	1	6	3	2	0,00
14	3	1	8	3	2	0,20
14	3	1	10			
14	3	1	2	4	2	0,02
14	3	1	4	4	2	0,04
14	3	1	6	4	2	2,12
14	3	1	8	4	2	0,12
14	3	1	10			
15	3	1	2	1	1	0,00
15	3	1	4	1	1	0,00
15	3	1	6	1	1	0,00
15	3	1	8	1	1	0,00
15	3	1	10			
15	3	1	2	2	1	0,00
15	3	1	4	2	1	0,00
15	3	1	6	2	1	0,00
15	3	1	8	2	1	0,00
15	3	1	10			
15	3	1	2	3	2	0,00
15	3	1	4	3	2	0,00
15	3	1	6	3	2	0,00
15	3	1	8	3	2	0,00
15	3	1	10			
15	3	1	2	4	2	0,00
15	3	1	4	4	2	0,00
15	3	1	6	4	2	0,00

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
15	3	1	8	4	2	0,00
15	3	1	10			
16	1	2	2	1	1	0,02
16	1	2	4	1	1	0,00
16	1	2	6	1	1	0,24
16	1	2	8	1	1	0,64
16	1	2	10	1	1	0,61
16	1	2	2	2	1	0,18
16	1	2	4	2	1	0,00
16	1	2	6	2	1	0,06
16	1	2	8	2	1	0,14
16	1	2	10	2	1	0,29
16	1	2	2	3	2	0,02
16	1	2	4	3	2	0,06
16	1	2	6	3	2	0,08
16	1	2	8	3	2	0,52
16	1	2	10	3	2	0,21
16	1	2	2	4	2	0,18
16	1	2	4	4	2	0,00
16	1	2	6	4	2	1,00
16	1	2	8	4	2	0,36
16	1	2	10	4	2	0,21
17	1	2	2	1	1	0,00
17	1	2	4	1	1	0,00
17	1	2	6	1	1	0,44
17	1	2	8	1	1	0,20
17	1	2	10			
17	1	2	2	2	1	0,00
17	1	2	4	2	1	0,00
17	1	2	6	2	1	0,36
17	1	2	8	2	1	0,22
17	1	2	10			
17	1	2	2	3	2	0,00
17	1	2	4	3	2	0,00
17	1	2	6	3	2	0,38
17	1	2	8	3	2	0,24
17	1	2	10			
17	1	2	2	4	2	0,00
17	1	2	4	4	2	0,00
17	1	2	6	4	2	0,44
17	1	2	8	4	2	0,22
17	1	2	10			
18	1	2	2	1	1	0,18
18	1	2	4	1	1	0,14
18	1	2	6	1	1	0,00
18	1	2	8	1	1	0,12

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
18	1	2	10	1	1	0,92
18	1	2	2	2	1	0,12
18	1	2	4	2	1	0,10
18	1	2	6	2	1	0,00
18	1	2	8	2	1	0,06
18	1	2	10	2	1	0,28
18	1	2	2	3	2	0,24
18	1	2	4	3	2	0,58
18	1	2	6	3	2	0,06
18	1	2	8	3	2	0,06
18	1	2	10	3	2	0,08
18	1	2	2	4	2	0,10
18	1	2	4	4	2	0,24
18	1	2	6	4	2	0,08
18	1	2	8	4	2	0,10
18	1	2	10	4	2	0,08
19	1	2	2	1	1	0,00
19	1	2	4	1	1	0,00
19	1	2	6	1	1	0,00
19	1	2	8	1	1	0,00
19	1	2	10	1	1	0,20
19	1	2	2	2	1	0,00
19	1	2	4	2	1	0,00
19	1	2	6	2	1	0,00
19	1	2	8	2	1	0,00
19	1	2	10	2	1	0,02
19	1	2	2	3	2	0,00
19	1	2	4	3	2	0,00
19	1	2	6	3	2	0,00
19	1	2	8	3	2	0,00
19	1	2	10	3	2	0,02
19	1	2	2	4	2	0,00
19	1	2	4	4	2	0,00
19	1	2	6	4	2	0,00
19	1	2	8	4	2	0,08
19	1	2	10	4	2	0,02
20	1	2	2	1	1	0,20
20	1	2	4	1	1	0,32
20	1	2	6	1	1	0,00
20	1	2	8	1	1	0,54
20	1	2	10	1	1	0,08
20	1	2	2	2	1	0,00
20	1	2	4	2	1	0,20
20	1	2	6	2	1	0,00
20	1	2	8	2	1	0,18
20	1	2	10	2	1	0,24

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
20	1	2	2	3	2	0,36
20	1	2	4	3	2	0,20
20	1	2	6	3	2	0,00
20	1	2	8	3	2	0,00
20	1	2	10	3	2	0,00
20	1	2	2	4	2	0,00
20	1	2	4	4	2	0,16
20	1	2	6	4	2	0,00
20	1	2	8	4	2	0,14
20	1	2	10	4	2	0,06
21	1	2	2	1	1	0,12
21	1	2	4	1	1	1,00
21	1	2	6	1	1	0,57
21	1	2	8	1	1	0,50
21	1	2	10	1	1	0,00
21	1	2	2	2	1	0,04
21	1	2	4	2	1	0,36
21	1	2	6	2	1	0,79
21	1	2	8	2	1	1,71
21	1	2	10	2	1	0,21
21	1	2	2	3	2	0,04
21	1	2	4	3	2	0,00
21	1	2	6	3	2	0,43
21	1	2	8	3	2	1,14
21	1	2	10	3	2	0,18
21	1	2	2	4	2	0,16
21	1	2	4	4	2	1,93
21	1	2	6	4	2	1,57
21	1	2	8	4	2	1,57
21	1	2	10	4	2	0,18
22	1	2	2	1	1	0,00
22	1	2	4	1	1	0,00
22	1	2	6	1	1	0,00
22	1	2	8	1	1	0,12
22	1	2	10	1	1	0,40
22	1	2	2	2	1	0,00
22	1	2	4	2	1	0,00
22	1	2	6	2	1	0,00
22	1	2	8	2	1	0,00
22	1	2	10	2	1	0,38
22	1	2	2	3	2	0,00
22	1	2	4	3	2	0,00
22	1	2	6	3	2	0,00
22	1	2	8	3	2	0,14
22	1	2	10	3	2	0,00
22	1	2	2	4	2	0,00

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
22	1	2	4	4	2	0,00
22	1	2	6	4	2	0,00
22	1	2	8	4	2	0,04
22	1	2	10	4	2	0,44
23	2	2	2	1	1	0,00
23	2	2	4	1	1	0,21
23	2	2	6	1	1	1,14
23	2	2	8	1	1	1,64
23	2	2	10	1	1	1,00
23	2	2	2	2	1	0,00
23	2	2	4	2	1	0,14
23	2	2	6	2	1	1,64
23	2	2	8	2	1	1,50
23	2	2	10	2	1	1,29
23	2	2	2	3	2	0,00
23	2	2	4	3	2	0,24
23	2	2	6	3	2	1,57
23	2	2	8	3	2	2,14
23	2	2	10	3	2	1,36
23	2	2	2	4	2	0,00
23	2	2	4	4	2	0,24
23	2	2	6	4	2	2,21
23	2	2	8	4	2	1,43
23	2	2	10	4	2	1,57
24	2	2	2	1	1	0,00
24	2	2	4	1	1	0,00
24	2	2	6	1	1	0,00
24	2	2	8	1	1	1,21
24	2	2	10	1	1	1,32
24	2	2	2	2	1	0,00
24	2	2	4	2	1	0,00
24	2	2	6	2	1	0,00
24	2	2	8	2	1	0,79
24	2	2	10	2	1	1,18
24	2	2	2	3	2	0,00
24	2	2	4	3	2	0,00
24	2	2	6	3	2	0,00
24	2	2	8	3	2	0,61
24	2	2	10	3	2	1,11
24	2	2	2	4	2	0,00
24	2	2	4	4	2	0,00
24	2	2	6	4	2	0,00
24	2	2	8	4	2	2,00
24	2	2	10	4	2	2,04
25	2	2	2	1	1	0,24
25	2	2	4	1	1	0,12

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
25	2	2	6	1	1	1,21
25	2	2	8	1	1	1,29
25	2	2	10	1	1	0,61
25	2	2	2	2	1	0,00
25	2	2	4	2	1	0,00
25	2	2	6	2	1	0,07
25	2	2	8	2	1	0,07
25	2	2	10	2	1	0,54
25	2	2	2	3	2	0,04
25	2	2	4	3	2	0,16
25	2	2	6	3	2	1,93
25	2	2	8	3	2	1,14
25	2	2	10	3	2	1,36
25	2	2	2	4	2	0,10
25	2	2	4	4	2	0,40
25	2	2	6	4	2	2,07
25	2	2	8	4	2	2,32
25	2	2	10	4	2	1,07
26	2	2	2	1	1	0,18
26	2	2	4	1	1	0,32
26	2	2	6	1	1	1,21
26	2	2	8	1	1	1,25
26	2	2	10	1	1	1,07
26	2	2	2	2	1	0,06
26	2	2	4	2	1	0,00
26	2	2	6	2	1	1,32
26	2	2	8	2	1	0,54
26	2	2	10	2	1	1,32
26	2	2	2	3	2	0,08
26	2	2	4	3	2	0,20
26	2	2	6	3	2	0,36
26	2	2	8	3	2	1,21
26	2	2	10	3	2	2,07
26	2	2	2	4	2	0,12
26	2	2	4	4	2	1,12
26	2	2	6	4	2	2,21
26	2	2	8	4	2	2,32
26	2	2	10	4	2	2,00
27	3	2	2	1	1	0,00
27	3	2	4	1	1	0,00
27	3	2	6	1	1	0,12
27	3	2	8	1	1	0,28
27	3	2	10	1	1	0,26
27	3	2	2	2	1	0,00
27	3	2	4	2	1	0,00
27	3	2	6	2	1	0,04

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messsrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
27	3	2	8	2	1	0,32
27	3	2	10	2	1	0,00
27	3	2	2	3	2	0,00
27	3	2	4	3	2	0,00
27	3	2	6	3	2	0,02
27	3	2	8	3	2	0,06
27	3	2	10	3	2	0,12
27	3	2	2	4	2	0,00
27	3	2	4	4	2	0,00
27	3	2	6	4	2	0,16
27	3	2	8	4	2	0,28
27	3	2	10	4	2	0,34
28	3	2	2	1	1	0,04
28	3	2	4	1	1	0,00
28	3	2	6	1	1	0,28
28	3	2	8	1	1	0,64
28	3	2	10			
28	3	2	2	2	1	0,06
28	3	2	4	2	1	0,02
28	3	2	6	2	1	0,36
28	3	2	8	2	1	1,21
28	3	2	10			
28	3	2	2	3	2	0,04
28	3	2	4	3	2	0,00
28	3	2	6	3	2	0,20
28	3	2	8	3	2	0,36
28	3	2	10			
28	3	2	2	4	2	0,04
28	3	2	4	4	2	0,02
28	3	2	6	4	2	0,48
28	3	2	8	4	2	1,43
28	3	2	10			
29	3	2	2	1	1	0,00
29	3	2	4	1	1	0,12
29	3	2	6	1	1	0,00
29	3	2	8	1	1	0,62
29	3	2	10	1	1	1,04
29	3	2	2	2	1	0,00
29	3	2	4	2	1	0,00
29	3	2	6	2	1	0,00
29	3	2	8	2	1	1,44
29	3	2	10	2	1	1,00
29	3	2	2	3	2	0,00
29	3	2	4	3	2	0,00
29	3	2	6	3	2	0,00
29	3	2	8	3	2	0,94

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Oreintierung	Penetrationstiefe
29	3	2	10	3	2	0,86
29	3	2	2	4	2	0,36
29	3	2	4	4	2	0,24
29	3	2	6	4	2	0,50
29	3	2	8	4	2	0,74
29	3	2	10	4	2	0,71
30	3	2	2	1	1	0,04
30	3	2	4	1	1	0,40
30	3	2	6	1	1	0,38
30	3	2	8	1	1	0,56
30	3	2	10			
30	3	2	2	2	1	0,14
30	3	2	4	2	1	0,00
30	3	2	6	2	1	0,46
30	3	2	8	2	1	0,76
30	3	2	10			
30	3	2	2	3	2	0,20
30	3	2	4	3	2	1,04
30	3	2	6	3	2	0,52
30	3	2	8	3	2	1,20
30	3	2	10			
30	3	2	2	4	2	0,04
30	3	2	4	4	2	0,00
30	3	2	6	4	2	1,06
30	3	2	8	4	2	0,96
30	3	2	10			
31	1	3	2	1	1	0,12
31	1	3	4	1	1	0,06
31	1	3	6	1	1	1,18
31	1	3	8	1	1	0,00
31	1	3	10	1	1	0,00
31	1	3	2	2	1	0,08
31	1	3	4	2	1	0,10
31	1	3	6	2	1	0,26
31	1	3	8	2	1	0,32
31	1	3	10	2	1	0,21
31	1	3	2	3	2	0,24
31	1	3	4	3	2	1,44
31	1	3	6	3	2	2,14
31	1	3	8	3	2	2,04
31	1	3	10	3	2	1,43
31	1	3	2	4	2	0,20
31	1	3	4	4	2	0,96
31	1	3	6	4	2	1,86
31	1	3	8	4	2	1,96
31	1	3	10	4	2	1,36

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
32	1	3	2	1	1	0,04
32	1	3	4	1	1	0,82
32	1	3	6	1	1	0,79
32	1	3	8	1	1	1,25
32	1	3	10			
32	1	3	2	2	1	0,50
32	1	3	4	2	1	1,25
32	1	3	6	2	1	1,00
32	1	3	8	2	1	2,46
32	1	3	10			
32	1	3	2	3	2	0,11
32	1	3	4	3	2	1,36
32	1	3	6	3	2	1,57
32	1	3	8	3	2	1,07
32	1	3	10			
32	1	3	2	4	2	1,57
32	1	3	4	4	2	1,86
32	1	3	6	4	2	1,71
32	1	3	8	4	2	1,75
32	1	3	10			
33	1	3	2	1	1	0,64
33	1	3	4	1	1	0,64
33	1	3	6	1	1	1,43
33	1	3	8	1	1	0,11
33	1	3	10	1	1	1,29
33	1	3	2	2	1	0,00
33	1	3	4	2	1	0,00
33	1	3	6	2	1	0,00
33	1	3	8	2	1	0,07
33	1	3	10	2	1	0,00
33	1	3	2	3	2	0,18
33	1	3	4	3	2	0,18
33	1	3	6	3	2	0,24
33	1	3	8	3	2	0,36
33	1	3	10	3	2	0,00
33	1	3	2	4	2	0,00
33	1	3	4	4	2	0,00
33	1	3	6	4	2	0,00
33	1	3	8	4	2	0,36
33	1	3	10	4	2	1,21
34	1	3	2	1	1	0,84
34	1	3	4	1	1	0,86
34	1	3	6	1	1	0,14
34	1	3	8	1	1	0,96
34	1	3	10			
34	1	3	2	2	1	0,86

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
34	1	3	4	2	1	1,14
34	1	3	6	2	1	0,36
34	1	3	8	2	1	1,18
34	1	3	10			
34	1	3	2	3	2	1,22
34	1	3	4	3	2	1,50
34	1	3	6	3	2	0,20
34	1	3	8	3	2	0,18
34	1	3	10			
34	1	3	2	4	2	1,22
34	1	3	4	4	2	1,86
34	1	3	6	4	2	0,02
34	1	3	8	4	2	1,57
34	1	3	10			
35	1	3	2	1	1	0,18
35	1	3	4	1	1	0,32
35	1	3	6	1	1	0,32
35	1	3	8	1	1	1,14
35	1	3	10	1	1	0,89
35	1	3	2	2	1	0,10
35	1	3	4	2	1	0,20
35	1	3	6	2	1	0,22
35	1	3	8	2	1	0,39
35	1	3	10	2	1	0,89
35	1	3	2	3	2	0,00
35	1	3	4	3	2	0,32
35	1	3	6	3	2	0,00
35	1	3	8	3	2	2,25
35	1	3	10	3	2	2,04
35	1	3	2	4	2	0,14
35	1	3	4	4	2	0,54
35	1	3	6	4	2	0,02
35	1	3	8	4	2	1,93
35	1	3	10	4	2	2,07
36	1	3	2	1	1	0,02
36	1	3	4	1	1	0,06
36	1	3	6	1	1	0,12
36	1	3	8	1	1	0,20
36	1	3	10	1	1	0,68
36	1	3	2	2	1	0,04
36	1	3	4	2	1	0,04
36	1	3	6	2	1	0,22
36	1	3	8	2	1	0,00
36	1	3	10	2	1	0,14
36	1	3	2	3	2	0,02
36	1	3	4	3	2	0,00

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
36	1	3	6	3	2	0,04
36	1	3	8	3	2	0,08
36	1	3	10	3	2	1,21
36	1	3	2	4	2	0,02
36	1	3	4	4	2	0,04
36	1	3	6	4	2	0,02
36	1	3	8	4	2	0,02
36	1	3	10	4	2	1,11
37	1	3	2	1	1	0,16
37	1	3	4	1	1	0,20
37	1	3	6	1	1	0,00
37	1	3	8	1	1	0,57
37	1	3	10	1	1	1,07
37	1	3	2	2	1	0,20
37	1	3	4	2	1	0,06
37	1	3	6	2	1	0,14
37	1	3	8	2	1	0,21
37	1	3	10	2	1	0,50
37	1	3	2	3	2	0,12
37	1	3	4	3	2	0,00
37	1	3	6	3	2	1,82
37	1	3	8	3	2	1,36
37	1	3	10	3	2	1,57
37	1	3	2	4	2	0,16
37	1	3	4	4	2	0,48
37	1	3	6	4	2	1,07
37	1	3	8	4	2	1,14
52	1	3	10	4	2	0,93
38	2	3	2	1	1	0,84
38	2	3	4	1	1	0,79
38	2	3	6	1	1	0,54
38	2	3	8	1	1	0,71
38	2	3	10	1	1	0,50
38	2	3	2	2	1	0,76
38	2	3	4	2	1	0,00
38	2	3	6	2	1	1,54
38	2	3	8	2	1	0,57
38	2	3	10	2	1	0,43
38	2	3	2	3	2	0,00
38	2	3	4	3	2	0,00
38	2	3	6	3	2	0,00
38	2	3	8	3	2	1,43
38	2	3	10	3	2	0,79
38	2	3	2	4	2	0,02
38	2	3	4	4	2	0,14
38	2	3	6	4	2	0,36

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
38	2	3	8	4	2	1,43
38	2	3	10	4	2	1,64
39	2	3	2	1	1	0,12
39	2	3	4	1	1	0,00
39	2	3	6	1	1	1,04
39	2	3	8	1	1	0,64
39	2	3	10			
39	2	3	2	2	1	0,02
39	2	3	4	2	1	0,00
39	2	3	6	2	1	0,00
39	2	3	8	2	1	0,06
39	2	3	10			
39	2	3	2	3	2	0,00
39	2	3	4	3	2	0,00
39	2	3	6	3	2	0,00
39	2	3	8	3	2	0,08
39	2	3	10			
39	2	3	2	4	2	0,02
39	2	3	4	4	2	0,02
39	2	3	6	4	2	0,57
39	2	3	8	4	2	0,02
39	2	3	10			
40	2	3	2	1	1	0,04
40	2	3	4	1	1	0,00
40	2	3	6	1	1	0,06
40	2	3	8	1	1	0,12
40	2	3	10	1	1	0,89
40	2	3	2	2	1	0,02
40	2	3	4	2	1	0,00
40	2	3	6	2	1	0,00
40	2	3	8	2	1	0,08
40	2	3	10	2	1	0,36
40	2	3	2	3	2	0,00
40	2	3	4	3	2	0,00
40	2	3	6	3	2	0,00
40	2	3	8	3	2	0,80
40	2	3	10	3	2	0,86
40	2	3	2	4	2	0,40
40	2	3	4	4	2	0,02
40	2	3	6	4	2	0,02
40	2	3	8	4	2	0,02
40	2	3	10	4	2	1,64
41	2	3	2	1	1	0,04
41	2	3	4	1	1	0,16
41	2	3	6	1	1	0,00
41	2	3	8	1	1	0,04

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
41	2	3	10			
41	2	3	2	2	1	0,36
41	2	3	4	2	1	0,10
41	2	3	6	2	1	0,14
41	2	3	8	2	1	0,02
41	2	3	10			
41	2	3	2	3	2	0,06
41	2	3	4	3	2	0,20
41	2	3	6	3	2	0,00
41	2	3	8	3	2	0,18
41	2	3	10			
41	2	3	2	4	2	0,24
41	2	3	4	4	2	0,32
41	2	3	6	4	2	0,04
41	2	3	8	4	2	0,04
41	2	3	10			
42	3	3	2	1	1	0,00
42	3	3	4	1	1	0,00
42	3	3	6	1	1	0,18
42	3	3	8	1	1	1,71
42	3	3	10	1	1	1,64
42	3	3	2	2	1	0,00
42	3	3	4	2	1	0,00
42	3	3	6	2	1	0,86
42	3	3	8	2	1	1,29
42	3	3	10	2	1	0,71
42	3	3	2	3	2	0,00
42	3	3	4	3	2	0,00
42	3	3	6	3	2	1,43
42	3	3	8	3	2	1,71
42	3	3	10	3	2	1,79
42	3	3	2	4	2	0,00
42	3	3	4	4	2	0,00
42	3	3	6	4	2	0,00
42	3	3	8	4	2	1,36
42	3	3	10	4	2	0,86
43	3	3	2	1	1	0,06
43	3	3	4	1	1	0,00
43	3	3	6	1	1	0,00
43	3	3	8	1	1	0,00
43	3	3	10			
43	3	3	2	2	1	0,04
43	3	3	4	2	1	0,00
43	3	3	6	2	1	0,00
43	3	3	8	2	1	0,00
43	3	3	10			

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
43	3	3	2	3	2	0,04
43	3	3	4	3	2	0,00
43	3	3	6	3	2	0,00
43	3	3	8	3	2	0,00
43	3	3	10			
43	3	3	2	4	2	0,04
43	3	3	4	4	2	0,04
43	3	3	6	4	2	0,00
43	3	3	8	4	2	0,00
43	3	3	10			
44	3	3	2	1	1	0,76
44	3	3	4	1	1	1,11
44	3	3	6	1	1	1,00
44	3	3	8	1	1	0,56
44	3	3	10			
44	3	3	2	2	1	0,24
44	3	3	4	2	1	1,43
44	3	3	6	2	1	1,50
44	3	3	8	2	1	1,24
44	3	3	10			
44	3	3	2	3	2	0,24
44	3	3	4	3	2	1,29
44	3	3	6	3	2	1,79
44	3	3	8	3	2	1,04
44	3	3	10			
44	3	3	2	4	2	1,20
44	3	3	4	4	2	1,64
44	3	3	6	4	2	1,64
44	3	3	8	4	2	1,02
44	3	3	10			
45	3	3	2	1	1	0,00
45	3	3	4	1	1	0,08
45	3	3	6	1	1	0,75
45	3	3	8	1	1	1,43
45	3	3	10	1	1	0,79
45	3	3	2	2	1	0,00
45	3	3	4	2	1	0,00
45	3	3	6	2	1	0,14
45	3	3	8	2	1	0,43
45	3	3	10	2	1	0,00
45	3	3	2	3	2	0,00
45	3	3	4	3	2	0,00
45	3	3	6	3	2	0,86
45	3	3	8	3	2	1,50
45	3	3	10	3	2	0,00
45	3	3	2	4	2	0,02

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
45	3	3	4	4	2	0,02
45	3	3	6	4	2	0,89
45	3	3	8	4	2	1,64
45	3	3	10	4	2	1,43

## 7.2.2. Statistische Tests

Die Durchführung der statistischen Tests erfolgte mit SPSS für Windows 10.0 (Fa. SPSS Inc.). Das Signifikanzniveau wurde mit  $p=0,05$  festgelegt.

### 7.2.2.1. Statistik für Orientierung der Messrichtung

#### Mann-Whitney-U-Test

	MESSSTRECKE	ORIENTIERUNG
Mann-Whitney-U	38988,000	38952,000
Wilcoxon-W	80604,000	80568,000
Z	-,019	-,044
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,984	,965

Tab. 12: Ergebnistabelle zur Überprüfung der statistischen Signifikanz der Behandlungsmethode hinsichtlich der Messstrecke (in mm) und der Orientierung (mesial/distal und oral/vestibulär). Über den Mann-Whitney-U-Test kann untersucht werden, ob 2 unabhängige Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen. Es wurden hier keine signifikanten Unterschiede festgestellt, so dass beide Messrichtungen ohne Unterscheidung in einem Gesamtergebnis verwendet wurden.

### 7.2.2.2. Apikale Extrusion:

#### Kreuztabelle

			Extrusion	Nicht	Gesamt
			0	1	
GRUPPE	1	Anzahl	13	2	15
		% von GRUPPE	86,7%	13,3%	100,0%
	2	Anzahl	13	2	15
		% von GRUPPE	86,7%	13,3%	100,0%
	3	Anzahl	5	10	15
		% von GRUPPE	33,3%	66,7%	100,0%
Gesamt		Anzahl	31	14	45
		% von GRUPPE	68,9%	31,1%	100,0%

Tab. 13: Kreuztabelle mit den Ergebnissen der apikale Extrusion in den Gruppen I, II und III. Die Angaben sind in Zahlen und als Prozent dargestellt. N = 15 pro Gruppe, insgesamt n = 45. Die Ergebnisse wurden codiert mit Nicht-Überpressung = 0 und Extrusion = 1.

#### Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	13,272	2	,001
Likelihood-Quotient	13,143	2	,001
Zusammenhang linear-mit-linear	9,733	1	,002
Anzahl der gültigen Fälle	45		

Tab. 14: Überprüfung der statistischen Ergebnisse der Kreuztabelle Überpressung auf Signifikanz anhand des Chi-Quadrat-Tests mit einem hochsignifikanten Ergebnis.

### 7.2.2.3. Apikale Anfärbung:

#### Kreuztabelle

			ANFÄRBUNG	Nicht	Gesamt
			0	1	
GRUPPE	1	Anzahl	12	2	14
		% von GRUPPE	85,7%	14,3%	100,0%
	2	Anzahl	9	6	15
		% von GRUPPE	60,0%	40,0%	100,0%
	3	Anzahl	3	12	15
		% von GRUPPE	20,0%	80,0%	100,0%
Gesamt		Anzahl	24	20	44
		% von GRUPPE	54,5%	45,5%	100,0%

Tab. 15: Kreuztabelle mit Verteilung der Häufigkeit in den Gruppen I, II und III bezogen auf die apikale Anfärbung des Apex. Die Angaben sind in Zahlen und als Prozent dargestellt. N =15 pro Gruppe, insgesamt n = 45. Die Ergebnisse wurden codiert mit Nicht-Angefärbt = 0 und Angefärbt = 1.

#### Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	12,886	2	,002
Likelihood-Quotient	13,947	2	,001
Zusammenhang linear-mit-linear	12,394	1	,000
Anzahl der gültigen Fälle	44		

Tab. 16: Überprüfung der statistischen Ergebnisse der Kreuztabelle auf Signifikanz anhand des Chi-Quadrat-Tests. Das Ergebnis ist hochsignifikant.

#### 7.2.2.4. Statistik für den Gruppenvergleich der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen

##### Statistik für Wilcoxon-Test 2 mm

	GR2-GR1	GR3 - GR1	GR3-GR2
Z	-2,536	-3,947	-3,245
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,011	,000	,001

Tab. 17: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Gruppen I, II und III auf Höhe des 2 mm Schnittes. Nach dem Wilcoxon-Test unterscheiden sich alle Gruppen hochsignifikant.

##### Statistik für Wilcoxon-Test 4 mm

	GR2-GR1	GR3-GR1	GR3-GR2
Z	-2,743	-3,975	-1,979
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,006	,000	,048

Tab. 18: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Gruppen I, II und III auf Höhe des 4 mm Schnittes. Nach dem Wilcoxon-Test unterscheiden sich die Gruppen Signifikant, außer der vergleich der Gruppen II und III.

##### Statistik für Wilcoxon-Test 6 mm

	GR2 – GR1	GR3 - GR2	GR3 - GR1
Z	-2,661	-,687	-3,690
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008	,492	,000

Tab. 19: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Gruppen I, II und III auf Höhe des 6 mm Schnittes. Die Gruppen unterscheiden sich signifikant, außer der Gruppe II und III.

**Statistik für Wilcoxon – Test 8 mm**

	GR2-GR1	GR3 - GR1	GR3 - GR2
Z	-4,601	-3,782	-,442
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,659

Tab. 20: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Gruppen I, II und III auf Höhe des 8 mm Schnittes. Die Gruppen II und III unterscheiden sich nicht signifikant.

### 7.2.2.5. Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen

**Statistik für Wilcoxon-Test Gruppe I**

	4mm-2mm	6mm-2mm	8mm-2mm	6mm-4mm	8mm-4mm	8mm-6mm
Z	-,291	-3,746	-4,863	-3,724	-4,863	-4,825
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,771	,000	,000	,000	,000	,000

Tab. 21: Statistische Auswertung innerhalb der Gruppe I auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter anhand des Wilcoxon-Test. Der Wilcoxon-Test zeigt hochsignifikante Ergebnisse mit Ausnahme der Schnittebenen 2 und 4 mm, die keine Signifikanzen erreichen.

**Statistik für Wilcoxon-Test Gruppe II**

	4mm-2mm	6mm-2mm	8mm-2mm	6mm-4mm	8mm-4mm	8mm-6mm
Z	-4,546	-5,444	-6,452	-5,444	-6,452	-6,394
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,000	,000	,000

Tab. 22: Statistische Auswertung Innerhalb der Gruppe II auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter anhand des Wilcoxon-Test. Der Wilcoxon-Test zeigt auf allen Schnittebenen hochsignifikante Ergebnisse.

**Statistik für Wilcoxon-Test Gruppe III**

	4mm- 2mm	6mm- 2mm	8mm- 2mm	6mm- 4mm	8mm- 4mm	8mm- 6mm
Z	-2,736	-2,979	-4,283	-1,852	-3,599	-2,554
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,006	,003	,000	,064	,000	,011

Tab. 23: Statistische Auswertung Innerhalb der Gruppe III auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter anhand des Wilcoxon-Test. Der Test zeigt für alle Schnittebenen hochsignifikante Ergebnisse mit Ausnahme der Schnittebenen 4 und 6 und 6 und 8 mm, die keine Signifikanz erreichen.

**7.2.2.6. Statistik für die durchschnittliche Eindringtiefe**

## Statistik für Wilcoxon-Test

	GR2 -GR1	GR3-GR1	GR3-GR2
Z	-1,604	-1,826	-1,826
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,109	,068	,068

Tab. 24: Darstellung der statistischen Auswertung der durchschnittlichen Penetrationstiefen im Gruppenvergleich. Es liegt keine Signifikanz vor.

**7.2.2.7. Gruppenvergleich aller Werte auf allen Ebenen**

## Statistik für Wilcoxon-Test

	GR2 – GR1	GR3 - GR1	GR3 - GR2
Z	-5,341	-7,701	-3,729
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000

Tab. 25: Ergebnisse zur Überprüfung der statistischen Signifikanz aller Penetrationstiefen auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter in den Gruppen I, II und III. Der Wilcoxon-Test zeigt hochsignifikante Ergebnisse.

### 7.2.2.8. Gruppenvergleich bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke

#### Gruppe I

Kreuztabelle

		Keine Anfärbung	Wand	≤ 50%	≥ 50%	Gesamt
ABSTAND	2	7	8	0	0	15
	4	8	7	0	0	15
	6	8	3	2	2	15
	8	4	6	3	2	15
Gesamt		27	24	5	4	60

Tab. 26: Verteilung der Häufigkeit in Gruppe I auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter bezogen auf die Eindringtiefe in relation zur Dentinstärke. Die Penetrationstiefe wurde eingeteilt in „keine Anfärbung“, „Wand“, „≤ 50%“ und „≥ 50%“. n=15 auf jeder Schnitthöhe.

#### Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	13,326	9	,148
Likelihood-Quotient	17,040	9	,048
Zusammenhang linear-mit-linear	5,698	1	,017
Anzahl der gültigen Fälle	60		

Tab. 27: Auswertung zur Überprüfung der statistischen Signifikanz der Kreuztabelle der Gruppe I zur Eindringtiefe der Spülflüssigkeit. Der Chi-Quadrat-Test zeigt kein signifikantes Ergebnis der Kreuztabelle (s.Tab. 26).

**Gruppe II**  
Kreuztabelle

		Keine Anfärbung	Wand	≤ 50%	≥ 50%	Gesamt
ABSTAND	2	6	9	0	0	15
	4	5	8	1	1	15
	6	5	5	2	3	15
	8	0	7	5	3	15
Gesamt		16	29	8	7	60

Tab. 28: Verteilung der Häufigkeit in Gruppe II auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter bezogen auf die Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke. Die Penetrationstiefe wurde eingeteilt in „keine Anfärbung“, „Wand“, „≤ 50%“ und „≥ 50%“. n=15 auf jeder Schnitthöhe.

**Chi-Quadrat-Tests**

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	17,564	9	,041
Likelihood-Quotient	23,714	9	,005
Zusammenhang linear-mit-linear	11,999	1	,001
Anzahl der gültigen Fälle	60		

Tab. 29: Auswertung zur Überprüfung der statistischen Signifikanz der Kreuztabelle (s. Tab. 28) der Gruppe II zur Eindringtiefe der Spülflüssigkeit in „Nichts“, „Wand“, „≤ 50%“ und „≥ 50%“. Es zeigt sich ein hochsignifikantes Ergebnis.

### Gruppe III Kreuztabelle

		Keine Anfärbung	Wand	≤ 50%	≥ 50%	Gesamt
ABSTAND	2	4	7	2	2	15
	4	3	7	3	2	15
	6	1	5	6	3	15
	8	0	4	3	8	15
Gesamt		8	23	14	15	60

Tab. 30: Verteilung der Häufigkeit in Gruppe III auf den Schnittebenen zwei, vier, sechs und acht Millimeter bezogen auf die Eindringtiefe in relation zur Dentinstärke. Die Penetrationstiefe wurde eingeteilt in „keine Anfärbung“, „Wand“, „≤ 50%“ und „≥ 50%“. N = 15 auf jeder Schnitthöhe.

### Chi-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	15,345	9	,082
Likelihood-Quotient	15,934	9	,068
Zusammenhang linear-mit-linear	10,953	1	,001
Anzahl der gültigen Fälle	60		

Tab. 31: Auswertung zur Überprüfung der statistischen Signifikanz der Kreuztabelle (Tab. 30) der Gruppe II zur Eindringtiefe der Spülflüssigkeit. Der Chi-Quadrat-Test zeigt ein signifikantes Ergebnis.

### 7.2.2.9. Vergleich der Schnittebenen bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke

#### Kreuztabelle:                   Schnittebene 2 mm

		Keine Anfärbung	Wand	≤ 50%	≥ 50%	Gesamt
GRUPPE	1	7	8	0	0	15
	2	6	9	0	0	15
	3	4	7	2	2	15
Gesamt		17	24	2	2	45

Tab. 32: Verteilung der Häufigkeit auf den Schnittebenen zwei Millimeter bezogen auf die Eindringtiefe zur Dentinstärke in den Gruppen I, II und III.

**Chi-Quadrat-Tests**

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	9,074	6	,169
Likelihood-Quotient	9,897	6	,129
Zusammenhang linear-mit-linear	4,887	1	,027
Anzahl der gültigen Fälle	45		

Tab. 33: Ergebnisse der statistischen Auswertung der Kreuztabelle auf Höhe des 2 mm Schnittes in den Gruppen I, II und III. Es liegt kein signifikantes Ergebnis vor.

**Kreuztabelle                      Schnittebene 4 mm**

		Keine Anfärbung	Wand	≤ 50%	≥ 50%	Gesamt
GRUPPE	1	8	7	0	0	15
	2	5	8	1	1	15
	3	3	7	3	2	15
Gesamt		16	22	4	3	45

Tab. 34: Verteilung der Häufigkeit auf der Schnittebene vier Millimeter bezogen auf die Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke in den Gruppen I, II und III.

**Chi-Quadrat-Tests**

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	7,966	6	,241
Likelihood-Quotient	9,542	6	,145
Zusammenhang linear-mit-linear	6,769	1	,009
Anzahl der gültigen Fälle	45		

Tab. 35: der Chi-Quadrat-Test zeigt kein signifikantes Ergebnis der zugrunde liegenden Kreuztabelle (s. Tab. 34).

**Kreuztabelle      Schnittebene 6 mm**

		Keine Anfärbung	Wand	≤ 50%	≥ 50%	Gesamt
GRUPPE	1	8	3	2	2	15
	2	5	5	2	3	15
	3	1	5	6	3	15
Gesamt		14	13	10	8	45

Tab. 36: Verteilung der Häufigkeit auf der Schnittebene sechs Millimeter bezogen auf die Eindringtiefe zur Dentinstärke in den Gruppen I, II und III.

**Chi-Quadrat-Tests**

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	9,351	6	,155
Likelihood-Quotient	10,118	6	,120
Zusammenhang linear-mit-linear	4,694	1	,030
Anzahl der gültigen Fälle	45		

Tab. 37: Der Chi-Quadrat-Test zeigt kein signifikantes Ergebnis der vorliegenden Kreuztabelle (s. Tab. 36).

**Kreuztabelle      Schnittebene 8 mm**

		Keine Anfärbung	Wand	≤ 50%	≥ 50%	Gesamt
GRUPPE	1	4	6	3	2	15
	2	0	7	5	3	15
	3	0	4	3	8	15
Gesamt		4	17	11	13	45

Tab. 38: Verteilung der Häufigkeiten auf der Schnittebene acht Millimeter bezogen auf die Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke in den Gruppen I, II und III.

**Chi-Quadrat-Tests**

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
Chi-Quadrat nach Pearson	14,320	6	,026
Likelihood-Quotient	14,851	6	,021
Zusammenhang linear-mit-linear	8,773	1	,003
Anzahl der gültigen Fälle	45		

Tab. 39: Der Chi-Quadrat-Test zeigt ein signifikantes Ergebnis der vorliegenden Kreuztabelle (s. Tab. 38).

