

**Reinigung von Wurzelkanälen mit einem neuartigen hydrodynamischen
Spülsystem (RinsEndo®).**

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

**vorgelegt von Vera Hauser
aus Bonn**

2006

Angefertigt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

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

Tag der Mündlichen Prüfung: 22.08.2006

Aus der Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität in Bonn
Klinikdirektor: 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

	INHALTSVERZEICHNIS	5
	ABKÜRZUNGEN	8
1.	EINLEITUNG	8
1.1	Einführung	10
1.2.	Die Wurzelkanalreinigung und -desinfektion im Rahmen der systematischen Wurzelkanalbehandlung	12
1.2.1.	Behandlungsmöglichkeiten der erkrankten Pulpa	12
1.2.2.	Die Systematik der Wurzelkanalbehandlung	13
1.2.3.	Aufgaben der Wurzelkanalreinigung und -desinfektion	16
1.2.4.	Grundlagen der Wurzelkanalreinigung und -desinfektion	17
1.2.5.	Methoden der Wurzelkanalreinigung und -desinfektion	18
1.2.5.1.	Physikalisch-mechanische Methoden	18
1.2.5.2.	Thermische Methoden	21
1.2.5.3.	Chemische Methoden	22
1.2.5.3.1.	Natriumhypochlorid	24
1.2.5.3.2.	Chelatoren	26
1.2.5.3.3.	Andere Substanzen	28
1.2.5.4.	Desinfektion von Wurzelkanälen	29
1.2.5.5.	Kombinationen	31
1.3.	Wissenschaftliche Methoden zur Überprüfung der Wurzelkanalreinigung und -desinfektion	32
1.3.1.	Bestimmung der Eindringtiefe der Spüllösung in den Wurzelkanal	32
1.3.1.1.	Lichtmikroskopische Auswertung	32
1.3.1.2.	Mikrobiologische Untersuchung	33
1.3.1.3.	Einsatz radioaktiv markierten Materials	35
1.3.1.4.	Andere Methoden zur Bestimmung der Eindringtiefe in das Dentin	35
1.3.2.	Beurteilung der apikalen Extrusion	36
1.3.2.1.	Volumenmessung	36

1.3.2.2.	Gewicht	37
1.3.2.3.	Andere Methoden zur Beurteilung der apikalen Extrusion	37
1.4.	Fragestellung	37
2.	MATERIAL UND METHODEN	38
2.1.	Versuchssystematik	38
2.2.	Verwendete Spülsysteme	39
2.2.1.	Das RinsEndo [®] -System zur Wurzelkanalreinigung und -desinfektion	39
2.2.2.	Die manuell-dynamische Wurzelkanalspülung	41
2.2.3.	Die Statische Lösungsapplikation	41
2.3.	Auswahl des Untersuchungsmaterials	42
2.4.	Farbstoffpenetrationstest	43
2.5.	Versuchsanordnung	45
2.5.1.	Vorbereitung des Untersuchungsmaterials	45
2.5.2.	In-vitro-Versuchsdurchführung	47
2.5.2.1.	Hydrodynamisch-maschinelle Spülung: RinsEndo [®]	47
2.5.2.2.	Vergleichsgruppen:	48
2.5.2.2.1.	Manuell-dynamische Spülung	48
2.5.2.2.2.	Statische Lösungsapplikation	49
2.6.	Makroskopische Dokumentation	49
2.7.	Weiterverarbeitung zur mikroskopischen Dokumentation	49
2.8.	Mikroskopische Dokumentation	50
2.9.	Auswertung	51
2.9.1.	Apikale Extrusion	51
2.9.1.1.	„Ja/Nein“-Entscheidung	51
2.9.1.2.	Rangfolge	51
2.9.2.	Eindringtiefe in das zirkuläre Dentin	52
2.9.3.	Erfassung klinischer Aspekte	53
2.9.4.	Statistische Auswertung der Ergebnisse	53
3.	ERGEBNISSE	55
3.1.	Makroskopische Ergebnisse	55

3.1.1.	Apikale Extrusion	55
3.1.2.	Rangfolge	57
3.2.	Mikroskopische Ergebnisse	60
3.2.1.	Eindringtiefe auf verschiedenen Schnittebenen	60
3.2.2.	Durchschnittliche Eindringtiefen	69
3.2.3.	Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke	70
4.	DISKUSSION	79
5.	ZUSAMMENFASSUNG	87
6.	LITERATURVERZEICHNIS	88
7.	ANHANG	104
7.1.	Herstellerverzeichnis	104
7.2.	Tabellen	105
7.2.1.	Ergebnistabelle	105
7.2.2.	Statistische Tests	125
7.2.2.1.	Explorative Datenanalyse	125
7.2.2.2.	Statistik für die Orientierung der Messrichtung	126
7.2.2.3.	Statistik für die Apikale Extrusion	126
7.2.2.4.	Statistik für die Apikale Anfärbung	127
7.2.2.5.	Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen	128
7.2.2.6.	Statistik für den Gruppenvergleich der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen	129
7.2.2.7.	Statistik für die durchschnittlichen Eindringtiefen	130
7.2.2.8.	Gruppenvergleich aller Werte auf allen Ebenen	130
7.2.2.9.	Gruppenvergleich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke	130
7.2.2.10.	Vergleich der Schnittebenen bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke	132
7.3.	Danksagung	136
7.4	Lebenslauf	137

Abkürzungen

AAT	Angestrebte Aufbereitungstiefe
Abb.	Abbildung
Aqua dest.	Aqua destillatum
bzw.	beziehungsweise
Ca(OH) ₂	Calciumhydroxid
CFU	Colony forming unit
CHX	Chlorhexidin
cm	Zentimeter
CO ₂	Kohlendioxid
E.	Enterococcus
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ESE	European Society of Endodontology
Fa.	Firma
Hz	Hertz
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
i. d. R.	in der Regel
ISO	International Organisation for Standardization
k. A.	keine Angaben
kV	Kilo Volt
mAs	Milliamperesekunden
min	Minuten
ml	Milliliter
mm	Millimeter
µm	Mikrometer
NaCl	Natriumchlorid
NaOCl	Natriumhypochlorid
REM	Rasterelektronenmikroskop
s	Sekunden
s.	siehe
S.	Seite
sog.	so genannte

Tab.	Tabelle
u. a.	unter anderem
z. B.	zum Beispiel

1. EINLEITUNG

1.1 Einführung

Die geschichtliche Betrachtung der Wurzelkanalbehandlung zeigt eine Entwicklung von einer begleitenden Maßnahme im Rahmen der konservierenden Zahnheilkunde zu einem nahezu eigenständigen Spezialgebiet. Während zu Beginn des 20. Jahrhunderts die Therapie einer Pulpitis meist in einer Extraktion des Zahnes bestand, wurden die Möglichkeiten der Pulpistherapie im Verlauf des 20. Jahrhunderts deutlich erweitert. Die Fortschritte begründeten sich vor allem auf neuen Erkenntnissen in der Mikrobiologie der infizierten Zahnpulpa und des infizierten apikalen Gewebes. So erkannte man die Bedeutung der Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanals und die Wichtigkeit des hermetischen Verschlusses des Kanalsystems für eine erfolgreiche endodontische Therapie. Außerdem gewann das aseptische Arbeiten unter Kofferdam immer mehr an Bedeutung. Das heutige Ziel einer endodontischen Therapie ist die Toleranz eines pulpatoten Zahnes durch den Organismus und damit die funktionstüchtige Erhaltung des Zahnes. Die systematische Wurzelkanalbehandlung wird heute in zwei Behandlungssäulen eingeteilt: die Wurzelkanalaufbereitung und die Wurzelkanalfüllung.

Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist eine effiziente Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanals sowie die Erweiterung des Kanals zur Entfernung infizierten Dentins und zur besseren Aufnahme des Füllmaterials. Im Vordergrund steht hier die Entfernung von Geweberesten, Endotoxinen und Bakterien. Grundsätzlich kann man zwischen verschiedenen Verfahren differenzieren. So unterscheidet man die chemische und thermische Desinfektion von physikalischen und mechanischen Reinigungsverfahren, zu denen u. a. der rein mechanische Abtrag von infiziertem Dentin gehört. In der Regel werden jedoch Kombinationen der einzelnen Verfahren angewendet. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl von neuen Verfahren vorgestellt, zu denen maschinelle Aufbereitungssysteme mit NiTiInol[®]-Instrumenten, Lasersysteme und Desinfektionsverfahren wie Ultraschall-Systeme und hydrodynamische Spülsysteme gehören.

Solche Neuentwicklungen versuchen, sich einem Kernziel der Endodontie, der effizienten Reinigung des Wurzelkanalsystems, anzunähern. In den vergangenen Jahren haben sich die wissenschaftlichen Untersuchungen insbesondere auf die Spüllösungen konzentriert, somit auf den chemischen Reinigungs- und Desinfektionsweg. Allen voran sind Natriumhypochlorid (NaOCl), EDTA (Ethyldiaminetetraessigsäure) und Wasserstoffperoxid zu nennen, wobei NaOCl aufgrund seiner Fähigkeit, organisches Material aufzulösen und den Wurzelkanal zu desinfizieren, zum Standardmittel geworden ist (Grossmann und Meimann, 1941). Es bleibt jedoch zu beachten, dass effektive Konzentrationen von NaOCl zytotoxisch sein können (Lamers et al., 1980).

Wie Ram (1977) bereits feststellte, gelangen Spüllösungen mit herkömmlichen Methoden nur einen Millimeter tiefer als die Spitze der Kanüle. Daher galt es, Systeme zu entwickeln, die die Wirklösungen über die gesamte Wurzelkanallänge bis zum Apex transportieren, jedoch nicht darüber hinaus, um die zytotoxischen Effekte auf das apikale Gewebe gering zu halten. Die neueren Entwicklungen, insbesondere die verschiedenen Ultraschall-Systeme (Piezon Master[®], etc.), zeigten bei Überprüfung ihrer Effektivität gute Resultate. Martin et al. (1980) und Martin & Cunningham (1983, 1985) befanden, dass sich z. B. Ultraschall und NaOCl gegenseitig in ihrer Wirkung verstärken. Neben der Ultraschalltechnologie wurden aber auch eine Reihe anderer neuer Spülapplikationen entwickelt deren Wirksamkeit fraglich ist. Anhand eines neu entwickelten Spülsystems sollen Effekte einer maschinengetriebenen Applikation im Vergleich zum konventionellen manuellen Vorgehen untersucht werden.

1.2. Die Wurzelkanalreinigung und -desinfektion im Rahmen der systematischen Wurzelkanalbehandlung

1.2.1. Behandlungsmöglichkeiten der erkrankten Pulpa

Das Behandlungsspektrum der erkrankten Pulpa umfasst von der Ausheilung einer reversibel erkrankten Pulpa über die Wurzelkanalbehandlung bis – im ungünstigsten Falle – zur Extraktion eine Reihe von Behandlungsmöglichkeiten. Ziel der endodontischen Maßnahme ist es, das irreversibel geschädigte Markorgan möglichst vollständig zu entfernen, das Wurzelkanalsystem zu desinfizieren und die entstandenen Hohlräume bakteriendicht zu verschließen (Frentzen et al., 2004). Die Indikation zur Wurzelkanalbehandlung ist die irreversible Schädigung der Pulpa mit oder ohne Beteiligung des periradikulären Gewebes. Weitere Indikationen liegen in einer geplanten Wurzelspitzenresektion, Hemisektion oder Amputation oder einer intentionellen Devitalisation zur Eingliederung eines Wurzelstiftes (Schäfer et al., 2000).

Als letzte therapeutische Maßnahme pulpaler Erkrankungen muss auch die Extraktion genannt werden.

Dentin und Pulpa reagieren als funktionelle Einheit, da Odontoblastenfortsätze als Ausläufer des Endodonts bis zur Schmelz-Dentin-Grenze reichen. Somit kann man bereits die restaurative Versorgung der Dentinwunde zur endodontischen Therapie zählen (Nolden, 1994). Ein klassisches Beispiel einer solchen endodontischen Maßnahme ist die indirekte Überkappung. Das Ziel besteht darin, die Pulpa vor exogenen Noxen zu schützen und sie damit gesund zu erhalten oder die Voraussetzung für die Ausheilung einer reversiblen Entzündung zu schaffen. Die Voraussetzung für die Durchführung der Behandlung ist, dass die vitale Pulpa makroskopisch nicht eröffnet ist (Schäfer et al., 2000). Unter Verwendung von Calciumhydroxid wird die Bildung von Sekundärdentin induziert, eine Bakteriostase angestrebt und das saure Milieu der Entzündungsbezirke der Pulpa alkalisiert (Nolden, 1994). Der gesuchte Erfolg liegt in der Abwendung einer irreversiblen Schädigung der Pulpa.

Im Gegensatz dazu steht die direkte Überkappung, bei der die Applikation von Calciumhydroxid in direktem Kontakt zur Pulpa steht. Die Durchführung erfolgt

nach den gleichen Prinzipien wie bei der indirekten Überkappung. Die Erfolgsaussichten sind im Vergleich jedoch deutlich schlechter.

Die verschiedenen Formen der Vitalamputation sind vor allem bei jugendlichen Zähnen indiziert, um das Wurzelwachstum zum Abschluss zu bringen. Es werden exponierte Pulpenanteile resiziert und medikamentös mit Calciumhydroxid nachbehandelt.

Ist die Pulpa jedoch irreversibel geschädigt, liegt die Therapie der Wahl in einer vollständigen Exstirpation des Markorgans mit anschließender Wurzelfüllung. Um ein Übergreifen auf apikale Strukturen zu vermeiden, muss das infizierte Gewebe möglichst vollständig aus dem Wurzelkanalsystem entfernt werden. Zeigt die konservative Wurzelkanalfüllung keinen Erfolg, stehen kombiniert endodontisch-chirurgische Behandlungsmethoden zur Auswahl, um einen funktionellen Zahn zu erhalten. Die Wurzelspitzenresektion mit Kürettage des apikalen Parodonts und gleichzeitiger ortho- oder retrograder Wurzelfüllung ist ein Beispiel dieses Behandlungsspektrums.

Wesentlich für den Erfolg einer endodontischen Behandlung ist ein aseptisches Arbeiten, um eine bakterielle Kontamination des Wurzelkanalsystems möglichst zu vermeiden. Hierzu sind u. a. ein steriles Instrumentarium, ein aseptisches Arbeitsfeld (Kofferdam) und sterile Materialien erforderlich (Frentzen et al., 2004).

Die Wahl der therapeutischen Möglichkeiten einschließlich einer Extraktion hängt auch vom Allgemeinzustand des Patienten bzw. der übrigen oralen Befunde ab. So kann der Aufwand einer lege artis durchgeführten endodontischen Behandlung, z. B. bei einem parodontal insuffizienten Zahn oder bei einer tiefen Kronen-Wurzel-Fraktur, nicht gerechtfertigt sein (Guldener und Langeland, 1993).

1.2.2. Die Systematik der Wurzelkanalbehandlung

Nach erfolgter ausführlicher Anamnese und Diagnose findet die Behandlung des pulpavitalen Zahnes i. d. R. in Lokalanästhesie statt. Die Behandlung des freigelegten Markorgans muss als chirurgischer Eingriff gewertet werden, daher sollte die endodontische Therapie möglichst aseptisch stattfinden (Nolden, 1994). Für eine aseptische Behandlung sollte der zu behandelnde Zahn durch absolute Trockenlegung (Kofferdam) in einem trockenen und desinfizierbaren Arbeitsfeld iso-

liert werden (Guldener und Langeland, 1993). Man unterteilt das klinische Vorgehen in folgende Behandlungsschritte:

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

Die Trepanation des Zahnes umfasst die Eröffnung des Pulpenkavums und die Ausräumung der gesamten Kronenpulpa. Das Dach der Kronenpulpa soll in seiner gesamten Ausdehnung entfernt werden, um einen ausreichenden Zugang zu den Eingängen der Wurzelkanäle am Boden der Pulpakammer zu finden (Nolden, 1994). Der Trepanation folgen die Entfernung der Kronenpulpa und die Erweiterung der Kanäleingänge mit Gates-Bohrern (Nolden, 1994). Die Entfernung des Zahnmarkes erfolgt entweder mit speziellen Exstirpationsnadeln oder kann alternativ, wenn die Kanäle sehr eng oder stark gekrümmt sind, später bei der Aufbereitung entfernt werden. Bevor die Aufbereitung der Kanäle begonnen werden kann, sollte eine Festlegung der angestrebten Aufbereitungstiefe (AAT) erfolgen. Die röntgenologische Ermittlung der endodontischen Arbeitslänge ist nach wie vor als Standardmethode anzusehen. Es wird ein Instrument bekannter Länge in den Kanal eingebracht und eine Einzelaufnahme in Rechtwinkeltechnik angefertigt. Die Instrumentenlänge wird um die radiologisch erkennbare Distanz Instrumentenspitze – Foramen physiologicum korrigiert (Hülsmann, 2001). In Einzelfällen wird eine zusätzliche exzentrische Aufnahme angefertigt, um die genaue Lage eines Kanals bestimmen zu können. Alternativ oder als zusätzliches Hilfsmittel kann auch die Endometrie eingesetzt werden (Guldener und Langeland, 1993). Unabhängig von der Aufbereitungstechnik ist die Arbeitslänge von entscheidender Bedeutung (Guldener und Langeland, 1993) und sollte den Qualitätsrichtlinien der ESE (European Society of Endodontology) entsprechen. Die natürliche Konstriktion des Foramen physiologicum gilt als optimale Grenze für die Aufbereitung und die nachfolgende Füllung. Sie reduziert die Gefahr der Irri-

tation der periapikalen Mischgewebe durch die Instrumentierung und Einbringen von Wurzelfüllmaterialien, da hier die Kontaktfläche naturgemäß am kleinsten ist (Guldener und Langeland, 1993; Nolden, 1994). Der Begriff der so genannten Wurzelkanalaufbereitung umfasst den mechanischen Substanzabtrag an den inneren Kanalwänden. Grundsätzliche Ziele der Wurzelkanalaufbereitung können nach Schäfer et al. (2000) wie folgt formuliert werden:

- Entfernung vitalen und nekrotischen Pulpagewebes
- weitestgehende Eliminierung von Mikroorganismen, darunter fällt ebenso die Entfernung infizierten Dentins
- Beibehaltung des originären Wurzelkanalverlaufs
- konische Gestaltung der Kavität
- Erhalt der apikalen Konstriktion.

Dazu können manuelle sowie maschinelle Methoden verwandt werden. Der Erfolg ist jedoch in einem wesentlich größeren Maße von der Routine und Vertrautheit des Zahnarztes mit dem jeweiligen Aufbereitungssystem abhängig und weniger von den eingesetzten Wurzelkanal-Instrumenten, Aufbereitungstechniken oder der Wahl zwischen manueller oder maschineller Aufbereitung (Schäfer et al., 2000). Abhängig von der Wurzelkanalfüllung ist – je nach System – eine definierte Form der Kanalaufbereitung notwendig. Die dazu verwendeten Instrumente unterliegen der ISO-Norm 3630. Darin werden Maße und Toleranz genau festgelegt. Das Arbeitsteil ist nach dieser Norm mindestens 16 mm lang. Neue Entwicklungen weisen, abweichend von der ISO-Norm, verschiedene Konizitäten auf. Während die ISO-Norm eine Konizität von 0,02 mm pro Instrumentenlänge vorschreibt, werden neuere Systeme mit 4% und 6% Konizität (Taper 04, 06) angeboten (Hülsmann, 2001).

Das Vorgehen bei der Aufbereitung verhält sich wie folgt: Die Arbeitsinstrumente werden entsprechend der vorher festgelegten Aufbereitungstiefe mit einem „Stopp“ versehen und dann, beginnend mit der ISO-Größe 15, entsprechend ihrer Arbeitsweise eingesetzt, bis der apikale Bereich um mindestens drei ISO-Größen gegenüber seinem ursprünglichen Durchmesser erweitert wurde („koral-apikale“-Methode) (Guldener und Langeland, 1993; Nolden, 1994). Im Sinne der „Step-back-Technik“ werden die nachfolgenden Feilen jeweils um 0,5 - 1 mm

verkürzt in den Kanal eingeführt, um der zunehmenden Steifigkeit der Instrumente mit ihrer zunehmenden Größe gerecht zu werden und die konische Aufbereitung des Kanals zu gewährleisten. Nach jeder Feile muss die Rekapitulation mit der Masterfeile, der letzten auf voller Arbeitslänge eingebrachten Feile, erfolgen. Ein zusätzlicher Effekt besteht in der ausreichenden Entfernung infizierten Dentins von der Kanalwand auch in den oberen Bereichen des Wurzelkanals.

Die maschinelle Aufbereitung war in der Vergangenheit der manuellen Aufbereitung aufgrund von Instrumentenfrakturen und Perforationsgefahr unterlegen (Guldener und Langeland, 1993). Vor allem die Entwicklung der NiTiInol®-Instrumente und drehzahl-/drehmomentbegrenzter Antriebsmotoren lieferte bessere Ergebnisse (Bahall und Barrs, 2000; Frentzen et al., 2005).

Bis heute bleibt eine kontroverse Diskussion über die Notwendigkeit der Entfernung des Smearlayers, der bei der manuellen als auch maschinellen Aufbereitung entsteht. Zum einen besteht die Ansicht, dass der Erhalt des Smearlayers ein Vorteil ist, da er einen Verschluss von Dentinkanälchen gewährleistet und die Permeabilität des Dentins erhöht (Dippel et al., 1984; Fogel und Pashley, 1990). Andererseits kann er jedoch auch Mikroorganismen enthalten.

Während der Wurzelkanalaufbereitung ist nach jeder Feile eine Spülung mit einer desinfizierenden Spüllösung indiziert.

1.2.3. Aufgaben der Wurzelkanalreinigung

Ziel der Wurzelkanalreinigung ist primär die Reduktion der Keimzahl im Endodont durch gleichmäßigen zirkulären Abtrag des Wurzeldentins (Hülsmann, 2001). Im Falle einer infizierten Pulpanekrose sind Bakterien bis in eine Tiefe von 1,2 mm im Dentin nachweisbar, daher ist eine vollständige Eliminierung durch rein mechanische Methoden (Reduktion von Dentin) aufgrund der durch den Substanzverlust bedingten mangelnden Zahnstabilität meist nicht möglich (Hülsmann, 2001). Daher ist zur Dekontamination des Kanals eine Kombination des abtragenden Vorgehens mit chemisch-desinfizierenden Verfahren angezeigt (Byström und Sundqvist, 1981). Durch den Einsatz von Spüllösungen werden nekrotisches Pulpagewebe und Dentinspäne, die sich durch die Aufbereitung ansammeln, aus dem Kanal herausgeschwemmt (Nolden, 1994). Es sollte eine

möglichst vollständige Entfernung des Debris erfolgen (Hülsmann, 2001). Darüber hinaus sollen die Wirklösungen den Kanal desinfizieren und nekrotisches Gewebe auflösen (Nolden, 1994). Hierbei beschränkt sich die Wirkung nicht nur auf den Hauptkanal, sondern auch auf Teile der Seitenkanäle (Nolden, 1994).

Im Rahmen der Wurzelkanalreinigung soll eine möglichst vollständige Entfernung der Bakterien erfolgen. Mehl et al. (1999) beschreiben eine Penetration von Bakterien in das Kanalsystem bis in eine Tiefe von 0,15 mm. Einige Bakterien wurden bis in eine Tiefe von bis zu 0,25 mm in den Dentinkanälchen nachgewiesen (Basrani et al., 2003; Schäfer und Bössmann, 2005; Sirén et al., 1997). Insbesondere *Enterococcus faecalis* wird in diesen Tiefen nachgewiesen. Es ist eines der resistentesten Mikroorganismen, das in infizierten Kanälen gefunden wurde (Love, 2001; Ørstavik und Haapasalo, 1990). Ebenso wird über ein gehäuftes Auftreten von *E. faecalis* in therapierefraktären endodontischen Fällen berichtet (Nair et al., 1990; Sirén et al., 1997; Sundqvist et al., 1998). Dementsprechend ist eine bis in die Tiefe der Dentintubuli reichende Reinigung als mitentscheidend für den Erfolg der Wurzelbehandlung anzusehen.

Der Wurzelkanalreinigung (Entfernung von Debris und nekrotischen und vitalen Geweberesten) steht die Wurzelkanal-desinfektion (gezielte Keimabtötung bzw. Abtötung, Hemmung und Entfernung aller Mikroorganismen und deren Toxine, die eine Infektion bewirken können) gegenüber, wobei jedes Verfahren für sich alleine gesehen nur zu unvollständigen Ergebnissen führt. Insofern kann man sagen, dass sich die Wurzelkanalreinigung und -desinfektion gegenseitig verstärken.

1.2.4. Grundlagen der Wurzelkanalreinigung und -desinfektion

Beim Einsatz von Spüllösungen sollten folgende allgemeine Punkte beachtet werden:

Das Volumen der Spüllösungen ist wichtiger als die Konzentration des verwendeten Mittels (Hülsmann, 2001). Daher wird die Verwendung von 2-5 ml Spüllösung nach jeder verwendeten Feile und eine Abschlusspülung mit 10-20 ml empfohlen.

In der Endodontie kommen verschiedene Nadeln und Nadelgrößen zum Einsatz. Goldman et al. (1979) verglichen eine herkömmliche 23 Gauge Nadel mit einem perforierten System und bestätigten, dass das perforierte System eine vollständigere Reinigung des Kanals erreichte. Sie befanden ebenso, dass der effektivste Einsatz dieser Nadel mit einer 90° Drehung bei der Spülung erreicht wird.

Dorborij et al. (1980) beschrieben, dass eine schmale Nadel eine tiefere Penetration der Nadel in den Kanal ermögliche, ein geringer Durchmesser jedoch nicht den benötigten hohen Volumendurchfluss für eine effektive Debrisentfernung erreiche.

Bezüglich des Kanaldurchmessers demonstrierten Lehmann et al. (1981), dass ein größerer Kanaldurchmesser eine effektivere Reinigung erreicht.

Da die Spülwirkung nur wenige Millimeter über die Nadelspitze hinausreicht, ist die Eindringtiefe der Spülnadel in den Wurzelkanal von mitentscheidender Bedeutung (Chow, 1983; Hülsmann, 2001). Eine optimale Spülwirkung ist erst bei einer Aufbereitung bis ISO 35-40 und einer Eindringtiefe der Spülnadel bis ins apikale Drittel des Kanals zu erwarten (Hülsmann, 2001). Es darf zu keiner Klemmwirkung der Nadel im Kanal kommen, da dies die Gefahr der apikalen Extrusion erhöht (Bradford et al., 2002; Hülsmann, 2001; Serper et al., 2004).

1.2.5. Methoden der Wurzelkanalreinigung und -desinfektion

1.2.5.1. Physikalisch-mechanische Methoden

Zunächst ist als physikalisch-mechanische Methode die Aufbereitung an sich zu nennen, die durch Entfernung des luminalen Dentins ebenfalls eine Reinigung des Wurzelkanals erreicht. Hier unterscheidet man manuelles und maschinelles Vorgehen. Der Einsatz maschineller drehmomentgesteuerter Nickel-Titansysteme ist besonders in der Therapie stark gekrümmter Kanäle unverzichtbar geworden (Frentzen et al., 2005).

Die manuelle Wurzelkanalspülung ist heute die Standardmethode zur Wurzelkanalspülung und gehört ebenfalls zu den physikalischen Spülmethoden. Sie bedient sich Einwegkanülen und -spritzen. Die Kanüle wird in den Kanal eingeführt und die Spüllösung mit gleichmäßigem Druck in den Kanal appliziert. Diese Me-

thode wird in vielen Studien als Kontrollmethode gegenüber neuen Technologien eingesetzt (Abou-Rass und Patanai, 1982; Lee et al., 2004b).

Zu den physikalisch-mechanischen Methoden gehören u. a. das neuentwickelte RinsEndo[®]-System, eine nichtinstrumentelle hydrodynamische Technik (NIT) (Lussi et al., 1993), das Endomate System[®] (Fa. Yoshida Dental Mfg. Co.) und die verschiedenen Ultraschall-Systeme.

Das Prinzip der diversen Methoden beruht auf dem Einsatz von Lösungen, die mittels physikalischer Aktivierung durch unterschiedliche Systeme eine Entfernung von Geweberesten und Debris erreichen sollen.

Das RinsEndo[®]-System bedient sich einer Saug-Druck Technologie (s. 2.2.1. Das RinsEndo-System[®] zur Wurzelkanalreinigung und -desinfektion) und ist wissenschaftlich bisher noch nicht ausreichend untersucht.

Die von Lussi et al. (1993; 1995) beschriebene Technik beruht auf dem Einsatz von alternierenden Unter-/Überdruckspülungen mit einer Frequenz von 25 Hz. Es erfolgt keine zusätzliche manuelle oder maschinelle Aufbereitung. Zunächst werden mit einem reduzierten Druck von -0,7 Bar mikroskopische und makroskopische Hohlräume erzeugt. Durch eine schnelle Druckerhöhung auf -0,1 Bar kollabieren diese mit Dampf gefüllten Blasen und führen durch die schnelle Strömung wiederum zur Hohlrumbaue und zu hydrodynamischen Turbulenzen. Dies erlaubt der Spülflüssigkeit in das gesamte Kanalsystem zu penetrieren und mit neuer Flüssigkeit ausgewechselt zu werden. Die Größe der Blasen variiert zwischen 5 und 50 µm. Während der Phasen mit hohem Druck kollabieren die Blasen, es kann mehr Flüssigkeit pro Zeit in das Kanalsystem eindringen, als Flüssigkeit entweichen kann. Die Untersuchungen von Lussi et al. (1993, 1995) ergaben eine gleiche oder bessere Kanalreinheit in allen Kanalabschnitten im Vergleich zur Handaufbereitung und -spülung.

Das Endomate System[®] (Fa. Yoshida Dental) bedient sich eines Spülaufsatzes, an dessen Außenseite die Spülflüssigkeit entlang läuft, um dann an der Spitze im Inneren des Aufsatzes aufgesaugt zu werden. Der Aufsatz ist aus Plastik und dadurch so flexibel, dass er auch in gekrümmte Kanäle eingeführt werden kann. Wird eine intensivere Spülung benötigt, so kann die Spüllösung zusätzlich unter Druck in das System eingebracht werden. Alaçam (1987) stellte fest, dass das

Endomate System® keine Vorteile gegenüber herkömmlichen Spülungen mit Einwegspritzen und ultraschallaktivierten Spülungen bot. Vorteilhaft waren jedoch sowohl die große Menge an Spülflüssigkeit, die sich so applizieren ließ, als auch die kontinuierliche Absaugung im Kanal, die dafür sorgte, dass Debris und Gewebereste nicht über den Apex transportiert wurden.

Derzeitig gängige Ultraschall-Systeme bedienen sich unterschiedlicher Prinzipien: mit Lamellensystemen, Piezokeramiken oder Ferritstäben werden hochfrequente Schwingungen (25000-40000 Hz) erzeugt. Es handelt sich hierbei um elektro-physikalische Effekte, wobei akustische Strömungsphänomene („Acoustic streaming“) entstehen, d.h. Flüssigkeitspartikel werden um eine schwingende Feile herum in schnelle Bewegung versetzt. Die Bewegungsrichtung orientiert sich an den Schwingungsknoten und -tälern der Feile und verläuft vom apikalen Feilenende nach koronal. Es kommt zu einem besseren und schnelleren Flüssigkeitsaustausch im Kanal und zu einer Erwärmung der Spülflüssigkeit (Hülsmann, 2001; 2004). Die Reinigungs- und Desinfektionswirkung kann durch schwingungsinduzierte Strömungen („Acoustic streaming“) erheblich gesteigert werden (Hülsmann, 2004). Durch die hochfrequent schwingenden Feilen wird das Spülmittel effektiv bis in die apikale Region transportiert (Hülsmann, 2004). Haikel und Allemann (1988) beschrieben die größten Nachteile der Ultraschall-Systeme mit einer schlechten Reinigung des apikalen Drittels, gelegentlich einer Begradiung gekrümmter Kanäle und in der Entstehung vertikaler Kratzer in der Oberfläche der Kanalwand.

Im weiteren Sinne gehört zu den physikalischen Methoden ebenfalls der Einsatz thermischer Systeme, die im Folgenden (s. 1.2.5.2. Thermische Methoden) näher beschrieben werden.

1.2.5.2. Thermische Methoden

Zu den thermischen Systemen zählt man die Laser-Technologie. Heute machen sich die Weiterentwicklung von Lasern und insbesondere grüner Lichtleiter, die hohe Energien übertragen können, soweit bemerkbar, dass ein Einsatz in der Endodontie möglich geworden ist (Frentzen, 2002). Laser können nicht nur zur Wurzelkanalreinigung, sondern darüber hinaus auch zur Präparation der Zugangskavität, zur Exstirpation der Pulpa und zur Wurzelkanalaufbereitung eingesetzt werden. In diesen Bereichen ist eine Praxistauglichkeit jedoch noch nicht erreicht. Zur Wurzelkanalreinigung können gepulste Nd:YAG- und Diodenlaser genutzt werden, um nach der Wurzelkanalaufbereitung infizierte Pulpa- und Gewebereste zu entfernen (Levy, 1991). Ist das Kanallumen bereits erweitert, kann auch der Er:YAG-Laser verwendet werden (Takeda et al., 1998). In einem in-vitro Versuch ließ sich eine hochsignifikante Keimreduktion nach einer Nd:YAG-Laserbehandlung gegenüber der ungelaserten Kontrollgruppe nachweisen (Klinke et al., 1999). Auch die antibakterielle Wirkung eines Er:YAG-Laser konnte bestätigt werden (Schoop et al., 2002). Andere Untersuchungen zeigen, dass ein antibakterieller Effekt des Nd:YAG-Lasers zwar feststellbar ist, allerdings der Effekt von NaOCl nicht übertroffen werden konnte (Piccolomini et al., 2002). Die Ergebnisse von Le Goff et al. (1999) belegten die oben genannte Situation für den CO₂-Laser. Eine Kombination mit Spüllösungen ist daher angezeigt, um die Reinigungswirkung des Lasers zu verstärken (Kreisler et al., 2003). Es gibt jedoch Untersuchungen, die eine antibakterielle Wirkung sowohl des Lasers als auch einer NaOCl Lösung feststellen, allerdings eine Infektion der apikalen 3 mm in 70% der Fälle nachweisen (Perin et al., 2004). Somit wird die Desinfektionswirkung der unterschiedlichen Lasersysteme zwar von verschiedenen Autoren bestätigt, dennoch wurde ebenfalls eine alleinige Anwendung ohne den Einsatz zusätzlicher Spülsysteme in Frage gestellt.

Einige Autoren beschreiben das Problem einer erhöhten Undichtigkeit von Füllungsmaterialien nach dem Einsatz verschiedener Lasersysteme (Arisu et al., 2004), andere beschreiben einen deutlichen Temperaturanstieg nach Lasereinsatz (Folwaczny et al., 2002).

Daher verbleibt die Aufgabe, die Systeme auf ihre Praxistauglichkeit zu überprüfen. Insbesondere besteht ein Klärungsbedarf bezüglich der Entfernung abgebrochener Faserfragmente aus dem Wurzelkanal (Bentham, 1994). Eine weitere Studie zeigte, dass nach Laserbehandlung eine verstärkte Farbpenetration in das Dentin zu erwarten war. Damit bleibt der risikolose Einsatz der Laserbehandlung zu klären (Gutknecht et al., 1994).

Neue Untersuchungen bestätigen eine nur minimale Beschädigung periapikaler Gewebe beim Einsatz von Lasern, vorausgesetzt der Einsatz erfolgt unter angemessenen Bedingungen. Dann ist der Laser nur ein potentielles Adjuvanz zur Therapie menschlicher Wurzelkanäle (Kimura et al., 2004; Moshonov et al., 2003).

1.2.5.3. Chemische Methoden

Die Spülung des Wurzelkanals mit antibakteriell wirksamen und gewebeauflösenden Wirklösungen, das chemische Debridement, stellt einen wesentlichen Bestandteil der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung dar, die daher als chemo-mechanische Präparation bezeichnet wird (Hülsmann, 2001). Die alleinige mechanische Aufbereitung ist oft ungenügend, um alle Bereiche des Endodonts ausreichend zu reinigen, es verbleiben immer unterschiedlich ausgedehnte nicht instrumentierte Wandbereiche (Hülsmann, 2001).

Als Folge der instrumentellen Bearbeitung des Dentins bleibt eine 1-5 µm dicke Schmierschicht zurück (Goldman et al., 1985; Koçkapan, 1995; Mader et al., 1984).

Die Schmierschicht entsteht durch die Präparation des Wurzelkanals. Sie enthält anorganische und organische Bestandteile (Pashely, 1984; Yamada et al., 1983), welche Teile von Odontoblastenfortsätzen, nekrotisches Gewebe, Dentin und Prädentin, Reste der Spüllösung und im Falle eines infizierten Kanals, Mikroorganismen und deren Produkte beinhalten (Koçkapan, 1995; Pashley, 1984, 1992; Torabinejad et al., 2002). Der größte Anteil der Schmierschicht scheint jedoch aus anorganischen Bestandteilen zu bestehen, denn NaOCl übt nur einen geringen Effekt auf die Entfernung der Schmierschicht aus (Hülsmann et al., 2003).

Die Frage nach der Entfernung der Schmierschicht wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Einige Autoren sehen im Belassen der Schmierschicht den Vorteil, dass so eine physikalische Barriere für Bakterien und deren Produkte besteht (Diamond und Carrel, 1984; Michelich et al., 1980; Peters et al., 2000; Sen et al., 1995). Allerdings können umgekehrt Bakterien in Dentinkanälchen und akzessorischen Kanälen durch die Schmierschicht vor desinfizierenden Agenzien geschützt werden (Perez et al., 1993). Brannström und Nyborg (1974) zeigten, dass die Schmierschicht Schutz für Mikroorganismen bieten kann und damit einen chronischen Fokus als irritierende Substanz darstellt. Andere Autoren hingegen betrachten die Entfernung der Schmierschicht als notwendig, da sie nekrotisches Pulpagewebe und Bakterien enthält und sogar eine Vermehrung der Bakterien und ihrer Produkte ermöglicht (Meryon und Brook, 1990; Williams und Goldman, 1985). White et al. (1984) beschreiben die Schmierschicht als eine poröse und schwach haftende Schicht zwischen Füllungsmaterial und Dentinwand. Vertreter dieser Lehrmeinung verstehen die Schmierschicht als eine durchlässige Barriere, die lediglich die Penetration der Bakterien verlangsamt (Drake et al., 1994; Williams und Goldman, 1985). Diese Barriere verhindert unter Umständen sogar die Penetration der desinfizierenden Lösung und der späteren Füllmaterialien, insbesondere des Sealers, in die Dentintubuli (Goldberg und Abramovich, 1977). Daher sagen einige Autoren, dass die Dichtigkeit der späteren Füllung durch die Entfernung der Schmierschicht deutlich erhöht werden kann (Diamond und Carrel, 1984; Oksan et al., 1993; Wennberg und Ørstavik, 1990), was allerdings noch nicht abschließend geklärt ist.

Im chemischen Debridement kommen Spüllösungen oder Pastensysteme zum Einsatz. Die Anforderungen an eine Spüllösung sehen wie folgt aus: Sie sollte desinfizierend sein und gewebebelösende Eigenschaften aufweisen, dabei sollte die Lösung die periradikulären Gewebe nicht irritieren (ESE, 1994). Des Weiteren soll durch den Einsatz von Spüllösungen ein Abtransport von Dentinspänen erfolgen und damit eine Blockade des Foramen apikale verhindert werden (Hülsmann, 2001). Ebenso dienen sie als Gleitmittel für Wurzelkanalinstrumente und haben eine Bleichwirkung auf die koronalen und radikulären Anteile (Hülsmann, 2001). Spüllösungen, die alle diese Eigenschaften erfüllen, sind jedoch

meist zytotoxisch. Daher sollte man mit Substanzen arbeiten, die bei möglichst großer antimikrobieller Wirkung gering zytotoxisch sind (Hülsmann, 2001).

1.2.5.3.1. Natriumhypochlorid

Natriumhypochlorid (NaOCl) gehört zu den anerkanntesten Spülmitteln in der Endodontie. Dies beruht auf der Tatsache, dass es die Fähigkeit besitzt, organisches Material zu lösen und den Wurzelkanal zu desinfizieren (Baumgartner und Ibay, 1987; Goldman et al., 1979; Nolden, 1994).

Die Wirkung von NaOCl beruht auf seiner Reaktion mit Proteinen unter Bildung von Chloramin, wobei die Proteine zerfallen. So können auch Pus und nekrotisches Gewebe durch NaOCl gelöst werden (Hülsmann, 2001). Diese aktive Wirkung entsteht aufgrund seines Gehaltes an undissoziierten HOCl-Molekülen, die eine oxydierende und chlorierende Wirkung haben (Hellwig et al., 1999).

NaOCl ist nicht in der Lage, die dem Dentin aufliegende Schmierschicht alleine zu entfernen (Guerisoli et al., 2002; Hellwig et al., 1999; Torabinejad et al., 2003 a/b).

Verschiedene Autoren beschreiben die Verwendung von NaOCl in unterschiedlich hohen Konzentrationen. So stellten Byström und Sundqvist (1985) fest, dass die Effektivität von NaOCl in Konzentrationen von 0,5% bis 5,0% vergleichbar ist. Dahingegen erklären Hand et al. (1978), dass sowohl die gewebelösenden als auch die antibakteriellen Eigenschaften von NaOCl in geringeren Konzentrationen reduziert sind. Bezüglich der benötigten Einwirkzeiten von NaOCl gibt es in der Literatur diverse Angaben. Konzentrationen ab 0,25% zeigen ab einer Einwirkzeit von 1 min Effektivität bei der Desinfektion von Guttapercha Stiften (Cardoso et al., 1999; Ludlow und Hermsen, 1986; Siqueira et al., 1998). Eine andere Studie beschreibt eine effektive Desinfektion ab einer Zeit von 5 min (Senia et al., 1975). Jedoch sind 5 min in diesem Fall die kürzest getestete Zeit und das lässt somit nicht den Rückschluss zu, dass eine Wirkzeit von 1 min keine ausreichende Desinfektion erzielen würde.

Im Vergleich von NaOCl mit anderen desinfizierenden Lösungen bezüglich ihrer Effektivität sind die Autoren unterschiedlicher Meinung. So fanden Ringel et al. (1982), dass NaOCl effektiver ist als Chlorhexidin (CHX), wohingegen andere

Studien feststellten, dass NaOCl und CHX eine vergleichbare desinfizierende Wirkung zeigen (Jeansonne und White, 1994; Ørstavik und Haapasalo, 1990; Vahdaty et al., 1993).

Die Penetration von NaOCl in die Dentin-Tubuli ist gegeben, jedoch ist die Fähigkeit zur Desinfektion des Wurzelkanals abhängig von den im Kanal gefundenen Bakterien (Buck et al., 1999). Die Befürchtung, dass sich in Dentinkanälchen Kristalle bilden, konnte nicht bestätigt werden, so dass dem Einsatz von NaOCl aus dieser Sicht nichts im Wege steht (Schwarze und Geurtsen, 1995). Die Desinfektionswirkung von NaOCl nimmt im Wurzelkanal von koronal nach apikal und von zentral nach peripher ab (Buck et al., 1999).

Probleme bei der Anwendung von NaOCl ergeben sich durch seine zytotoxische Natur. Die häufigste Komplikation ist die versehentliche Injektion in periapikale Gewebe (Hülsmann und Hahn, 2000; Serper et al., 2004). Erfolgt eine apikale Extrusion von NaOCl, so kann dies zu postoperativer Schwellung, Schmerzen und Nekrosen führen (Brown et al., 1995; Çalışkan et al., 1994; Cymbler und Ardakani, 1994; Hülsmann und Hahn, 2000). Bei Überfüllung besteht die Gefahr der Entstehung eines Emphysems und zusätzlich besteht ein allergisches Potential (Jeansonne und White, 1994; Segura et al., 1999; Sen et al., 1995; Yesilsoy et al., 1995). Die Bandbreite der Reaktionen reicht von einer milden Antwort mit einer vollständigen Heilung (Herrman und Heicht, 1979) bis hin zu Sensibilitätsverlusten in entsprechenden Gebieten (Reeh und Messer, 1989). Angesichts dieser Punkte ist eine ausreichende Vorsicht bei der Verwendung von NaOCl indiziert (Joffe, 1991). Zu beachten ist, dass eine Wirkung von NaOCl auf vitale Gewebe bei Konzentrationen ab 1% zu erwarten ist (Hülsmann, 2001). In Konzentrationen von 0,5% ist Natriumhypochlorid nicht toxisch gegenüber vitalen Geweben und wird sofort durch zirkulierendes Blut weggespült (Baumgartner und Cuenin, 1992; Spangberg et al., 1973). Trotzdem sollte eine apikale Extrusion von NaOCl insbesondere von Konzentrationen ab 1% nach Möglichkeit vermieden werden.

1.2.5.3.2. Chelatoren

Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) und RC-Prep™ (Zusammensetzung: Glycol, Harnstoffperoxid, EDTA in einer speziell löslichen Wasserbasis; Fa. Premier Dental) sind die bekanntesten Substanzen dieser Stoffgruppe.

Chelatoren sind aus chemischer Sicht großmolekulare Komplexbildner, die in der Lage sind, selektiv Calciumionen aus dem Dentin an sich zu binden. Man verspricht sich durch die Lösung der Calciumionen eine Demineralisierung des Dentins und damit eine Erweichung des Dentins sowie eine Erleichterung der Aufbereitung enger und/oder stark kalzifizierter Kanäle (Hülsmann, 2001).

Der Einsatz von Chelatoren dient hauptsächlich der Entfernung der Schmierschicht (Appel, 2004). Chelatoren, im Allgemeinen, sind effektiv in der Beseitigung der Schmierschicht.

In diversen Studien wurde diesbezüglich die Effektivität von EDTA untersucht. EDTA öffnet Dentintubuli und führt zu einer sauberen Wurzelkanaloberfläche (Çalt und Serper, 2000; Czonstkowsky et al., 1990; Hottel et al., 1999; O'Connell et al., 2000; Scelza et al., 2000). Die Effektivität wird von einigen Autoren vor allem im koronalen und mittleren Drittel des Wurzelkanals bestätigt, wohingegen das apikale Drittel schlechter gereinigt wird (Lim et al., 2003; Hülsmann et al., 2002; O'Connell et al., 2000; Scelza et al., 2000).

Der alleinige Einsatz von EDTA entfernt nur den anorganischen Teil der Schmierschicht und belässt den organischen Anteil (Baumgartner und Ibay, 1987; O'Connell et al., 2000; Takeda et al., 1999; Yamada et al., 1983). Aus diesem Grund wird der Einsatz von EDTA in Kombination mit NaOCl empfohlen. In mehreren Studien wurde die Effektivität dieser Kombination bestätigt (Baumgartner und Ibay, 1987; Guerisoli et al., 2002; Hata et al., 2001; O'Connell et al., 2000; Yamada et al., 1983; Yamashita et al., 2003). Sowohl die Reinigungswirkung (Lim et al., 2003; Yamashita et al., 2003) als auch der antimikrobielle Effekt (Byström und Sundqvist, 1985) sind größer, wenn die Spülungen kombiniert und nicht einzeln angewendet werden.

Beim Einsatz von EDTA konnte gezeigt werden, dass die Adhäsion des Sealers zum Dentin erhöht werden kann, wobei die Verwendung eines Er:YAG-Lasers bessere Ergebnisse lieferte (Picoli et al., 2003).

Die Konzentrationen des verwendeten EDTA sollten zwischen 15 und 24% liegen, um eine akzeptable Entfernung des Smearlayers und eine Kollagen-Exposition in einer akzeptablen Zeit zu erreichen (Blomlof et al., 1997).

Nachteile von EDTA sind die begrenzten antibakteriellen Effekte und die destruktive Wirkung auf das Wurzelkanalentin (Torabinejad et al., 2003a). Die Destruktivität von EDTA entwickelt sich vor allem bei einer Einwirkzeit von mehr als 1 min (Torabinejad et al., 2003b). Die Auswirkungen der Destruierung äußern sich in der Demineralisation des intertubulären Dentins und in einer Vergrößerung der Dentintubuli (Çalt und Serper, 2002; Takeda et al., 1999). Zusätzlich erfolgt eine Denaturierung der Kollagenfasern (Çalt und Serper, 2002).

Neben Untersuchungen zu EDTA gibt es Untersuchungen, die den Einsatz von MTAD (4-Methyl-1,2,4-Triazol-3,5-Dion) beurteilen. MTAD ist eine neue Lösung, bestehend aus einem Tetracyclin-Isomer (Doxycycline, Fa. Sigma-Aldrich Company), einer Säure (Citric acid, Fa. Sigma Alderich Company) und einem Detergens (Tween-80, Fa. Sigma Alderich Company) (Torabinejad et al., 2003a). In-vitro-Studien von Torabinejad et al. (2003 a,b) zeigten, dass dieses Präparat weniger destruktiv sei als EDTA, dennoch, in Kombination mit NaOCl, die gleiche Effektivität bezüglich der Entfernung der Schmierschicht aufweise wie EDTA und NaOCl. Allerdings müssen noch weitere Studien bezüglich dieses Präparates durchgeführt werden, um seine Effektivität und in vivo Tauglichkeit zu bestätigen.

Chelatoren stehen als Spüllösungen zur Verfügung. Mit zunehmendem Einsatz maschineller Aufbereitungssysteme in Verbindung mit Nickel-Titan-Feilen wird die Verwendung in Pastenform von Herstellern der maschinellen Aufbereitungssysteme empfohlen. In diesem Fall dient die Chelatorpaste jedoch hauptsächlich als Gleitmittel, um ein Verklemmen der Instrumente und ein eventuelles Frakturieren zu verhindern (Hülsmann et al., 2003). Der Einsatz von Chelatoren während der Wurzelkanalpräparation kann empfohlen werden, wobei ein vorsichtiger Einsatz indiziert ist, um eine Verletzung der periapikalen Gewebe zu verhindern (Hülsmann et al., 2003). Allerdings sollten Chelatoren nicht den Einsatz von NaOCl als Standardmittel ersetzen (Hülsmann et al., 2003). Yamashita et al. (2003) konnten wie vorher schon andere Autoren (Baumgartner und Mader,

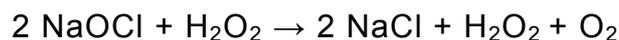
1987; Sen et al., 1995; Yamada et al., 1983) zeigen, dass Kombinationen aus 2,5% NaOCl und EDTA die Kanäle fast gänzlich von Geweberesten befreien und die Dentintubuli freilegen konnten.

1.2.5.3.3. Andere Substanzen

Neben den oben genannten Wirklösungen stehen weitere Lösungen zur Verfügung. Dazu zählen u. a. Wasserstoffperoxid und eine Wechselspülung mit NaOCl und Wasserstoffperoxid. Wasserstoffperoxid wurde weithin als Spüllösung zur Wurzelkanalreinigung eingesetzt, obwohl Senia et al. (1975) zeigten, dass es weniger effektiv in der Beseitigung von Mikroorganismen ist als 5,25% Natriumhypochlorid.

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) ist eine schwach saure Lösung, die in wässriger Lösung in Wasser und Sauerstoff zerfällt. Bei Kontakt mit Gewebe, Blut oder Eiter kommt es zu einer starken Schaumwirkung, da durch die Enzyme Katalase und Glutathion-Peroxidase H_2O_2 in molekularen Sauerstoff umgewandelt wird (Hülsmann, 2001). Durch die Oxidierung von SH-Gruppen wirkt es ebenso als Zellgift (Hülsmann, 2001). Im Kanal verbleibendes H_2O_2 kann sich mit der Peroxidase des Blutes verbinden und zu freiem Sauerstoff werden, der wiederum zu Schmerzen und Schwellung und/ oder zu einem Emphysem führen kann (Becker und Wollard, 2001). Es gibt mehrere Fallberichte, die einen apikalen Übertritt von Wasserstoffperoxid mit einem Eintritt von Schmerzen, Schwellung und Papierknistern, dementsprechend dem Entstehen eines Emphysems, beschreiben (Hülsmann und Denden, 1997; Patterson und McLundie, 1989; Pöllmann, 1980). Die gewebeauflösenden Eigenschaften sind jedoch deutlich geringer als die von NaOCl (Hülsmann, 2001).

Durch die chemische Reaktion zwischen NaOCl und H_2O_2 wird naszierender Sauerstoff freigesetzt:



Die Entstehung naszierenden Sauerstoffs kann strikt anaerobe Bakterien zerstören. Allerdings kann das freiwerdende O_2 auch aufgrund einer Volumenzunahme zur Druckerhöhung im verschlossenen Wurzelkanal und damit zu Schmerzen und Schwellung führen (Hülsmann, 2001).

Es konnte kein Vorteil durch alternierende Spülungen mit NaOCl und Wasserstoffperoxid zur Erzeugung naszierenden Sauerstoffs nachgewiesen werden (Hellwig et al., 1999). Demgegenüber stehen die Nachteile bei der Verwendung von H₂O₂.

1.2.5.4. Desinfektion von Wurzelkanälen

Neben der Reinigung des Wurzelkanals – Entfernung von Geweberesten, Debris, etc. – soll durch die Desinfektion des Wurzelkanals sichergestellt werden, dass zum Abschluss der Wurzelkanalaufbereitung keine vitalen Keime mehr im Kanal vorhanden sind. Die Desinfektion umfasst im Allgemeinen die gezielte (selektive) Keimabtötung mit den Zielen, eine Übertragung von Infektionen durch unerwünschte Mikroorganismen zu verhindern (Muschol und Speer, 1981), bzw. Abtötung, Hemmung oder Entfernung aller pathogenen Mikroben, die eine Infektion bewirken können (Pschyrembel, 1982). Die Wirkung der Desinfektionsmittel wird durch Proteinschädigung, Permeabilitätsschädigung der Zellmembran oder Blockade von Enzymsystemen erzielt (Muschol und Speer, 1981). Zum Einsatz kommen hier vor allem Chlorhexidin (CHX), lokale Antibiotika und Calciumhydroxid-Präparate. Man kann aber auch Natriumhypochlorid zu den desinfizierenden Präparaten zählen, die Übergänge sind fließend.

Chlorhexidin zeigte in verschiedenen Studien schlechtere Ergebnisse als die kombinierte Spülung mit EDTA und NaOCl (Yamashita et al., 2003). Allerdings konnte eine gute Wirksamkeit von Chlorhexidin gegen *E. faecalis* nachgewiesen werden (Basrani et al., 2003; Gomes et al., 2003; Schäfer und Bössmann, 2005). Ebenso wird über eine Wirkung von CHX gegen anaerobe Bakterien (Ørstavik und Haapasalo, 1990) und *Candida albicans* (Schäfer und Bössmann, 2001) berichtet. Bezüglich der Biokompatibilität von Chlorhexidin ist zu sagen, dass es in Konzentrationen von 0,1% bis 2% als toxikologisch unbedenklich betrachtet wird (Yesilsoy et al., 1995). Im Vergleich zu NaOCl besitzt es jedoch keine gewebe-lösenden Eigenschaften und wird deshalb zu den desinfizierenden Spüllösungen gezählt. Allerdings gibt es Berichte über eine besondere Affinität von CHX zur Pulpa und zum Dentin (Parsons et al., 1980) bzw. eine Bindung zwischen Chlorhexidin und Dentin (Haapasalo et al., 2000), die durch eine längere Anwe-

senheit am Wirkort eventuell eine gesteigerte antibakterielle Wirkung aufweist (Parsons et al., 1980). Chlorhexidin zeigt ebenso wie Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) eine Einschränkung seiner Aktivität durch die Anwesenheit von Dentin, das die Lösung abpuffert (Haapasalo et al., 2000). Almyroudi et al. (2002) stellen fest, dass sich Chlorhexidin in-vitro als intrakanalikuläres Medikament eignet, dennoch bleibt ein ausschließlicher Einsatz noch zu diskutieren, obwohl auch andere Empfehlungen als endodontische Spülung ausgesprochen wurden (Jeansonne und White, 1994; White et al., 1999).

Calciumhydroxid-Präparate und lokale Antibiotika werden vor allem als desinfizierende Maßnahmen zwischen den Behandlungseinheiten in die Kanäle appliziert.

In der Forschung besteht Uneinigkeit bezüglich der antimikrobiellen Wirkung von $\text{Ca}(\text{OH})_2$. So vertreten einige Autoren die Meinung, dass die Wirksamkeit von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gegenüber *Enterococcus faecalis* eingeschränkt ist (Gomes et al., 2003; Evans et al., 2002; Ørstavik und Haapasalo, 1990; Schäfer und Bössmann, 2005), wohingegen andere Autoren die Wirksamkeit bestätigen (Haapasalo et al., 2000; Lynne et al., 2003; Schäfer und Bössmann, 1999). Allerdings wird Calciumhydroxid im Kontakt zum Dentin in seiner stark alkalischen Natur deutlich abgepuffert und dadurch in seiner Wirkung eingeschränkt, was die unterschiedlichen Aussagen in der Literatur erklärt (Haapasalo et al., 2000).

Die Wirksamkeit von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ erklärt sich eventuell durch die Fähigkeit zur Absorption von Kohlendioxid, welches lebenswichtig für Kohlendioxid-abhängige Bakterien ist. Dadurch würden etablierte Abhängigkeiten innerhalb des Lebensraumes verschoben bzw. zerstört. Tötet man diese Bakterien, die für das Wachstum der pathogenen Bakterien essentiell sind, verhindert man gleichzeitig deren Vermehrung bzw. tötet sie (Gomes et al., 2003).

Gomes et al. (2003) zeigten, dass eine Kombination aus Chlorhexidin und Calciumhydroxid *E. faecalis* in zwei Tagen zu 100% eliminieren, wobei die Kombination anschließend an Effektivität einbüßt.

Der Vorteil von Calciumhydroxid ist, dass es eine relativ nontoxische und damit sichere Alternative zur Wurzelkanalspülung darstellt (Barnhart et al., 2005).

1.2.5.5. Kombinationen

Im Allgemeinen wird die Anwendung nur einer einzigen Methode nicht zum gewünschten Erfolg, dem funktionstüchtigen endodontisch versorgten Zahn, führen. Carson et al. (2005) schlagen die folgende Kombination reinigender und desinfizierender Spüllösungen vor: zur Entfernung der Schmierschicht 17%iges EDTA, anschließend 6%iges NaOCl und eine abschließende antimikrobielle Spülung mit 2%igem Chlorhexidin zur Desinfektion.

Neben der reinen Kombination verschiedener chemischer Methoden führt z. B. die Kombination von NaOCl und Ultraschall zu erheblich besseren Ergebnissen. Übereinstimmend wird von einem gesteigerten antibakteriellen Effekt der ultraschallgestützten NaOCl-Spülung berichtet (Abou-Rass und Piccinino, 1982; Ahmad et al., 1990).

So betrachten auch einige Autoren die Lasersysteme als Gewinn für die Endodontie, vorausgesetzt sie werden als Zusatz zu der üblichen NaOCl-Spülung eingesetzt (Kreisler et al., 2003).

Die Effektivität neuerer physikalisch-mechanischer Methoden bleibt zu überprüfen, wobei vermutet werden kann, dass der Einsatz ohne den Zusatz eines chemischen oder desinfizierenden Mittels nur geringe Erfolge aufweisen würde.

1.3. Wissenschaftliche Methoden zur Überprüfung der Wurzelkanalreinigung und -desinfektion

1.3.1. Bestimmung der Eindringtiefe der Spüllösung in den Wurzelkanal

Für diese Untersuchungen besteht die Möglichkeit, die Studien als in-vitro Untersuchungen an extrahierten Zähnen oder Zahnmodellen durchzuführen. In den in-vitro Studien können die eingesetzten Objekte auf unterschiedlichste Weise weiterverarbeitet werden. Es können z. B. Färbungen der Präparate vorgenommen werden, die bakterielle Besiedlung kann untersucht werden, licht- oder rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen sowie die Herstellung von Schliffen sind möglich. Man kann unter in-vitro Bedingungen sogar den Einsatz radioaktiver Materialien in Betracht ziehen (Cecic et al., 1984; Rollison et al., 2002; Weller et al., 1980).

Die unterschiedlichen Hilfsmittel zur Begutachtung und Auswertung der Daten werden im Folgenden kurz umschrieben.

1.3.1.1. Lichtmikroskopische Auswertung

In der lichtmikroskopischen Auswertung gibt es bezüglich der Beurteilung der Effektivität von Wurzelkanalreinigungsmethoden verschiedene Ansätze. Oft wird die Effektivität der Reinigungswirkung mit der Fähigkeit der Entfernung von Debris gleichgesetzt. So beurteilen einige Studien die Debrisentfernung mit einem Scoresystem nach lichtmikroskopischer Betrachtung und Dokumentation (Attin et al., 2002; Lussi et al., 1995). Andere Studien verwenden ein Photomakroskop zur Beurteilung der Debrisentfernung (Lee et al., 2004a/b). Einige Autoren färben den Debris, z. B. mittels Van Giesson-Färbung, um eine bessere Differenzierung und Beurteilung anhand von Photos zu ermöglichen (Cheung und Stock, 1993).

Oliver und Abbott (2001) beschreiben die Farbstoffpenetrationstests als Indikatoren, die eingesetzt werden können, um zwei oder mehrere Techniken unter den gleichen in-vitro Konditionen miteinander zu vergleichen. Um eine Beurteilung der Eindringtiefe der Spüllösung in das Dentin zu erreichen, ist eine Anfärbung der Spüllösung notwendig. Grundvoraussetzung für diese Methode ist die Fähig-

keit des Farbstoffes, Dentin anzufärben. Außerdem müssen die Farbstoffmoleküle so klein sein, dass sie in die Dentintubuli penetrieren können. Zu den Farbstoffen, die Dentin anfärben, gehören u. a. Säurefuchsin, Methylenblau und Tolidinblau. Die Beurteilung kann in verschiedenen Ebenen erfolgen. Zum einen kann die Eindringtiefe nach apikal beurteilt werden, zum anderen kann die Eindringtiefe in das zirkuläre Dentin betrachtet werden. Es gibt des Weiteren die Möglichkeit, den Zahn komplett anzufärben und die Eindringtiefe anhand der Entfernung des Farbstoffes zu beurteilen (Peters und Harrison, 1992). Die Verwendung von Farbstoffpenetrationstests ist für den Bereich der Wurzelkanalspülung nur selten dokumentiert, aber zur Überprüfung der Dichtigkeit von Wurzelfüllungen erfolgt der Einsatz standardmäßig (Oliver und Abbott, 2001).

Die Vorbereitung der Präparate zur Begutachtung unter dem Lichtmikroskop erfolgt in Form der Verarbeitung zu Schnitten. Diese können u. a. als Kanalquerschnitte (Weis et al., 2004) oder als Kanallängsschnitte bzw. als halbierte Präparate (Oliver und Abbott, 2001) hergestellt werden.

Ein Nachteil des Lichtmikroskops, im Gegensatz zu Elektronenmikroskopen, ist die begrenzte Auflösung, so dass eine morphologische Darstellung der Dentintubuli im Bezug auf eine mikrobiologische Infektion nur begrenzt möglich scheint.

1.3.1.2. Mikrobiologische Untersuchung

Meist besteht diese Methode in der Infektion extrahierter Zähne von tierischem oder menschlichem Ursprung. Häufig verwendete Bakterien sind *Micrococcus luteus*, *Bacillus megaterium* und *Enterococcus faecalis*. *M. luteus* ist ein grampositives, aerogenes, nicht pathogenes Bakterium, welches sehr klein (0,9 - 1,8 μm) ist und deshalb leicht in Dentintubuli penetrieren kann (Buck et al., 1999). *B. megaterium* ist ebenfalls grampositiv, aerogen und nicht pathogen. Sein Durchmesser beträgt 1,2 μm , während seine Länge deutlich größer ist als der Durchmesser. *E. faecalis* ist eines der Bakterien, welches häufig in infizierten Wurzelkanälen (Love, 2001; Ørstavik und Haapasalo, 1990) oder in Kanälen nach erfolgloser endodontischer Therapie gefunden wird (Nair et al., 1990; Sirén et al., 1997; Sundqvist et al., 1998).

Eine Methode, der sich diverse Studien bedienen, ist der Vergleich der bakteriellen Besiedlung vor und nach der Reinigung (Barnett et al., 1986; Pataky et al., 2002). Man kann eine rein quantitative Analyse der Bakterien vornehmen. In diesem Fall wird vor der Behandlung eine Probe mit einer sterilen Papierspitze genommen und diese in einem Kulturmedium bebrütet. Der gleiche Vorgang wird nach der Behandlung wiederholt, und die Reduktion der bakteriellen Besiedlung wird so messbar (Barnett et al., 1986). Eine andere Studie (Buck et al., 2001) beschreibt die Beurteilung der bakteriellen Kontamination bezüglich verschiedener Eindringtiefen in das Dentin nach apikal und zirkulär. Die extrahierten Zähne wurden mit einer mit *E. faecalis* infizierten Suspension kontaminiert und für zwölf Stunden bebrütet. Anschließend erfolgte die Spülung anhand unterschiedlicher Methoden. An den gereinigten Zähnen wurden Bohrungen in unterschiedlicher Höhe und Tiefe vorgenommen und die entstandenen Dentinspäne unter optimalen Bedingungen bebrütet. Die Ergebnisse entstanden durch den Vergleich der Colony-forming-units (CFUs) von den herabgefallenen Dentinspänen, die unter dem Steromikroskop gezählt wurden.

Ähnliche Studien setzten weitere kulturtechnische Methoden zur Beurteilung der Effektivität von Spüllösungen und -methoden ein (Buck et al., 1999, 2001; Folwazny et al., 2002; Kreisler et al., 2003; Le Goff et al., 1999; Moritz et al., 1999; Pataky et al., 2002; Peters et al., 2000; Piccolomini et al., 2002; Schäfer und Bössmann, 2005; Shabahang und Torabinejad, 2003).

Ein Problem, das sich bei der Verwendung von Papierspitzen zur Probenentnahme ergibt, ist die Situation, dass die Papierspitzen lediglich die Bakterien aufnehmen, in deren direktem Kontakt sie sich befinden und nicht die bakterielle Besiedlung des gesamten Wurzelkanals wiedergeben (Sedgley et al., 2005). Dies stellt insofern ein Problem dar, als für eine erfolgreiche endodontische Therapie das gesamte Wurzelkanalsystem frei von Mikroorganismen sein sollte.

1.3.1.3. Einsatz radioaktiv markierten Materials

Der Hintergrund des Einsatzes radioaktiv markierten Materials liegt darin, eine Möglichkeit zur objektiven Beurteilung der Effektivität der Reinigungswirkung zu entwickeln. Die Radioaktivität ermöglicht den Einsatz von Messinstrumenten, die eine genaue und objektive Beurteilung der Situation unabhängig von der auswertenden Person zulassen. Das Prinzip beruht darauf, das Kanalsystem radioaktiv zu markieren und durch die diversen Spülmethode die Reduktion der Radioaktivität zu messen. In der Literatur sind verschiedene Vorgehensweisen beschrieben. Es gibt die Möglichkeit, radioaktiv markierte Gelatine in den Kanal einzubringen und den prozentualen Verlust der Radioaktivität zu berechnen (Weller et al., 1980). Eine andere Möglichkeit besteht in der Inokulation radioaktiv markierter *E. faecalis* Bakterien in die Wurzelkanäle. Die Beurteilung der Effektivität der verschiedenen Reinigungsmethoden erfolgt im Vergleich zu unbehandelten Kontrollgruppen durch Messung der Radioaktivität anhand eines Szintillations-Spektrophotometers (Rollison et al., 2002). Ein ähnliches Verfahren bedient sich der Entfernung radioaktiven Albumins und berechnet den Prozentsatz der entfernten Radioaktivität (Cecic et al., 1984). Es scheint, dass dieses Verfahren gute Möglichkeiten bietet, die relative Effektivität der Abschlusspülung und Aufbereitung zu studieren (Cecic et al., 1984). Diese Verfahren bedürfen jedoch besonderer Gerätschaften und Räumlichkeiten, die nicht immer gegeben sind.

1.3.1.4. Andere Methoden zur Bestimmung der Eindringtiefe in das Dentin

Eine der am häufigsten angewandten Methoden ist die Analyse mittels des Rasterelektronenmikroskops (REM). Die Technik und Anordnung des Elektronenmikroskops entspricht dem eines Lichtmikroskops. Anstelle von Glaslinsen werden elektromagnetische Felder zur Lenkung des Strahles verwendet. Elektronenstrahlen können vom Auge nicht wahrgenommen werden, so dass die Elektronen mittels Photoplatten oder Leuchtschirmen sichtbar gemacht werden müssen. Um eine Darstellung der Versuchsobjekte zu erreichen, muss eine Beschichtung der Oberfläche mit einer Metallschicht (Sputter) erfolgen. Ein Nachteil beim Einsatz dieser Methode ist die Zerstörung der Zellstrukturen biologischer Präparate durch die Beschichtung mit der Metallschicht.

Kürzlich wurde eine neue nichtdestruktive Methode zur Beurteilung der chemo-mechanischen Wurzelkanalreinigung entwickelt (Sedgley et al., 2004). Sie bedient sich des Einsatzes biolumineszenter Bakterien (*Pseudomonas fluorescens*) und biophotonischen Imagings und Luminometrie. Biolumineszente Emissionen können mit dem CFU-Zählen korreliert werden (Sedgley et al., 2005). Sedgley et al. (2005) sehen den Vorteil dieser Methode in der quantitativen Beurteilung der bakteriellen Besiedlung in Echtzeit. Außerdem kann eine wiederholte Beurteilung erfolgen, ohne den Zahn zerstören zu müssen.

1.3.2. Beurteilung der apikalen Extrusion

Die Beurteilung der apikalen Extrusion bedient sich verschiedener Methoden, die im Folgenden kurz skizziert werden. Um eine Beurteilung der Quantität des überpressten Materials zu erhalten, empfiehlt sich die Messung des Volumens oder des Gewichts.

Möchte man eine Aussage über die apikal auftretenden Kräfte machen, so bieten sich Messungen mit Durchflussmessgeräten an (Bradford et al., 2002).

1.3.2.1. Volumenmessung

Eine Möglichkeit besteht darin, das Versuchsobjekt in einem Auffangbehälter zu positionieren und die apikal übertretenden Gewebereste sowie Flüssigkeiten aufzufangen. Die aufgefangenen Reste werden im Vergleich zu einem geeichten Messbehältnis bezüglich ihres Volumens bestimmt (Ferraz et al., 2001).

Eine andere Möglichkeit der Bestimmung des apikal ausgetretenen Volumens bedient sich der Volumen-Spektrometrie (Brown et al., 1995). Dabei wird die apikal ausgetretene Spülflüssigkeit (NaOCl) in einem Behältnis mit einer definierten Menge destillierten Wassers aufgefangen. Anschließend wird das Wasser anhand eines Spektrometers mit der üblichen Vorgehensweise auf die Konzentration von Natrium untersucht. Daraus wird das apikal überpresste Volumen durch eine mathematische Formel kalkuliert.

1.3.2.2. Gewicht

Um die Menge der apikal überpressten Gewebereste bestimmen zu können, beschreiben Ferraz et al. (2001) das Auffangen der Gewebe in einem mit destilliertem Wasser gefüllten Behältnis. Die am Zahn anhaftenden Gewebereste wurden anschließend noch mit 1 ml destilliertem Wasser in das Behältnis gespült. Die Behältnisse wurden fünf Tage bei 68°C gelagert, um die Zähne zu trocknen. Anschließend erfolgte eine Gewichtsbestimmung mit einer elektrischen Waage.

1.3.2.3. Andere Methoden zur Beurteilung der apikalen Extrusion

Des Weiteren besteht die Alternative, Farblösungen zum Spülen zu verwenden. Dadurch kann der apikale Bereich angefärbt werden. Dazu wird der Zahn in Gips eingebettet und der angefärbte Bereich mittels eines Planimeters auf die Farbdichtigkeit überprüft (Lee et al., 1991). Ebenso kann der Zahn in Gelatine eingebettet werden, die eher den Eigenschaften der apikalen Gewebe entspricht. Die Ergebnisse sollten schnellst möglich fotografisch dokumentiert werden, um eine Verfälschung der Ergebnisse zu verhindern. Eine Auswertung erfolgt dann mittels Ausmessung der apikalen Anfärbung oder als Reihung nach der Ausdehnung der Anfärbung.

1.4. Fragestellung

Das Ziel der vorliegenden in-vitro Studie war es, die Effekte des hydrodynamischen RinsEndo®-Systems zur Wurzelkanalspülung im Vergleich zu konventionellen Spültechniken zu untersuchen. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen die Eindringtiefe der Spüllösung nach zirkulär und apikal und das Ausmaß der Extrusion nach apikal. Außerdem erfolgte eine Beurteilung der Eignung zur klinischen Anwendung.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Versuchssystematik

Der vorliegende Versuch untersuchte die abschließende Spülung im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung anhand konventioneller Methoden und einer neuartigen Technik (RinsEndo®).

Das verwendete Versuchsmaterial bestand aus 45 frisch extrahierten Zähnen, deren Extraktion unabhängig vom Versuch, alio loco, durchgeführt wurde. Im Anschluss erfolgte die Auswahl des Zahnmaterials (s. 2.3. Auswahl des Untersuchungsmaterials). Das weitere Vorgehen war wie folgt: Vorab wurde die Zahnart der Versuchsobjekte bestimmt und jeder Zahn in einem „Minicontainer“ der Fa. Eppendorf eingelagert und nummeriert. Die Zähne wurden dekapitiert, bis ISO-Größe 30 aufbereitet, und es fand eine Volumenbestimmung des Kanalsystems statt (s. 2.3. Auswahl des Untersuchungsmaterials). Anschließend erfolgte eine zufällige Verteilung der Zähne in drei Gruppen und das Einbetten der Zähne in Versuchsbehältnisse, die zuvor bis 5 mm oberhalb der jeweiligen Zahnlänge mit Gelatine gefüllt wurden (s. Abb. 4 und 2.5. Versuchsanordnung). Die Vorbereitung der Zähne und die weitere Versuchsdurchführung geschahen gruppenweise. Die jeweils eingesetzte Spüllösung bestand aus Natriumhypochlorid und einem Markerfarbstoff (s. 2.4. Farbstoffpenetrationstest). Die *Gruppen I und II* dienten als Vergleichsgruppen (s. 2.5.2.2. Vergleichsgruppen). Die *Gruppe I* wurde mit einer statischen Lösungsapplikation behandelt, während die *Gruppe II* mittels einer manuell-dynamischen Spülung behandelt wurde. Die *Gruppe III* wurde einer Spülung mit dem RinsEndo®-System unterzogen (s. 2.5.2.1. Hydrodynamisch-maschinelle Spülung: RinsEndo®). Nach der Versuchsdurchführung erfolgte sofort im Anschluss die fotografische Dokumentation der behandelten Zähne zur späteren makroskopischen Beurteilung (s. 2.6. Makroskopische Dokumentation). Unmittelbar anschließend wurden die Präparate mit dem Trennschleif-System (Fa. Exakt) zu Kanalquerschnitten (in 2, 4, 6 und 8 mm Entfernung vom Apex) verarbeitet und auf mikroskopischer Basis im Auflichtmodus abfotografiert (s. 2.7. Weiterverarbeitung zur mikroskopischen Dokumentation und 2.8. Mikroskopische Dokumentation). Anschließend erfolgte die Auswertung der

Ergebnisse anhand verschiedener Methoden (s. 2.9. Auswertung der Ergebnisse).

2.2. Verwendete Spülsysteme

2.2.1. Das RinsEndo[®]-System zur Wurzelkanalreinigung und -desinfektion

Das RinsEndo[®]-System ist ein System zur hydrodynamischen Wurzelkanalreinigung. Die zugrunde liegende Technologie beruht auf einem Druck-Saug-Zyklus.

Das System besteht aus drei Teilen: dem Handstück, einer Einmalkanüle (\varnothing : 0,45 x 12 mm) und einer konventionellen Einzelspritze beliebiger Größe mit Luer-Anschluss (s. Abb. 1). Das Handstück besteht aus einem Turbinenanschluss, einem Frequenzgenerator und einer Mischkammer. Die Kanüle wird vorne auf das Handstück aufgebracht und durch Drehen gesichert, während die Einzelspritze auf die speziell dafür vorgesehene Halterung im Bereich der Handstückbasis gesteckt wird.

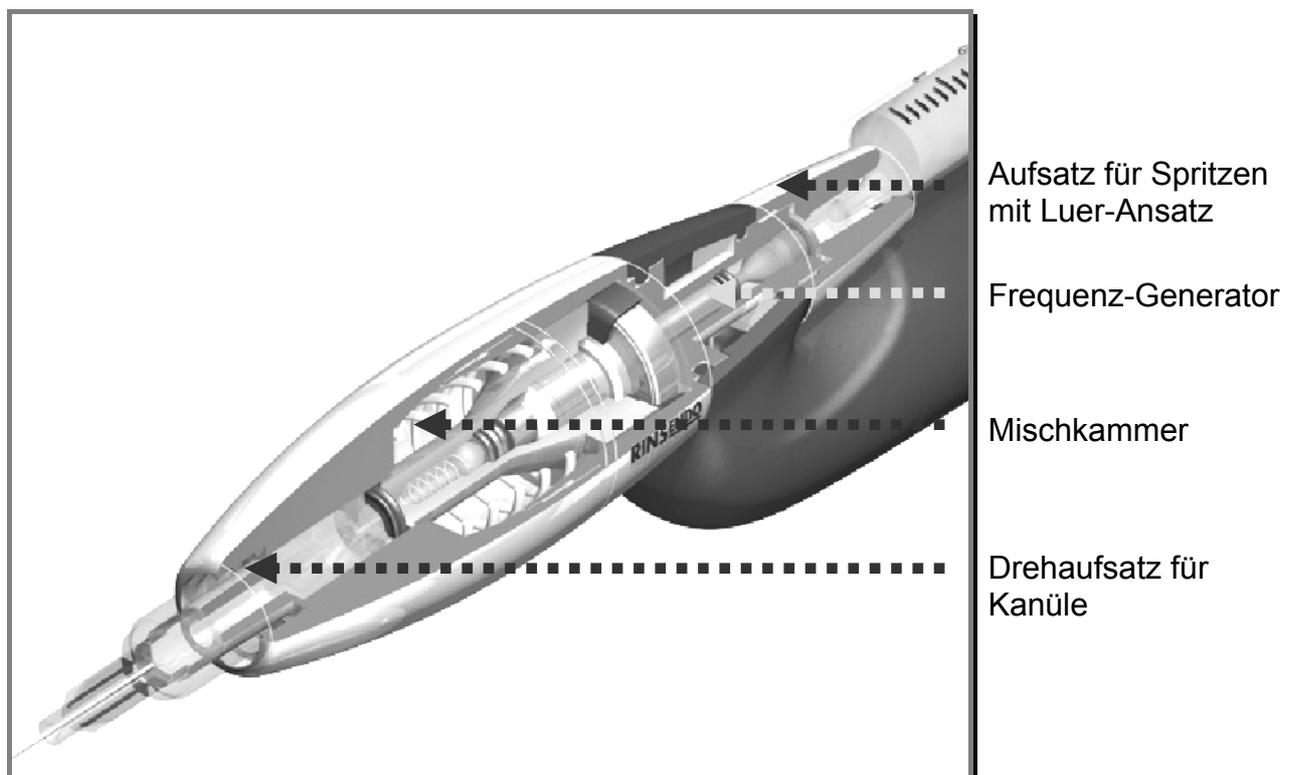


Abb. 1: Schematische Darstellung des Aufbaus des RinsEndo[®]-Systems (Fa. Dürr Dental)

Das Prinzip der Spül-Saug-Technologie beruht auf einem pneumatisch betriebenen Frequenz-Generator, der jeweils 65 µl einer Spüllösung oszillierend mit einer Frequenz von 1,6 Hz aus einer aufgesteckten Spritze ansaugt und über eine Kanüle in den Wurzelkanal befördert. Während der Saugphase werden die verbrauchte Lösung und Luft zurückgesaugt und in der Mischkammer automatisch mit frischer Spüllösung versetzt. Laut Herstellerangaben ist eine gleichzeitige Absaugung mittels eines an die Behandlungseinheit angeschlossenen Suktors erforderlich.

Saug- und Druckzyklus wechseln sich etwa 100-mal pro Minute ab. Die Spülgeschwindigkeit beträgt 6,2 ml/ min. Der Luftverbrauch liegt bei 0,5 l/ min.

Das Handstück besteht aus einem Titangehäuse, das an Turbinenkupplungen der Firmen Sirona, KaVo und W&H angeschlossen werden kann. Die Bedienung erfolgt über den Fußschalter der Behandlungseinheit.

Nach Herstellerangaben dürfen nur folgende Spüllösungen verwendet werden (s. Tab. 1):

Spüllösung	minimale Konzentration	maximale Konzentration
NaOCl	1 %	3%
H ₂ O ₂	3%	5%
CHX	0,2%	2%
EDTA	k. A.	<10 %
Citrat	k. A.	<17%

Tab. 1: In Kombination mit dem RinsEndo[®]-System zu verwendende Spüllösungen und deren empfohlene Konzentrationen nach Herstellerangaben

Nach dem Aufsetzen des RinsEndo[®]-Handstückes auf die Turbinenkupplung werden die Wasser- und die Lichtleitung automatisch geschlossen, so ist ein steriles Arbeiten möglich.

Im Ablauf des Versuches stellt das RinsEndo[®]-System die Versuchsgruppe dar und wird als *Gruppe III* geführt.

2.2.2. Die manuell-dynamische Wurzelkanalspülung

Die dynamische Wurzelkanalspülung beruht auf einer manuellen Spülung des Wurzelkanals mittels einer Einmalspritze und einer aufgesetzten Kanüle (Ø 0,50 x 25 mm). Diese Methode ist bislang das Standardverfahren zur Wurzelkanalspülung, da es keiner zusätzlichen Geräte bedarf (s. Abb. 2).

Das Vorgehen beinhaltet eine gleichmäßige Abgabe von Wirklösung in den Wurzelkanal, um ein apikales Überpressen durch Erzeugung zu starken Drucks zu vermeiden. Die Abgabe erfolgt mit einer definierten Geschwindigkeit. Die verwendeten Spüllösungen sind frei wählbar.

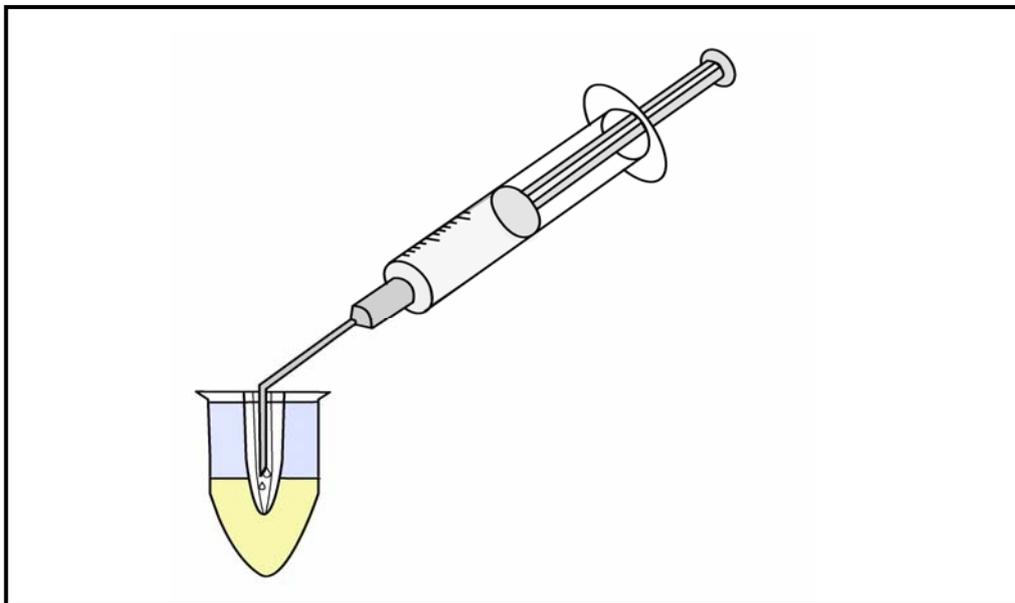


Abb. 2: Darstellung des Prinzips der dynamischen Handspülung unter Versuchsbedingungen mittels einer Einmalspritze

Die manuell-dynamische Spülung wird in der weiteren Versuchsabfolge als Vergleichsgruppe eingesetzt und als *Gruppe II* aufgeführt.

2.2.3. Die Statische Lösungsapplikation

Die Statische Lösungsapplikation besteht im Gegensatz zu den anderen Verfahren nicht in mechanisch bewegten Spüllösungen, sondern soll nach dem Einfüllen der Spüllösung durch eine verlängerte Einwirkzeit zur Desinfektion und Reinigung beitragen. Dazu muss sichergestellt sein, dass keine Luftblasen im Lumen des Kanals verbleiben, da ansonsten keine Wirkung der Spüllösung im Ka-

nal stattfinden kann. Zur Entfernung der Luftblasen können K-Feilen verwendet werden. In der Literatur fanden sich diverse Einwirkzeiten der statischen Lösungen zwischen 30 s und 18 min (Cameron, 1995). Hier wurde nach Literaturstudium eine Einwirkzeit von 3 min angesetzt, die bei Ultraschallstudien vorgeschlagen wurde (Alacam, 1987; Cameron, 1995; Lee et al., 1991; Türkün und Cengiz, 1997). Auf eine längere Einwirkzeit wurde aufgrund der fehlenden Praxistauglichkeit verzichtet.

Die statische Lösungsapplikation diente als Vergleichsgruppe und wird im weiteren Verlauf des Versuches als *Gruppe I* geführt.

2.3. Auswahl des Untersuchungsmaterials

Das Untersuchungsmaterial bestand aus 76 frisch extrahierten einwurzeligen Zähnen und Oberkiefermolaren, deren palatinale Wurzeln verwendet wurden. Die Einstufung als nicht erhaltungswürdig erfolgte aus kieferorthopädischer, parodontologischer oder konservierender Sicht. Die Indikationsstellung zur Extraktion geschah unabhängig von der vorliegenden Studie und wurde durch nicht beteiligte Behandler vorgenommen. Die Aufbewahrung und der Transport erfolgten in physiologischer Kochsalzlösung mit einem Zusatz von 0,001 ‰ Natrium-Acid (Fa. Merck-Schuchardt Art. 822335).

Ausgesondert wurden Zähne mit weit offenen apikalen Foramina, Zähne mit starker apikaler Krümmung (Schneider-Winkel $> 10^\circ$) und Zähne mit mehr als einem Wurzelkanal. Revisionen von bereits wurzelgefüllten Zähnen wurden nicht durchgeführt.

Folgende Zahnarten wurden verwendet:

- Obere Inzisiven
- Obere Canini
- Obere und untere Prämolaren
- Palatinale Wurzeln oberer Molaren

Nach dieser Selektion verblieben 45 Zähne, die in drei verschiedene Gruppen aufgeteilt wurden. Um möglichst vergleichbare Gruppen zu erhalten, wurden die Wurzelkanäle auf ihre Volumina überprüft. Dies erfolgte mittels einer Messung des Gewichts der Zähne ohne und mit destilliertem Wasser. Die Gewichtsdi-

renz entspricht dem Volumen in Millilitern. Die verschiedenen Volumina wurden zu Volumengruppen (1 - 4) zusammengefasst und dann gleichmäßig auf die Gruppen verteilt (s. Tab. 2).

Die Aufteilung erfolgte randomisiert, so dass jede Gruppe drei Oberkiefer Einser, zwei Oberkiefer Zweier, zwei obere Canini, vier Prämolaren und vier palatinale Wurzeln oberer Molaren enthielt. Des Weiteren wurden die Volumengruppen wie oben angegeben (s. Tab. 2) auf die Gruppen verteilt.

Volumen-Gruppe	Volumen	Anzahl insgesamt	Anzahl pro Gruppe
1	0,0000 ml bis 0,0049 ml	9	3
2	0,0050 ml bis 0,0099 ml	18	6
3	0,0100 ml bis 0,0149 ml	12	4
4	> 0,0150 ml	6	2

Tab. 2: Einteilung der Kanalvolumina in vier Volumengruppen und deren Verteilung auf die Versuchsgruppen. Jede Versuchsgruppe erhielt dementsprechend drei Zähne der Gruppe 1 (0-0,0049 ml); sechs Zähne der Gruppe 2 (0,0050-0,0099 ml); vier Zähne der Gruppe 3 (0,01-0,0149 ml) und zwei Zähne der Gruppe 4 (> 0,015 ml).

2.4. Farbstoffpenetrationstest

In einem Vorversuch wurden zwei verschiedene Farbstoffe mit NaOCl kombiniert und in verschiedenen Konzentrationen auf die Penetration in Dentintubuli getestet. Das Ziel bei der Verwendung der Farbstoffe lag in der Anfärbung von Dentin, deshalb wurden von vornherein nur Farbstoffe mit Adhärenz zu Dentin in den Vorversuch einbezogen. Die Anfärbung sollte vom Wurzelkanallumen aus erfolgen. Die Konzentration von NaOCl wurde mit 2% festgelegt. Die verwendeten Farbstoffe waren Toluidinblau (Fa. Merck) und Säurefuchsin (Fa. Merck). Toluidinblau zeigte in jeder Konzentration in Kombination mit NaOCl eine Ausfällung, so dass die Anwendung im Versuch nicht möglich war. Für die Verwendung von NaOCl und Säurefuchsin wurde eine Konzentrationsreihe in absteigender

Reihenfolge erstellt (s. Abb. 3). Aufgrund der in Tab. 3 gezeigten Ergebnisse des Vorversuchs wurde eine Kombination von 5 g Säurefuchsin-Pulver gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl verwendet.

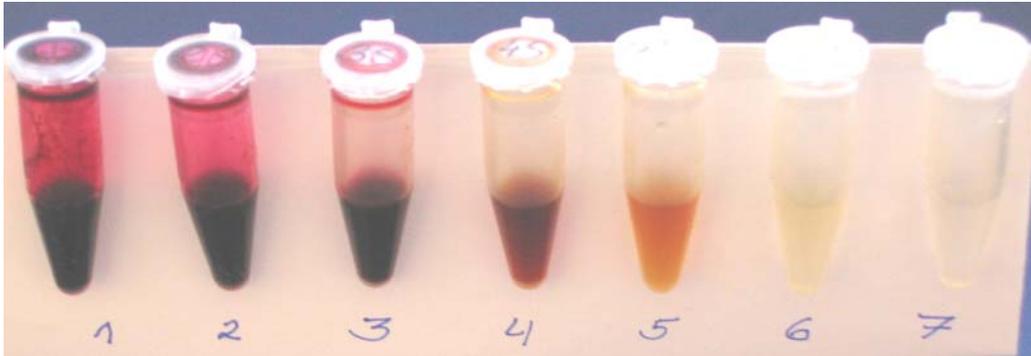


Abb. 3: Konzentrationsreihe zur Ermittlung der zu verwendenden Konzentration von Säurefuchsin in Kombination mit NaOCl.

Zugabe von Säurefuchsin-Pulver zu 100 ml 2%igem NaOCl: Präparat 1: 10 g; Präparat 2: 5 g; Präparat 3: 2,5 g; Präparat 4: 1,25 g; Präparat 5: 0,63 g; Präparat 6: 0,31 g; Präparat 7: 0,16 g. Im Versuch wurde ein Zusatz von 5 g Säurefuchsin-Pulver gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl eingesetzt (s. Präparat 2).

Säurefuchsin-Pulver gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl	Effekt
10 g	gute Einfärbung, keine sichtbare Ausfällung
5 g	gute Einfärbung, keine sichtbare Ausfällung
2,5 g	sichtbare Ausfällung
1,25 g	sichtbare Ausfällung
0,63 g	sichtbare Ausfällung
0,31 g	geringe Einfärbung
0,16 g	keine Einfärbung

Tab. 3: Vorversuch zur Ermittlung der erforderlichen Menge Säurefuchsin, um eine ausreichende Färbung der 2%igen NaOCl Lösung zu erhalten.

2.5. Versuchsanordnung

2.5.1. Vorbereitung des Untersuchungsmaterials

Während der Versuchsvorbereitungen wurden die Versuchsobjekte in sog. „Mini-container“ der Fa. Eppendorf in 0,9%iger Kochsalzlösung und einem Zusatz von 0,001 % Natrium-Acid gelagert. Es erfolgte eine Nummerierung der Zähne.

Die Zahnkrone wurde auf Höhe der Schmelz-Zement-Grenze mit einem Ledge-Diamanten der Fa. Komet (Gebr. Brasseler GmbH & Co KG) abgetrennt. Die Ausräumung von pulpaalem Restgewebe aus dem Wurzelkanallumen erfolgte mittels herkömmlichen Exstirpationsnadeln. Anschließend wurde anhand von K-Feilen der ISO-Größe 10 (Fa. VDW) die Arbeitslänge mittels optischer Beurteilung der Feilenlänge bis zum sichtbaren physiologischen Apex festgelegt. Mit diesem Vorgehen wurde ebenfalls sichergestellt, dass das apikale Foramen nicht obliteriert war. Die Kanäleingänge wurden mit Gates Bohrern der Größen 2, 4 und 6 aufsteigend erweitert. Die Kanäle wurden dann mit K-Feilen (Fa. VDW) in den ISO-Größen 10, 15, 20, 25 bis zur „Masterfeile“ der ISO-Größe 30 aufbereitet. Es wurden nur gerade und nicht verbogene Feilen weiterverwendet, jedoch maximal fünf Zähne pro Feile aufbereitet. Im Anschluss wurden die Feilen verworfen. Nach jeder Feile erfolgte eine manuelle Spülung mit 5 ml 2%iger NaOCl-Lösung. Wurzelgefüllte und oblitierte Zähne wurden verworfen.

Um die Gruppen möglichst homogen zu gestalten, wurden neben der Zahnart auch der Schneider-Winkel und das Volumen des Wurzelkanals wie folgt bestimmt:

Die Bestimmung des Krümmungswinkels (Schneider-Winkel) erfolgte anhand von Röntgenaufnahmen. Die Aufnahmen wurden unter standardisierten Bedingungen in zwei Ebenen hergestellt. Als Strahlenquelle diente ein Dentalröntgengerät mit Langtubus (Fa. Siemens). Die Belichtung erfolgte mit 60 kV und 2,81 mAs. Als Filmmaterial diente ein digitaler Film. Die Zähne wurden in zwei im 90° Winkel zueinander stehenden Ebenen geröntgt. Dazu wurden sie auf einer Vorrichtung aus Plastilin positioniert, die auf dem digitalen Filmsensor befestigt wurde. Der Langtubus wurde senkrecht zur Filmebene ausgerichtet und die Aufnahme durchgeführt. Die Bestimmung des Schneider-Winkels erfolgte anhand des Digo-ra 2.0 Computer-Programms (Fa. Soredex).

Des Weiteren erfolgte die Bestimmung der Volumina der Wurzelkanäle. Dazu wurden die Zähne mit je fünf handelsüblichen Papierspitzen der ISO-Größe 30 getrocknet. Anschließend erfolgte die Eichung des Wiegebehältnisses auf null Gramm. Die Eichung wurde nach jeder Messung kontrolliert. Das Wiegebehältnis bestand aus einem kleinen Plastikbehältnis und Plastilin. Nach jeder Messung wurden das Behältnis auf Wasserreste und der Zahn auf Plastilinreste überprüft. Insbesondere der Apex wurde hinsichtlich von Plastilinresten begutachtet.

Zunächst wurde der getrocknete Zahn gewogen, der dann außerhalb der Waage tropfenweise mittels einer Spritze und aufgesetzter Kanüle mit Aqua dest. befüllt wurde. Luftblasen, die beim Einfüllen des Aqua dest. entstanden, wurden mit einer K-Feile der ISO-Größe 10 beseitigt. Der Kanal wurde bis zum koronalen Rand gefüllt und in einem zweiten Durchgang erneut gewogen. Die Gewichtsdiﬀerenz zwischen dem getrockneten und dem gefüllten Kanal wurde berechnet und konnte dann aufgrund der Verwendung von Aqua dest. mit dem Volumen des Kanals gleichgesetzt werden. Anschließend erfolgte die Gruppeneinteilung wie unter 2.3. (Auswahl des Untersuchungsmaterials) beschrieben.

Zwischen den verschiedenen Arbeitsschritten wurden die Zähne wie gehabt in 0,9%iger Kochsalzlösung und einem Zusatz von Natrium-Acid kühl gelagert.

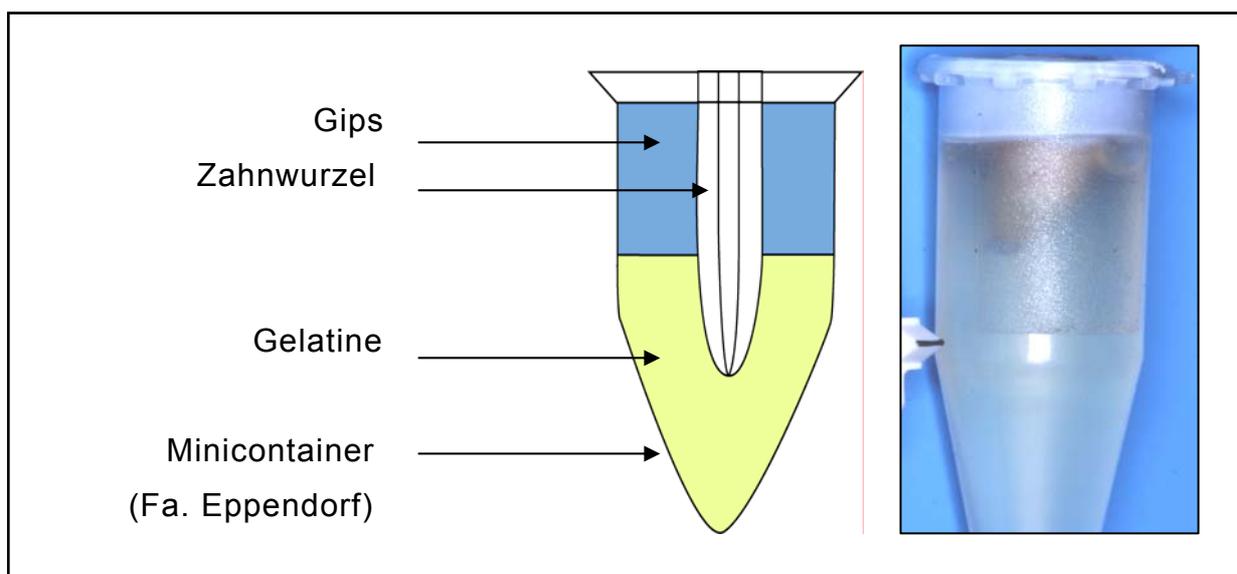


Abb. 4: schematischer Versuchsaufbau (li.) und Original (re.)

Die weitere Vorbereitung erfolgte kurz vor der Versuchsdurchführung. Es wurden jeweils 15 sog. „Minicontainer“ der Fa. Eppendorf mit Gelatine (15 g Gelatine gelöst in 100 ml Aqua dest.; Fa. Merck) und einem Zusatz von 0,001 ‰ Natrium-Acid (Fa. Merck-Schuchardt) bis zum Kanalrand befüllt, so dass der Apex des Zahnes ca. 5 mm in Gelatine gefasst war. Vor dem Auffüllvorgang wurde der Wurzelkanal mit einem Stück Plastilin verschlossen, um eine Kontaminierung des Wurzelkanals mit Gips zu verhindern. Um die Zahnwurzel entsprechend positionieren zu können, wurde nach dem Einfüllen der Gelatine eine Folie (Parafilm[®]-M, Fa. Brand GmbH & Co. KG) darüber gespannt, in der die Wurzel fixiert wurde, bis die Gelatine ausgehärtet war. Der verbliebene Freiraum konnte dann mit Hilfe einer Einmalspritze - um den Zahn bis zur Kante des Eppendorfgefäßes - mit Hartgips (BonDur S blau, Fa. Wiegmann Dental) aufgefüllt werden (s. Abb. 4). Die Oberfläche des Gipses und die Übergänge zum Zahn und zum Eppendorfgefäß wurden mit einem Klarnagellack versiegelt, um ein Eindringen von Flüssigkeit durch den Gips zu vermeiden und um Spalten zwischen Eppendorfgefäß und Gips bzw. zwischen Gips und Zahn zu schließen.

2.5.2. In-vitro-Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden jeweils vom gleichen Behandler unter standardisierten Bedingungen durchgeführt. Zur besseren Handhabung wurden die Versuchsobjekte in Eppendorf-Ständern positioniert. Die Durchführung der Versuche (Statische Lösungsapplikation, Manuell-dynamische Spülung und RinsEndo[®]) folgte einem identischen Zeitraster, d.h. unmittelbar nach Beendigung eines Arbeitsschrittes folgte die Durchführung des nächsten erforderlichen Schrittes.

2.5.2.1. Hydrodynamisch-maschinelle Spülung: RinsEndo[®]

In einem Vorversuch wurde die Spülung anhand des RinsEndo[®]-Systems (Fa. Dürr Dental) untersucht. Die Messungen im Vorversuch ergaben, dass 5 ml binnen 30 s abgegeben wurden. Dies geschah durchschnittlich in 50 Hüben. Diese Ergebnisse wichen geringfügig von den Herstellerangaben ab.

Das RinsEndo[®]-System wurde den Herstellerangaben entsprechend auf den Turbinenaufsatz einer Behandlungseinheit (Fa. KaVo GmbH) montiert und mit

einer 5 ml Spritze und darin enthaltener Spüllösung beschickt. Außerdem wurde eine Kanüle (\emptyset : 0,45 x 12 mm, vom Hersteller mitgeliefert) auf die entsprechende Vorrichtung aufgedreht. Im Versuch fand eine Spülung jedes Zahnes der Versuchsgruppe mit 5 ml NaOCl und einem Farbzusatz von Säurefuchsin (5 g Säurefuchsin gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl) statt. Es wurde darauf geachtet, dass keine Klemmwirkung mit der Nadel im Kanal entstand, die Kanüle jedoch so tief wie möglich in den Kanal eingeführt wurde. Daher erfolgten leichte Auf- und Abwärtsbewegungen. Bei der Spülung wurde ein gleichzeitiges Absaugen mit der an die Behandlungseinheit angeschlossenen Suktoranlage, wie vom Hersteller empfohlen, durchgeführt. Nach der Spülung erfolgte sofort die Trocknung jedes Versuchsobjektes mit fünf Papierspitzen der ISO-Größe 30 (Fa. VDW).

Sofort nach Beendigung des Versuches wurden die apikale Region und eine eventuelle Farbpenetration in die Gelatine fotografisch dokumentiert. Im Anschluss daran erfolgte die Weiterverarbeitung zu mikroskopischen Präparaten.

2.5.2.2. Vergleichsgruppen:

2.5.2.2.1. Manuell-dynamische Spülung

In einem Vorversuch wurde die durchschnittliche Zeit ermittelt, die benötigt wird, um 5 ml einer Spüllösung mit gleichmäßiger Geschwindigkeit aus einer Einzelspritze mit einer Kanüle (\emptyset : 0,50 x 25 mm) abzugeben. Dazu führten zwei Behandler je zehn Durchgänge durch. Die gemittelte Dauer der Spülung betrug 1 min. Diese Zeit wurde als Maßstab angesetzt und in diesem Versuch verwendet.

Der Versuch wurde von einem Behandler durchgeführt. Es wurde je 5 ml 2%ige NaOCl-Lösung mit Säurefuchsin (5 g Säurefuchsin gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl) als Spüllösung eingesetzt. Jeder Zahn wurde mit gleichmäßiger Geschwindigkeit über die Dauer von 1 min gespült. Während der Spülung wurde sichergestellt, dass es zu keiner Klemmwirkung der Nadel im Kanal kam. Dennoch wurde die Kanüle so tief wie möglich in den Kanal eingeführt. Durch leichte Auf- und Abwärtsbewegungen wurde die Klemmwirkung vermieden. Parallel zur Versuchsdurchführung erfolgte die Absaugung übertretender Spüllösung mit einem chirurgischen Sauger. Direkt im Anschluss erfolgte die Trocknung mit fünf Pa-

pierspitzen der ISO-Größe 30 (Fa. VDW). Die fotografische Dokumentation und Weiterverarbeitung erfolgte analog zum RinsEndo[®]-Versuch.

2.5.2.2.2. Statische Lösungsapplikation

Neben der dynamischen Spüllösung wurde zusätzliche die statische Lösungsapplikation als Vergleichsmittel eingesetzt. Hierzu wurde der Wurzelkanal mit einer Spritze mit der angefärbten NaOCl-Versuchslösung (5 g Säurefuchsin gelöst in 100 ml 2%igem NaOCl) befüllt. Die Spritze war mit einer Kanüle (Ø: 0,50 x 25 mm) bestückt. Die Füllung erfolgte bis zum koronalen Rand des Wurzelkanals. Die Kanüle wurde so tief wie möglich in den Kanal eingeführt, ohne eine Klemmwirkung im Kanal zu erzeugen. Dies geschah durch leichte Auf- und Abwärtsbewegungen. Die Beseitigung von Luftblasen fand mit einer K-Feile der ISO-Größe 10 statt. Durch einen Silikonstopp, der 1 mm kürzer als die AAT angebracht wurde, konnte eine Überinstrumentierung nach apikal verhindert werden. Die Lösung wurde für 3 min im Kanal belassen und anschließend mit einem chirurgischen Sauger abgesaugt. Direkt im Anschluss erfolgte die Trocknung mit fünf Papierspitzen der ISO-Größe 30 (Fa. VDW).

Erneut fand die fotografische Dokumentation und Weiterverarbeitung analog zu den bereits durchgeführten Versuchen statt.

2.6. Makroskopische Dokumentation

Im Anschluss an die Versuchsdurchführung erfolgte die fotografische Dokumentation der apikalen Situation. Die Versuchobjekte wurden neben einer Messskala in einer 1:1 Aufnahme fotografiert.

2.7. Weiterverarbeitung zur mikroskopischen Dokumentation

Die Versuchobjekte wurden zunächst gerade getrimmt, dann wurden sie mittels Sekundenkleber auf einem Objektträger befestigt. Je Präparat wurden vier Querschnitte im Abstand von 2, 4, 6 und 8 mm vom anatomischen Apex gemessen angefertigt (s. Abb. 5). Das Versuchobjekt wurde mit dem Objektträger in das Trenn-Schleif-System (Fa. Exakt) eingespannt und die Schnitte unter Wasserkühlung (laut Herstellerangaben) vorgenommen.

Die so vorbereiteten Schnitte wurden markiert und zur mikroskopischen Dokumentation weitergegeben.

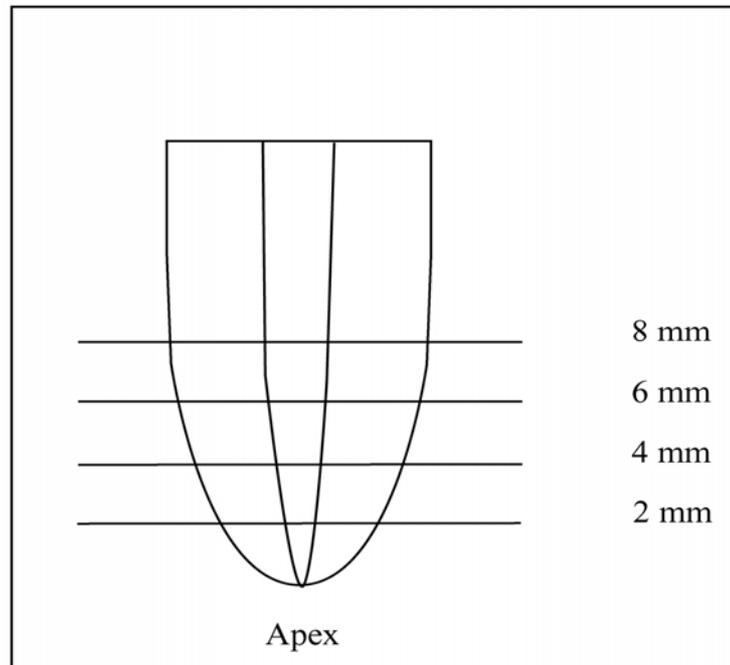


Abb. 5: Anlage der Schnittebenen zur mikroskopischen Dokumentation. Die Messung erfolgte vom Apex aus nach koronal.

2.8. Mikroskopische Dokumentation

Die Schnitte wurden in einem Stereomikroskop im Auflichtmodus (Wild Heerburg 0,4x Stereo 40/14) bei 18facher und bei 33facher Vergrößerung beurteilt. Zur standardisierten Dokumentation und metrischen Auswertung wurden die Präparate fotografisch mit einer Fotoeinrichtung (Wild MPS 45 Photoautomat) erfasst. Mit Hilfe einer skalierten Messplatte der Firma Wild (Seriennummer 310345) wurde das Mikroskop auf 18fache bzw. 33fache Vergrößerung geeicht, je nach Passung des Präparates.

2.9. Auswertung

Die Auswertung des Versuchs umfasst zwei verschiedene Bereiche: die apikale Extrusion der Spüllösung und 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 bezüglich des Vorliegens einer apikalen Extrusion getroffen. Die „Ja“-Entscheidung wurde getroffen, wenn eine deutlich sichtbare rote Anfärbung im periapikalen Bereich zu beobachten war. Analog dazu wurde die „Nein“-Entscheidung gefällt, wenn im periapikalen Bereich keine rote Anfärbung festzustellen war. Diese Entscheidung wurde zunächst mit bloßem Auge getroffen und anschließend anhand des Lichtmikroskops verifiziert.

2.9.1.2. Rangfolge

Die apikale Extrusion wurde mittels einer Diareihung beurteilt. Hierzu wurden 12 Testpersonen, die nicht mit dem Versuch vertraut waren, Dias mit Präparaten, die die apikale Situation nach der Versuchsdurchführung zeigten, vorgelegt. Zuvor wurde eine kurze Einführung über die Strukturen der Präparate erteilt. Die Testpersonen wurden angewiesen, eine Rangfolge gemäß der Größe der apikalen Anfärbung zu erstellen. In die Reihung wurden nur Präparate eingeschlossen, die objektiv eine apikale Extrusion aufwiesen. Präparate ohne eine apikale Extrusion wurden außen vor gelassen (es verblieben 17 von 45 Präparaten). Die zu verteilenden Platzierungen reichten von Rang 1 (entsprach der kleinsten apikalen Extrusion) bis Rang 17 (entsprach der größten apikalen Extrusion). Die Dias waren äußerlich nicht voneinander zu unterscheiden, lediglich eine zufällig zugeteilte Nummer (von 1 - 17) diente der späteren Identifizierung. Die Ergebnisse der zwölf einzelnen Diareihungen wurden zu einem Ergebnis kombiniert. Dazu wurden für jedes Präparat die Punkte aus Platzierung und Anzahl der jeweiligen Platzierungen addiert. Aus diesen entstandenen Summen wurde die Rangfolge nach der Größe der errechneten Summe erstellt (s. Tab. 4). Die kleinste

Summe entsprach der geringsten Überpressung, während die größte Summe der größten Extrusion entsprach.

2.9.2. Eindringtiefe in das zirkuläre Dentin

Die Beurteilung der absoluten Eindringtiefe der Säurefuchsinanfärbung in das zirkuläre Dentin wurde mittels einer Messung bestimmt. Dazu wurden die Dias der Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm in einem Abstand von 2 mm auf die Leinwand projiziert. Anhand der Messlehre, die in den Vergrößerungen 18fach und 33fach ebenfalls ab fotografiert wurde, konnte so eine Umrechnung erfolgen. Bei 18facher Vergrößerung entsprachen 14 cm auf der Leinwand 1 mm auf der Messskala. Für die 33fache Vergrößerung stellte es sich so dar, dass 25 cm auf der Leinwand 1 mm auf der Skala entsprachen.

Die Messung erfolgte in zwei senkrecht zueinander stehenden Ebenen, jeweils von mesial nach distal und von oral nach vestibulär (s. Abb. 6).

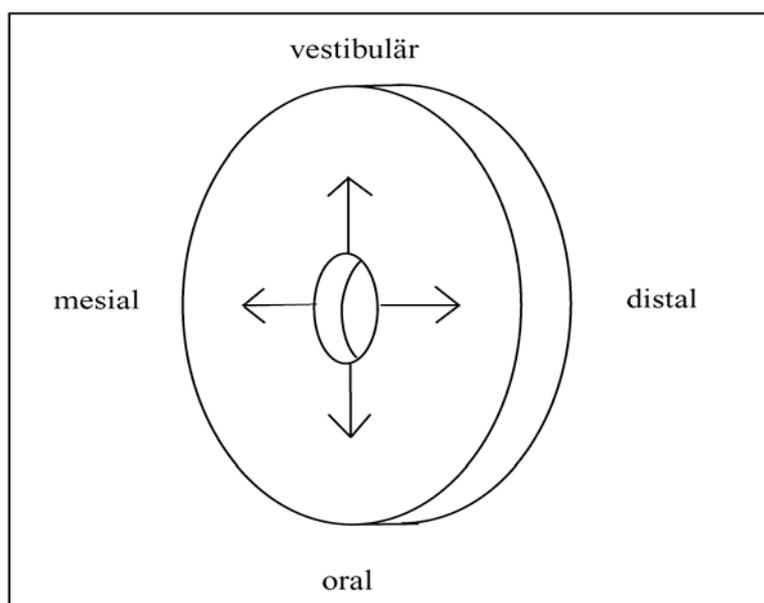


Abb. 6: Darstellung der Messrichtung in mesio-distaler und oro-vestibulärer Richtung auf einer Schnittebene. Die Messrichtungen stehen in einem senkrechten Winkel zueinander.

Eine weitere Beurteilung umfasste die relative Eindringtiefe bezogen auf die Dentinstärke. Die Kriterien waren wie folgt zusammen gestellt: „keine Anfärbung“: kein Eindringen in die Dentinwand, „Wand“: Eindringen an den Rand der

luminalen Dentinwand des Wurzelkanals; „ $\leq 50\%$ “: Eindringtiefe bis zur Hälfte des Wurzelkanaldentins, „ $> 50\%$ “: Eindringtiefe, die die Hälfte des Wurzelkanaldentins übersteigt. Zur Beurteilung wurde die Dentinstärke der Wurzelkanalwand gemessen und die 50%-Grenze festgelegt und markiert.

2.9.3. Erfassung klinischer Aspekte

In der in-vitro-Versuchsdurchführung wurde die apikale Extrusion als klinischer Parameter erfasst und als „Ja/Nein“-Entscheidung dokumentiert. Des Weiteren wurde die Ausdehnung der apikalen Extrusion durch eine Diareihung der Größe nach geordnet, um so eine Aussage bezüglich der Quantität der apikalen Extrusion treffen zu können.

2.9.4. Statistische Auswertung der Ergebnisse

Die statistische Auswertung erfolgte anhand des Computerprogramms SPSS für Windows 10.0 (Fa. SPSS Inc.). Zunächst erfolgte die Erstellung einer Ergebnistabelle in SPSS, mit der verschiedene statistische Tests durchgeführt wurden. Im Anschluss erfolgte mittels des Shapiro Wilk-Tests eine Beurteilung der Normalverteilung der Werte.

Da die Messungen in zwei Messrichtungen erfolgten, wurde anhand des Medians beurteilt, ob eine gemeinsame Verwendung der Messrichtungen erfolgen konnte oder die Ergebnisse für die Messrichtungen mesio-distal und oro-vestibulär getrennt erfolgen musste. Der Median entspricht dem 50. Perzentil und teilt die Gesamtheit der Werte so, dass die Hälfte der beobachteten Werte einer Variablen jeweils kleiner oder gleich bzw. größer oder gleich diesem Wert ist. Der Mann-Whitney-U-Test ist jedoch aussagekräftiger als der Mediantest, da er Fallränge zugrunde legt. Er ist ein nichtparametrischer Test, der beurteilt, ob zwei unabhängige Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen.

Zur Beurteilung der Ergebnisse der zirkulären Eindringtiefe wurde der Wilcoxon-Test eingesetzt. Der Wilcoxon-Test ist ein nichtparametrischer Test (für nicht normalverteilte Werte) zur Überprüfung der Hypothese, dass zwei verbundene Variablen dieselbe Verteilung haben. Dabei werden keine Annahmen über die

Form der Verteilung der beiden Variablen gemacht. Die Statistik beruht auf der Rangordnung der Absolutwerte der Differenzen zwischen beiden Variablen.

Zur Überprüfung der statistischen Relevanz der „Ja/Nein“-Entscheidung und der „relativen Eindringtiefe bezogen auf die Dentinstärke“ wurden Kreuztabellen angelegt und anhand des CHI-Quadrat-Tests analysiert. Der CHI-Quadrat-Test kontrolliert die Hypothese, dass Zeilen- und Spaltenvariablen unabhängig sind, ohne dass dabei die Stärke oder die Richtung der Beziehung angegeben wird (Statistiken s. 7.3.2. Statistische Tests).

3. ERGEBNISSE

3.1. Makroskopische Ergebnisse

3.1.1. Apikale Extrusion

Wie auch durch andere Autoren in ihren Studien beschrieben, wurde in dieser in-vitro Studie die apikale Extrusion als markantes Merkmal der Wurzelkanalspülung dokumentiert. Durch die verwendete Gelatineeinbettung im apikalen Bereich wurde eine dem periapikalen Gewebe ähnliche Situation geschaffen.

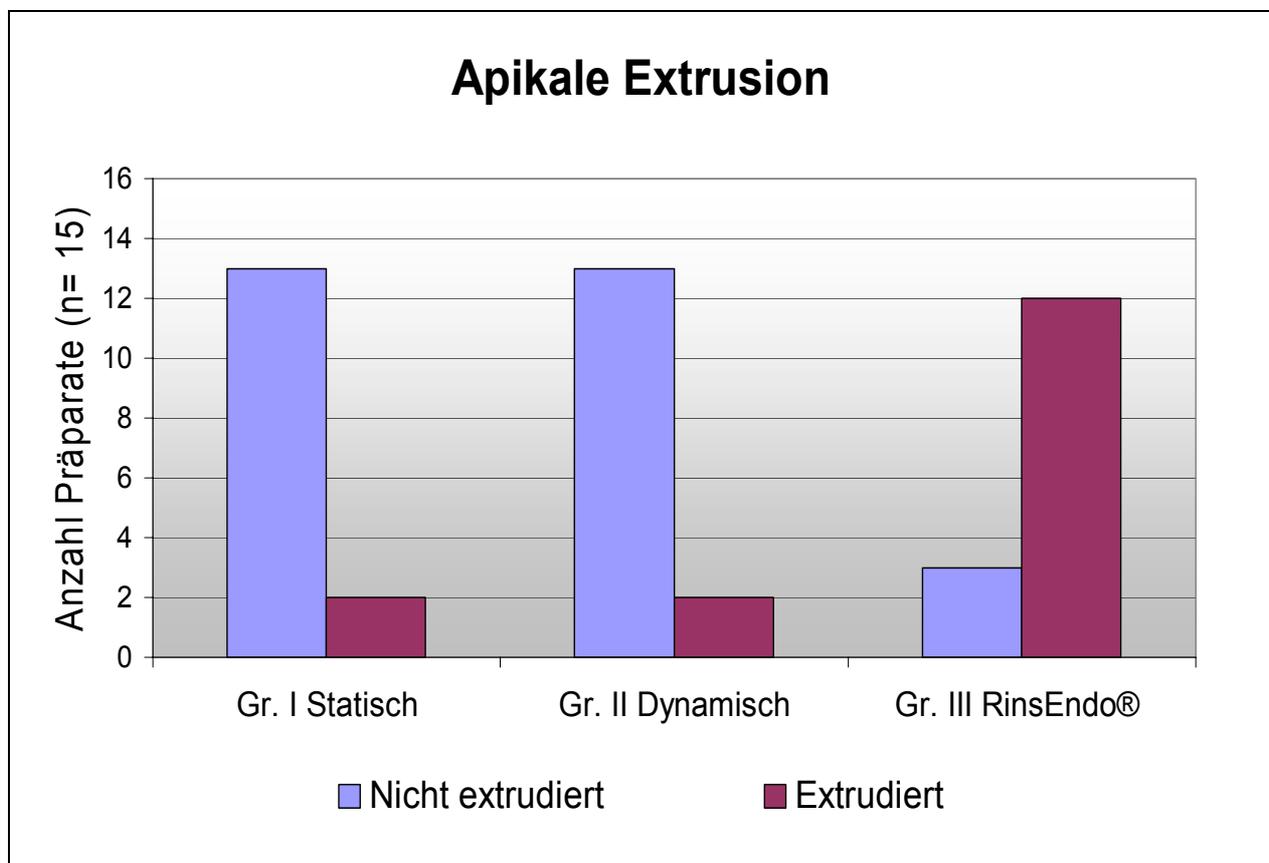


Abb. 7: Darstellung der Häufigkeit der apikalen Extrusion der Spüllösung im Gruppenvergleich. Zu beachten ist der offensichtliche Unterschied der Extrusion in den Vergleichsgruppen (Gruppe I= *Statische Lösungsapplikation* und Gruppe II= *Dynamische Spülung*) und der Versuchsgruppe (Gruppe III= *RinsEndo®*). Die Gruppe III zeigt die größte Anzahl apikal extrudierter Präparate.

Die Beurteilung der apikalen Extrusion der eingefärbten Spüllösung erfolgte auf zwei unterschiedlichen Wegen. Zunächst wurde eine „Ja/Nein“-Entscheidung be-

zöglich des Vorhandenseins einer apikalen Extrusion gefällt. Als „Ja“ wurde jegliche mit bloßem Auge sichtbare Anfärbung der Gelatine in der periapikalen Region gewertet. Dementsprechend wurde eine „Nein“-Entscheidung gefällt, wenn keine sichtbare Anfärbung der Gelatine festzustellen war.

In *Gruppe I (Statische Lösungsapplikation)* wiesen nur zwei Präparate (13,3%; n=15) eine apikale Extrusion auf. Ebenso verhielt sich die Situation (13,3%; n=15) in *Gruppe II (Dynamische Spülung)*. *Gruppe III (RinsEndo®)* dagegen zeigte eine apikale Extrusion in 12 Fällen (80%; n=15) (s. Abb. 7). Diese Ergebnisse wurden auf statistische Signifikanz untersucht und erwiesen sich als statistisch hochsignifikant (Signifikanzniveau: $p=0,05$; CHI-Quadrat-Test nach Pearson; SPSS 10.0 für Windows, Fa SPSS Inc.; s. 7.3.2.3. Statistik für die apikale Extrusion, Tab. 16 und 17).

Die apikale Region wurde nach dem Ausbetten der Zähne aus den Versuchsbehältnissen weiter auf eine mit dem bloßen Auge nicht sichtbare Anfärbung überprüft. Das Foramen apikale wurde unter dem Stereomikroskop in 18facher Vergrößerung auf Anfärbung untersucht und ebenfalls mit einer „Ja/Nein“-Entscheidung dokumentiert. Die „Ja“-Entscheidung wurde getroffen, wenn eine rote Verfärbung im Bereich des Foramen apikale erkennbar war, analog dazu die „Nein“-Entscheidung, wenn eine Anfärbung nicht erkennbar war.

Die Ergebnisse der ersten makroskopischen Auswertung wurden durch die mikroskopische Auswertung vertieft. In *Gruppe I* blieb die Situation unverändert, während in *Gruppe II* eine Veränderung zur Anfärbung hin stattfand. Statt vormals 12 nicht überpressten Präparaten waren nach mikroskopischer Betrachtung neun Präparate nicht angefärbt (60%; n=15). In *Gruppe III* erfolgte ebenfalls eine Verschiebung in Richtung der Anfärbung. Hier waren 13 Fälle (86,67%; n=15) angefärbt, also ein Präparat mehr als bei der ersten Untersuchung (s. Abb. 8). Eine statistische Auswertung der oben genannten Werte mittels des CHI-Quadrat-Tests nach Pearson ergab eine statistische Signifikanz zwischen den *Gruppen I, II und III* bezüglich des Auftretens einer apikalen Anfärbung (Signifikanzniveau: $p=0,05$; SPSS für Windows, Fa. SPSS Inc.; s. 7.3.2.4. Statistik für die apikale Anfärbung, Tab. 18 und 19).

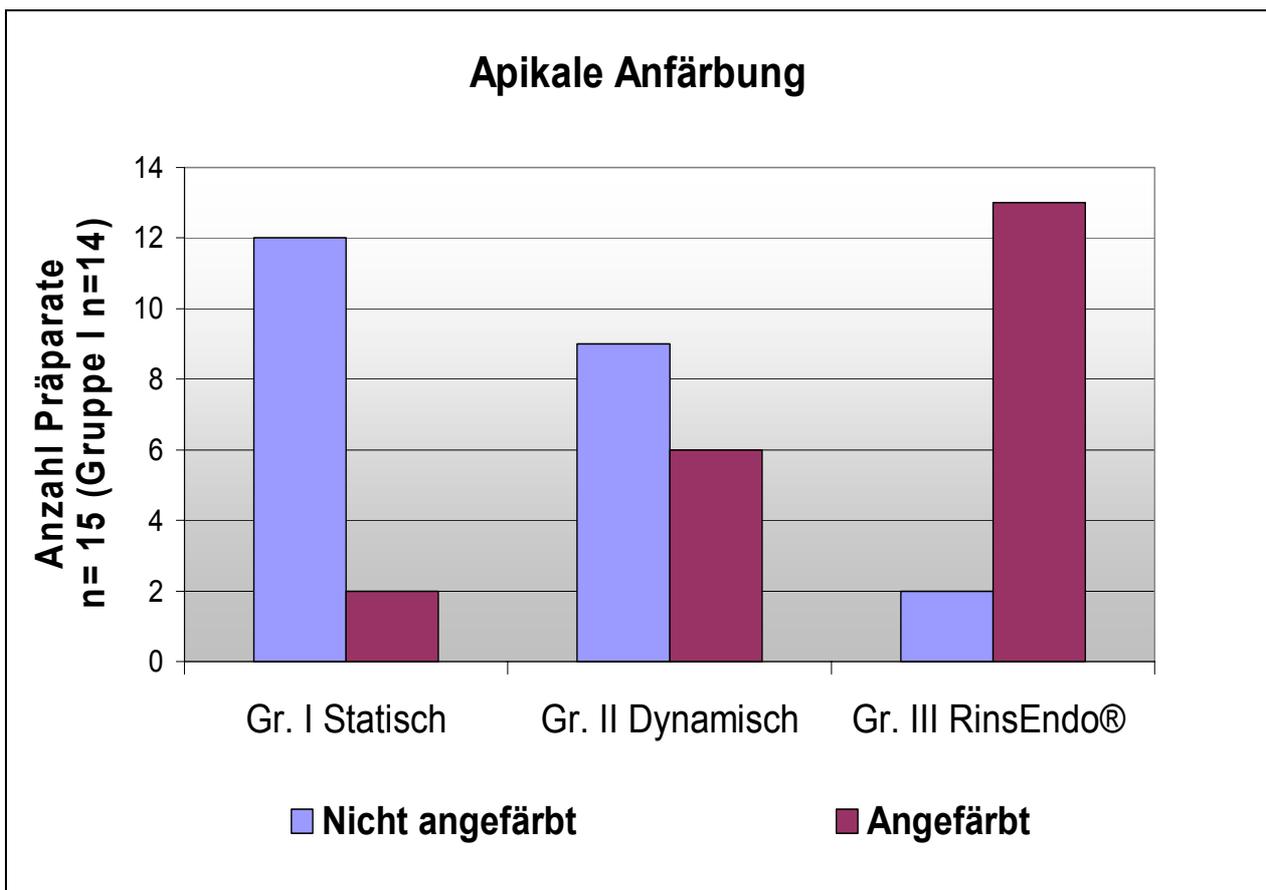


Abb. 8: Anzahl der Präparate mit angefärbtem apikalen Foramina nach mikroskopischer Begutachtung. Auch hier ist analog zu den Untersuchungen der apikalen Extrusion eine große Anzahl angefärbter Apices in *Gruppe III* festzustellen.

Während der mikroskopischen Aufbereitung ging ein Präparat der *Gruppe I* verloren, daher ist dort $n=14$.

3.1.2. Rangfolge

Um eine weitere Spezifizierung der Ergebnisse der apikalen Extrusion zu erhalten, wurde eine Diareihung mit dem Ziel, eine Rangordnung der Größe der apikalen Extrusion festzulegen, durchgeführt. Die Reihung der Präparate erfolgte durch nicht am Versuch beteiligte Personen (s. 2.9.1.2. Rangfolge) von der kleinsten apikalen Anfärbung zur größten apikalen Anfärbung (s. Tab. 4 und Abb. 9). In die Diareihung wurden nur Präparate integriert, die objektiv eine apikale Extrusion aufwiesen. Alle anderen Präparate wurden außen vor gelassen, so dass von 45 Präparaten 17 in die Diareihung eingeschlossen wurden.

Betrachtet man die in Tab. 4 gezeigten Ergebnisse, so findet man ein gehäuftes Auftreten der *Gruppe III* in den höheren Rängen, d.h. in den Bereichen, in denen

sich eine größere apikale Extrusion ereignete. Somit kann eine bedingte Aussage bezüglich der quantitativen Ausmaße der Extrusion getroffen werden. Neben der Tatsache, dass die Extrusion am häufigsten in der *Gruppe III* stattfindet, ist also auch die quantitativ größte apikale Extrusion in dieser Gruppe festzuhalten.

	Rang	Summe der Rangverteilungen	Präparat	Gruppe
Kleinste apikale Extrusion  Größte apikale Extrusion	1	13	32	<i>II</i>
	2	23	33	<i>III</i>
	3	53	47	<i>I</i>
	4	70	42	<i>II</i>
	5	93	23	<i>I</i>
	6	113	4	<i>II</i>
	7	125	40	<i>III</i>
	8	150	24	<i>III</i>
	9	152	59	<i>III</i>
	10	179	81	<i>III</i>
	11	210	80	<i>III</i>
	12	235	54	<i>III</i>
	13	274	10	<i>III</i>
	14	294	41	<i>III</i>
	15	312	63	<i>III</i>
	16	324	19	<i>III</i>
	17	336	34	<i>III</i>

Tab. 4: Rangverteilung der Größe der apikalen Extrusion nach gemittelter Diareihung (s. 3.1.2. Rangfolge). Die Rangverteilung ergibt sich aus der Addition der Produkte aus der Anzahl des Auftretens des Ranges und der Platzierung desselben Ranges für jedes einzelne Präparat. Rang 1= kleinste apikale Extrusion; Rang 17 = größte apikale Extrusion. Die Tabelle zeigt ausschließlich Präparate, die eine Extrusion aufwiesen (17 von insgesamt 45 Präparaten).

Gruppe I = Statische Lösungsapplikation; Gruppe II = manuelle dynamische Spülung; Gruppe III = RinsEndo®

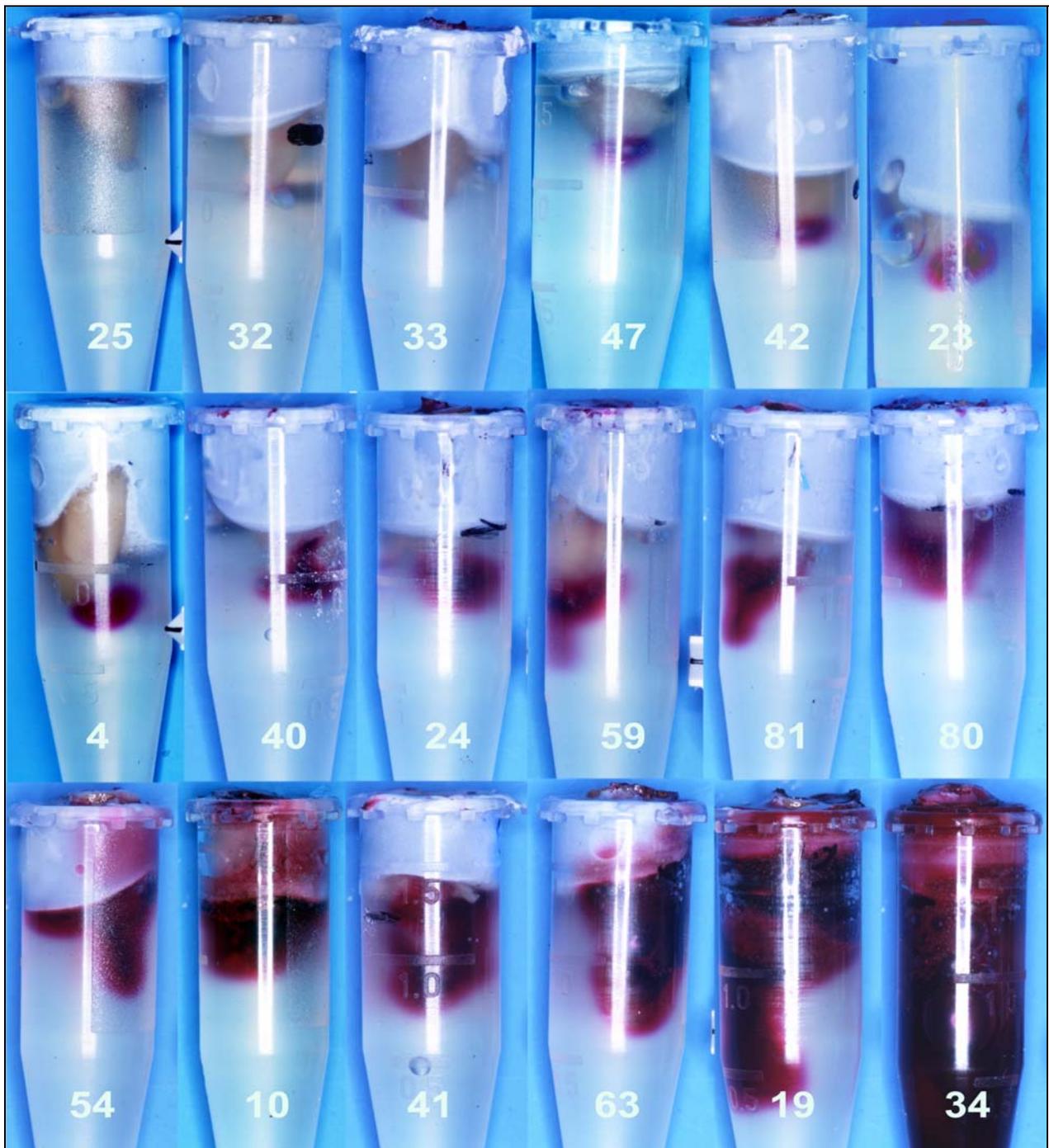


Abb. 9: Darstellung der Versuchspräparate entsprechend den Ergebnissen der Diareihung nach der Rangfolge der Größe der apikalen Extrusion (s. Tab. 4). Die Diareihung wurde nach der abschließenden Spülung mit NaOCl und dem Markerfarbstoff Säurefuchsin von 12 nicht mit dem Versuch vertrauten Personen durchgeführt. Die Zunahme der Größe der apikalen Extrusion erfolgte von links nach rechts und von oben nach unten.

Präparat 25 diente den Versuchspersonen als Referenz (Beispiel für keine vorhandene apikale Extrusion).

3.2. Mikroskopische Ergebnisse

3.2.1. Eindringtiefe auf verschiedenen Schnittebenen

Die Beurteilung der Ergebnisse fand auf vier verschiedenen Schnittebenen (2, 4, 6 und 8 mm vom anatomischen Apex entfernt) statt. Es wurde jeweils die Penetrationstiefe der gefärbten Spüllösung in zirkulärer Richtung gemessen. Die Messung erfolgte in zwei verschiedenen Richtungen mesio-distal und oro-vestibulär (s. Abb. 10).

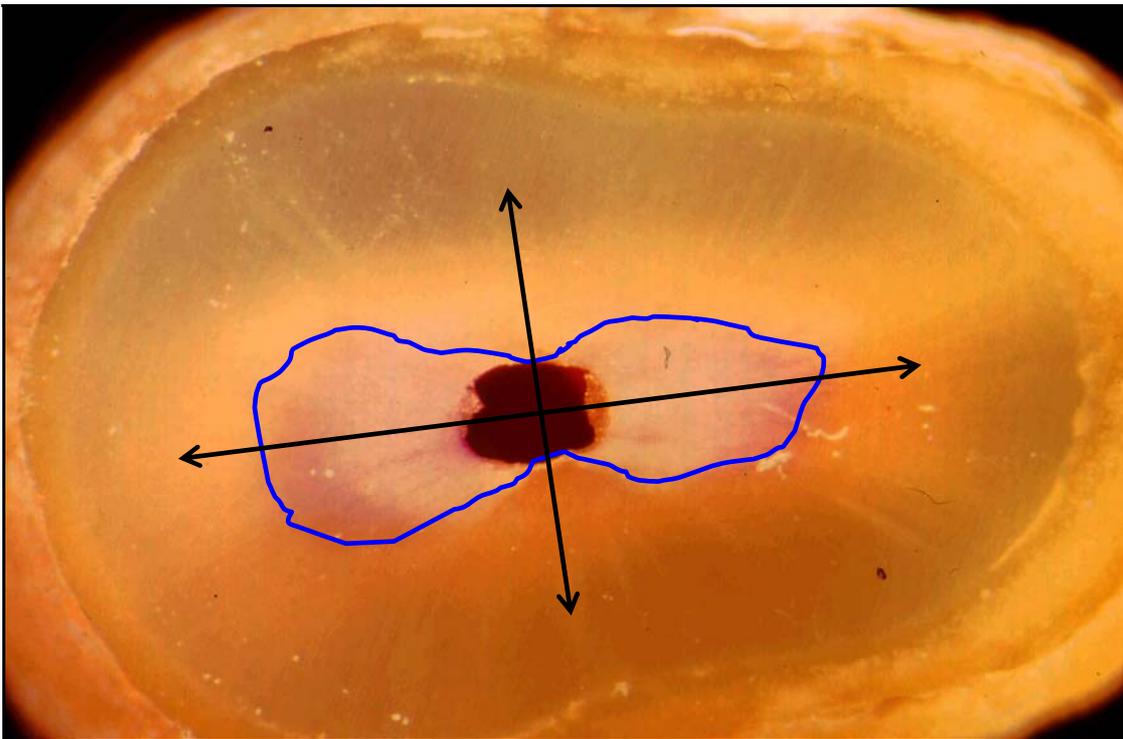


Abb. 10: Darstellung der Eindringtiefe der angefärbten Spüllösung in das zirkuläre Dentin auf einem mikroskopischen Präparat (Präparat aus *Gruppe III*). Die Markierung demonstriert die Grenze des angefärbten Dentins. Das Kreuz gibt die Messrichtungen in mesio-distaler (von links nach rechts) und oro-vestibulärer Richtung (von oben nach unten) an, die senkrecht aufeinander stehen. Hier ist auffällig, dass sich die beiden Messrichtungen deutlich unterscheiden, was sich statistisch jedoch nicht für Gesamtheit der Werte belegen ließ.

In der explorativen Datenanalyse (SPSS für Windows 10.0, Fa. SPSS Inc.; s. 7.3.2.1. Explorative Datenanalyse, Tab. 13 und 14) stellte sich der Median der Ergebnisse beider Messrichtungen identisch dar (s. Abb. 11). Testet man die beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test, so kann man feststellen, dass beide aus der gleichen Grundgesamtheit stammen, da keine signifikanten Unter-

schiede der beiden Orientierungen festzustellen waren ($p=0,118$; SPSS für Windows 10.0, Fa. SPSS Inc.; s. Tab. 15). Damit kann man bei der Auswertung der Ergebnisse die Unterscheidung mesio-distal und oro-vestibulär außen vor lassen und die Werte als eine Gesamtheit betrachten. Der Mittelwert wurde hier nicht verwendet, da eine große Anzahl von Ausreißern vorlag und somit keine aussagekräftigen Ergebnisse erzielt werden konnten.

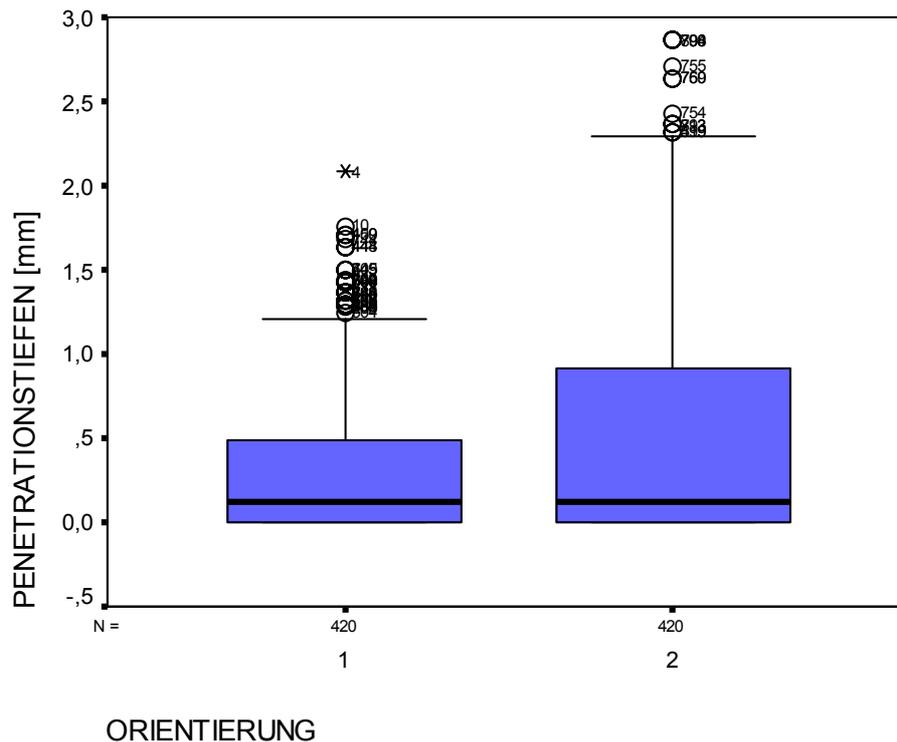


Abb. 11: Darstellung der Penetrationstiefen aufgeschlüsselt in mesio-distaler (1) und oro-vestibulärer (2) Messrichtung. Der Median liegt bei beiden Messrichtungen auf einer Ebene. Der Mann-Whitney-U-Test bestätigte zusätzlich, dass keine signifikanten Unterschiede bei beiden Messrichtungen vorlagen und somit eine gemeinsame Verwendung der Messwerte möglich wurde.

Innerhalb der *Gruppe 1* zeigte eine statistische Auswertung der Ergebnisse (s. Tab. 5), dass sich die Penetrationstiefen zwischen den Schnittebenen signifikant voneinander unterscheiden (s. Abb. 12). Eine Ausnahme machten die Ebenen 2 und 4 mm, dort ist keine Signifikanz festzustellen (Signifikanzniveau: $p=0,05$; Wilcoxon-Test; SPSS für Windows 10.0, Fa. SPSS Inc., s. 7.3.2.5., Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen; Tab. 20).

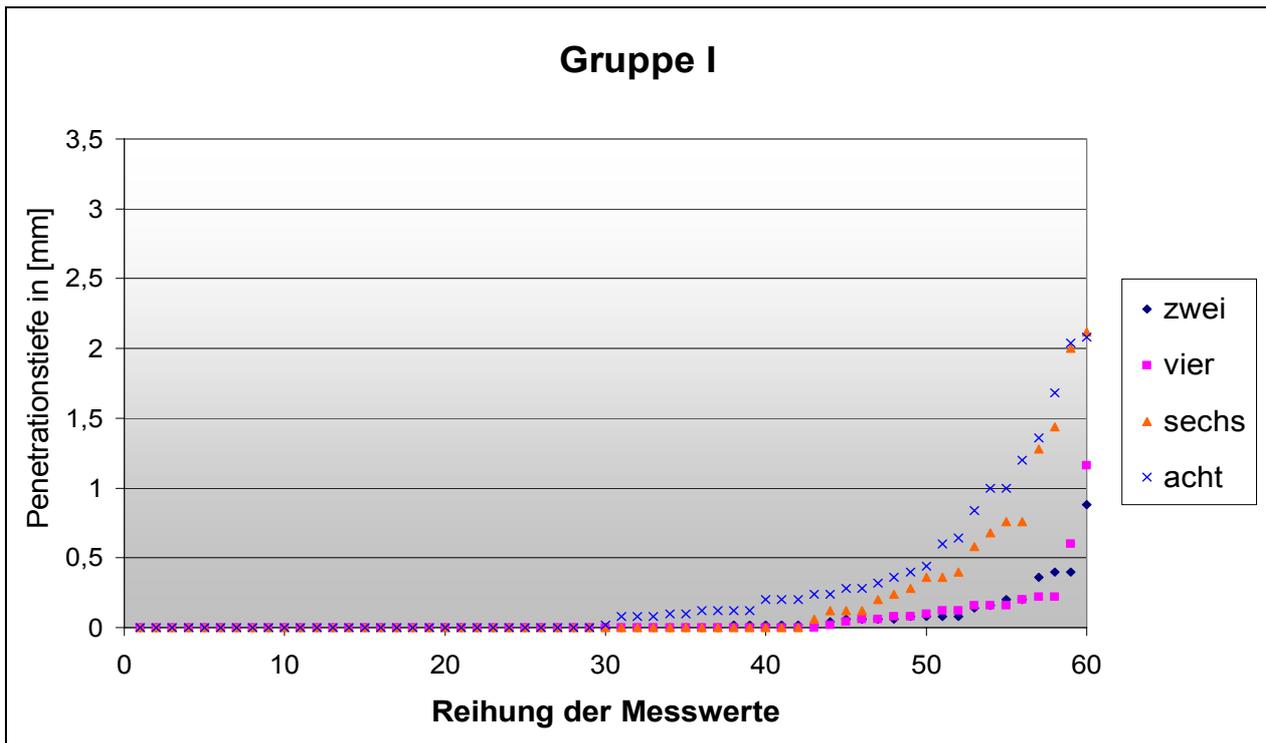


Abb. 12: Vergleichende Darstellung der Messwerte ($n=60$) in aufsteigender Reihung in Abhängigkeit der jeweiligen Penetrationstiefen auf den Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm innerhalb der *Gruppe I (Statische Lösungsapplikation)*. Es ist erkennbar, dass die Penetrationstiefen auf den Ebenen 6 und 8 mm größer sind als bei 2 und 4 mm.

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III
4 / 2mm	$p=0,7710$	$p=0,0001$	$p=0,0001$
6 / 2mm	$p=0,0001$	$p=0,0001$	$p=0,0001$
8 / 2mm	$p=0,0001$	$p=0,0001$	$p=0,0001$
6 / 4mm	$p=0,0001$	$p=0,0001$	$p=0,0001$
8 / 4mm	$p=0,0001$	$p=0,0001$	$p=0,0001$
8 / 6mm	$p=0,0001$	$p=0,0001$	$p=0,0001$

Tab. 5: Statistische Ergebnisse beim Vergleich der Penetrationstiefen auf den unterschiedlichen Schnittebenen innerhalb der Gruppen. Es wurde der Wilcoxon-Test für nichtparametrische Datenverteilung verwendet (Signifikanzlevel: $p=0,05$; s. Abb. 12, 13 und 14). Nur in *Gruppe I (Statische Lösungsapplikation)* sind die Ebenen 2 und 4 mm nicht signifikant voneinander zu unterscheiden. (Zusammenfassung der Tabellen 20, 21 und 22, s. 7.3.2.5. Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen)

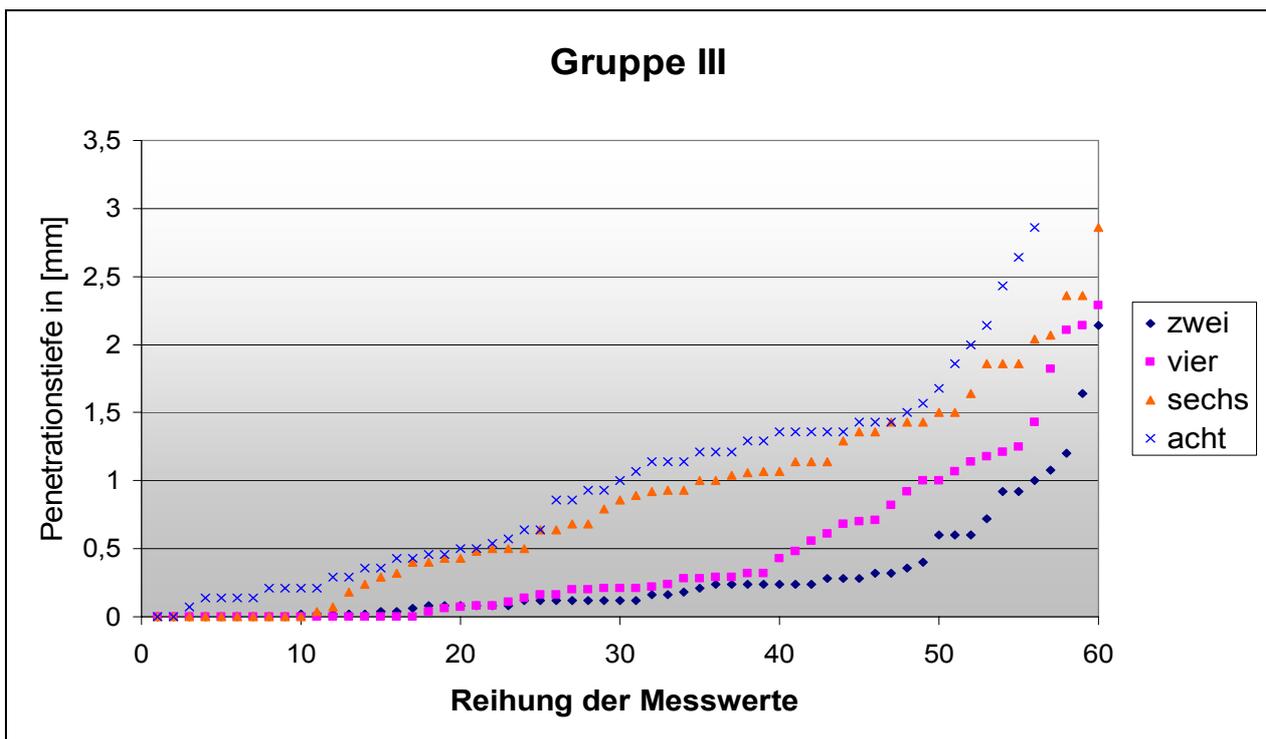
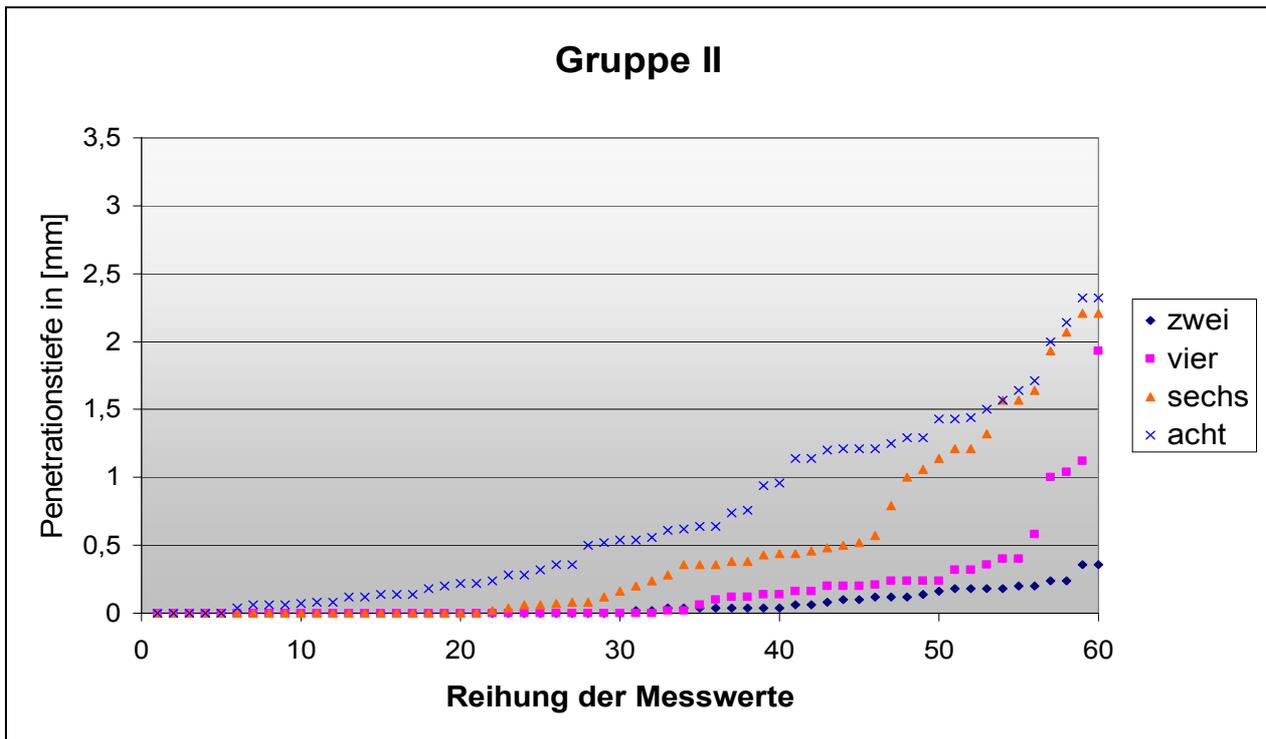


Abb. 13 (oben) & 14 (unten): Die Diagramme zeigen die Messwerte in aufsteigender Reihung in Abhängigkeit der jeweiligen Penetrationstiefen auf den Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm vom Apex innerhalb der *Gruppen II und III* ($n=60$; Gr. III Schnitt 8 mm $n=56$). In beiden Diagrammen sind Unterschiede in der Größe der Penetrationstiefe zu erkennen. Vor allem die Schnittebenen 6 und 8 mm heben sich von den anderen beiden Schnittebenen ab. Im Vergleich beider Diagramme zeigt die *Gruppe III* größere Penetrationstiefen.

Sowohl in *Gruppe II* (s. Abb. 13) wie auch in *Gruppe III* (s. Abb. 14) zeigen sich im Vergleich auf allen Schnittebenen innerhalb jeder Gruppe statistisch signifikante Unterschiede (Signifikanzniveau: $p=0,05$; Wilcoxon-Test; SPSS für Windows 10.0, Fa. SPSS Inc.; s. 7.3.2.5. Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen, Tab. 21 und 22).

Vergleicht man die Schnittebenen innerhalb der Gruppen miteinander, so lässt sich dokumentieren, dass die Penetrationstiefe auf der Schnittebene 8 mm in allen Gruppen am größten war und sukzessive von 6 über 4 nach 2 mm abnimmt (s. Abb. 12, 13 und 14). Diese Unterschiede sind statistisch signifikant (s. Tab. 5). Aus diesen Ergebnissen lässt sich herleiten, dass in „koronaler“ gelegenen Bereichen eine größere Penetrationstiefe nachzuweisen ist.

Betrachtet man die Eindringtiefe auf den verschiedenen Schnittebenen, so kann man zwischen den Vergleichsgruppen (*Gruppe I und Gruppe II*) und der Versuchsgruppe (*Gruppe III*) einen Unterschied erkennen. Die *Gruppe III* erreicht eine erhöhte Penetrationstiefe auf allen Schnittebenen gegenüber den *Gruppen I und II* (s. Abb. 15 - 18). Zudem ist festzuhalten, dass auch die *Gruppe II* eine höhere Penetrationstiefe zeigt als die *Gruppe I*. Diese unterschiedlich großen Penetrationen sind statistisch signifikant (s. Tab. 6, bzw. 7.3.2.6. Statistik für den Gruppenvergleich der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen, Tab. 23 - 26).

Auffallend ist, dass die Werte in den höheren Schnittebenen 6 und 8 mm deutlich größer sind als auf den Ebenen 2 und 4 mm.

	Gr. I - II	Gr. I – III	Gr. II – III
2 mm	P=0,0110	p=0,0001	p=0,0001
4 mm	P=0,0060	p=0,0001	p=0,0001
6 mm	P=0,0080	p=0,0001	p=0,0001
8 mm	P=0,0001	p=0,0001	p=0,0040

Tab. 6: Darstellung der statistischen Ergebnisse im direkten Gruppenvergleich auf den Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm. Es wurde der Wilcoxon-Test durchgeführt (Zusammenfassung der Tab. 23 – 26 unter 7.3.2.6. Statistik für den Gruppenvergleich der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen). Alle Gruppen sind gegeneinander statistisch hochsignifikant.

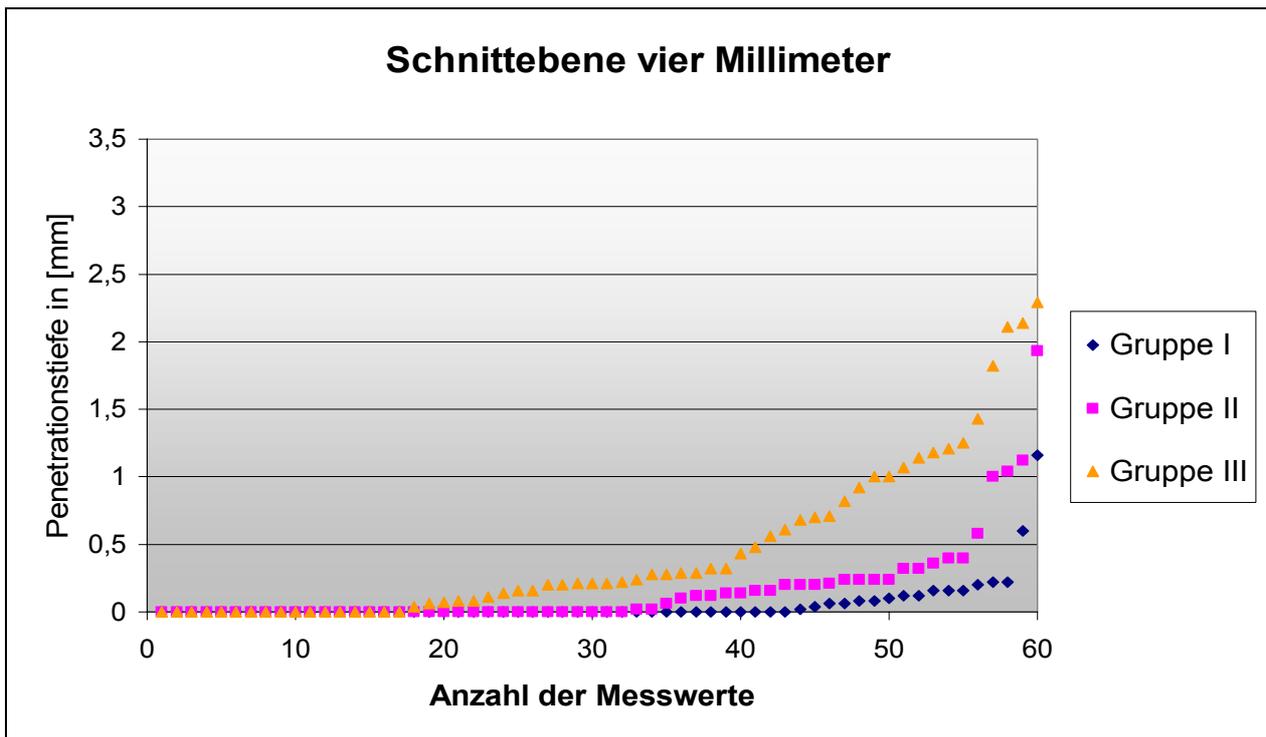
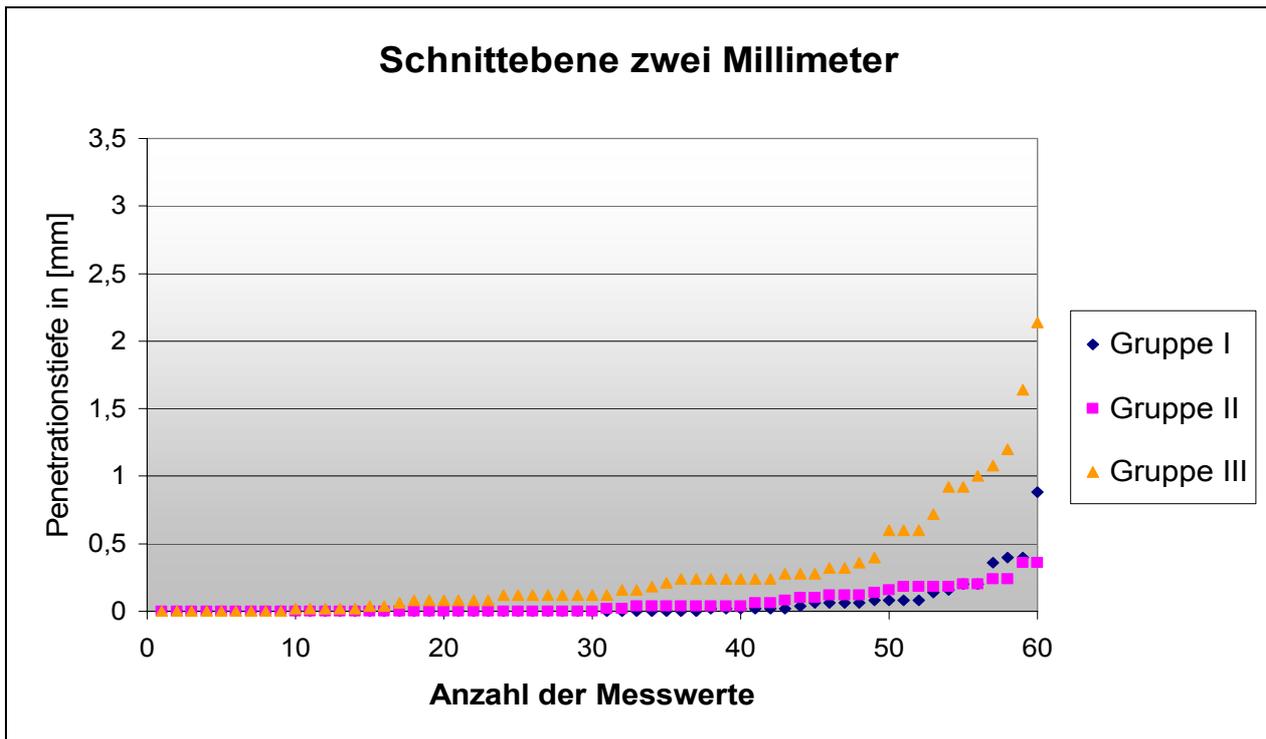


Abb. 15 (oben) und 16 (unten): Direkter Gruppenvergleich der zirkulären Penetrationstiefen auf den Schnittebenen 2 (oben) und 4 mm (unten). *Gruppe I* (statische Lösungsapplikation) und *Gruppe II* (dynamische Spülung) zeigen bei 2 mm einen nahezu gleichen Verlauf, während die *Gruppe III* (RinsEndo®) größere Eindringtiefen aufzeigt. Auf der Schnittebene 4 mm weist die *Gruppe III* erneut höhere Penetrationstiefen auf. Die *Gruppe II* bleibt deutlich darunter, ebenso die *Gruppe I*, die hier aber auch geringere Penetrationen als die *Gruppe II* zeigt.

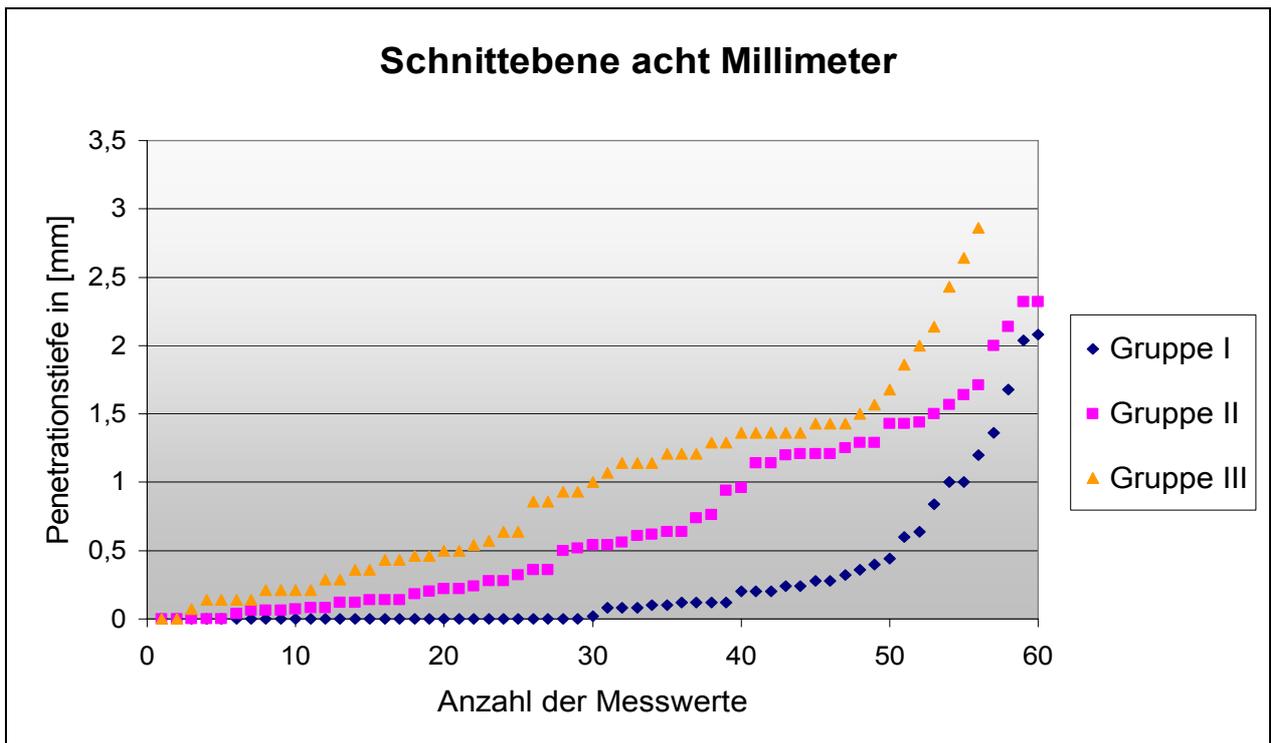
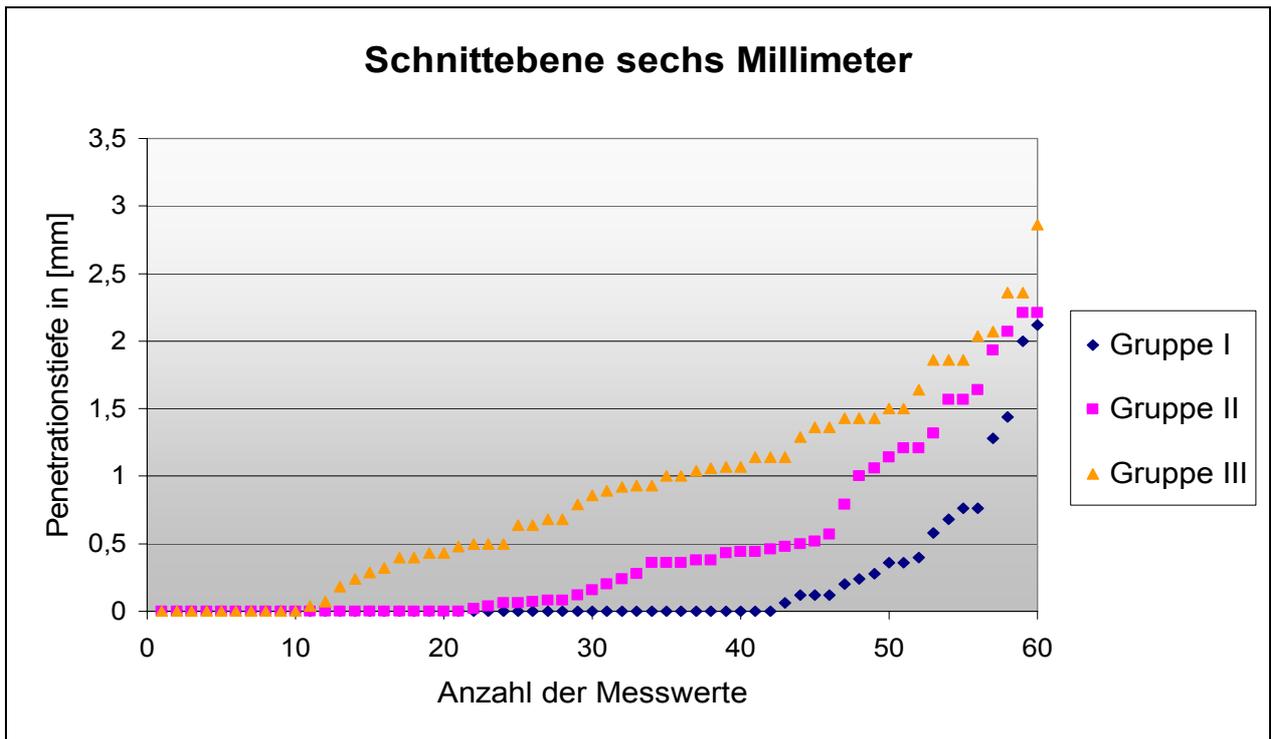


Abb. 17 (oben) & 18 (unten): Direkter Vergleich der zirkulären Eindringtiefen zwischen den *Gruppen I, II und III* auf den Schnittebenen 6 (oben) und 8 mm (unten). Sowohl bei 6 mm, als auch bei 8 mm zeigt die *Gruppe III* deutlich größere Eindringtiefen als die *Gruppen I und II*.

Die Penetrationstiefen in den Gruppen auf den unterschiedlichen Schnittebenen wurden anhand des Shapiro Wilk-Testes auf Normalverteilung überprüft, und die Hypothese für eine Normalverteilung wurde für alle Gruppen verworfen. Daher wurde der nichtparametrische Wilcoxon-Test eingesetzt.

Vergleicht man die *Gruppen I, II und III* unabhängig von den verschiedenen Schnittebenen miteinander, dann findet man ebenfalls hochsignifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Signifikanzniveau: $p=0,05$; Wilcoxon-Test; SPSS für Windows 10.0, Fa. SPSS Inc.; s. 7.3.2.8. Gruppenvergleich aller Werte auf allen Ebenen, Tab. 28). Dabei unterscheiden sich alle Gruppen voneinander.

Betrachtet man eine Eindringtiefe von 0,25 mm als minimale Anforderung an die Penetrationstiefe, kann man folgende Schlüsse ziehen:

Auffallend ist, dass in den Schnittebenen 2 und 4 mm mehr als die Hälfte aller Präparate eine Eindringtiefe kleiner als 0,25 mm aufweisen. In *Gruppe I* sind es in der Schnittebene 2 mm 56 (93,3%; $n=60$) ungenügend große Penetrationstiefen und in der Ebene 4 mm 58 (96,7%; $n=60$) ungenügend große Penetrationstiefen. In *Gruppe II* sind es bei 2 mm 58 (96,7%; $n=60$) und bei 4 mm 50 Werte (83,3%; $n=60$), deren Penetrationstiefe kleiner als 0,25 mm ist. Bei der *Gruppe III* sind es 42 Werte (70%; $n=60$) in der Ebene 2 mm und 33 Werte (55%; $n=60$) bei 4 mm, die die erforderliche Vorgabe nicht erreichen. In den Schnittebenen 6 und 8 mm fallen in der *Gruppe III* lediglich 14 (23,3%; $n=60$; Schnitthöhe: 6 mm) und elf (19,6%; $n=56$; Schnitthöhe: 8 mm) Werte unter eine Grenze von 0,25 mm. Die *Gruppe I* liegt auf einer Höhe von 6 mm mit 48 Werten (80%; $n=60$) kleiner als 0,25 mm und auf einer Höhe von 8 mm noch mit 44 Werten (73,3%; $n=60$).

Legt man 1,2 mm als Maßstab für die minimale Penetrationstiefe an, so ergeben sich folgende Werte:

Insgesamt betrachtet, ist die Eindringtiefe, die über 1,2 mm hinausreicht, in deutlich geringerer Anzahl zu erzielen. In *Gruppe I* erreichen nur neun Werte eine entsprechende Tiefe (3,7%; $n=240$), in *Gruppe II* sind es 29 Werte (12,8%; $n=240$). Für die *Gruppe III* stellt es sich so dar, dass 48 Werte (20,5%; $n=236$) eine entsprechende Tiefe erreichen.

Auf die einzelnen Schnittebenen aufgefächert, stellt sich die Situation folgendermaßen dar: bei 2 mm erreichen in den *Gruppen I und II* keine Werte eine Eindringtiefe bis 1,2 mm. In *Gruppe III* erlangen zwei Werte (3,3%; n=60) eine Eindringtiefe von 1,2 mm und mehr. In der Ebene 4 mm liegt in *Gruppe I* kein Wert, in *Gruppe II* ein Wert (1,7%; n=60) und in *Gruppe III* sieben Werte (11,7%; n=60) auf oder über dem Wert 1,2 mm. Der Schnitt 6 mm weist in *Gruppe I* vier Werte (6,7%; n=60), in *Gruppe II* zehn Werte (16,7%; n=60) und in *Gruppe III* 17 Werte (28,3%; n=60) mit Ergebnissen größer oder gleich 1,2 mm auf. Bei 8 mm verhält sich die Situation wie folgt: *Gruppe I* weist bei fünf (8,3%; n=60), *Gruppe II* bei 18 (30%; n=60) und *Gruppe III* bei 22 Werten (39,3%; n=56) eine ausreichende Eindringtiefe auf (s. Abb. 19).

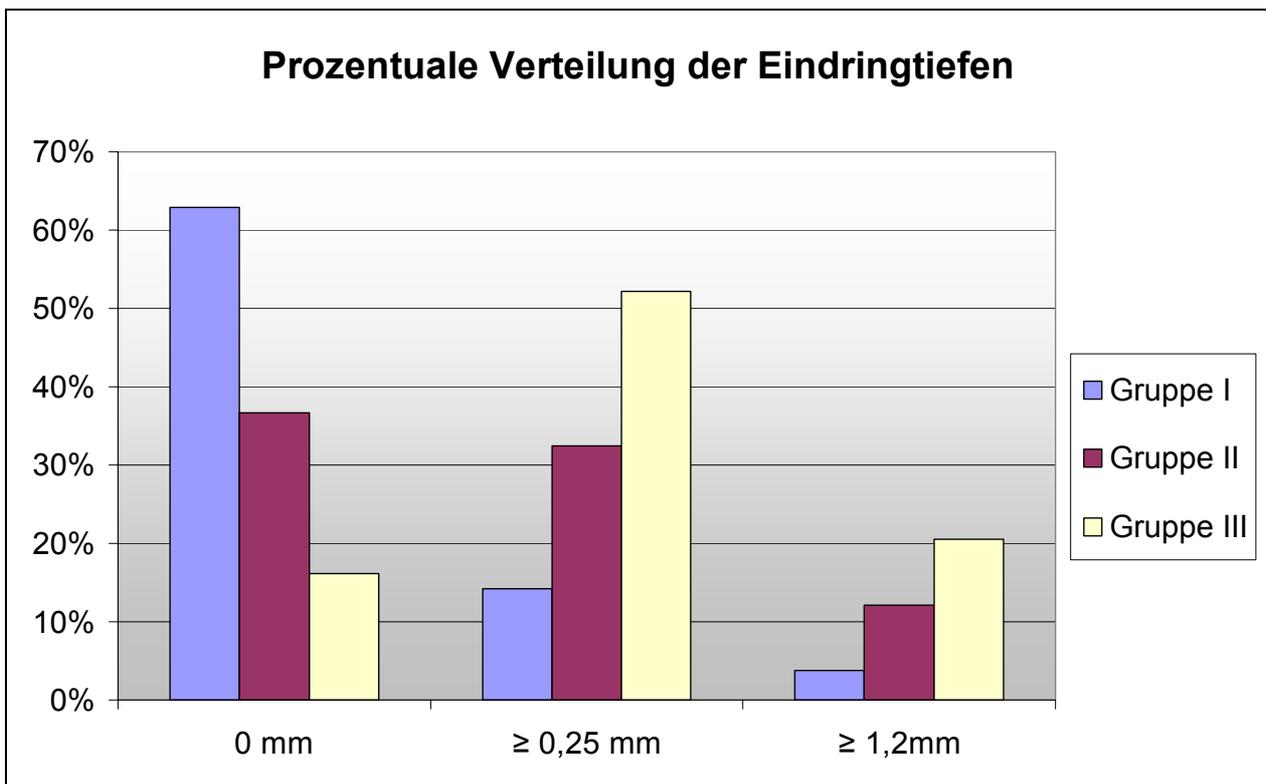


Abb. 19: Prozentuale Verteilung der Eindringtiefen in den *Gruppen I, II und III*. Die Eindringtiefe ist aufgeschlüsselt in keine Eindringtiefe („0 mm“), Eindringtiefe „≥ 0,25 mm“ und Eindringtiefe „≥ 1,2 mm“. Die *Gruppe III* dominierte in den Bereichen der in der Literatur geforderten Eindringtiefen „≥ 0,25 mm“ und „≥ 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 (RinsEndo®)*, wie nach den vorher gezeigten Ergebnissen zu erwarten war, eine erhöhte Penetrationstiefe aufzeigt (s. Abb. 20).

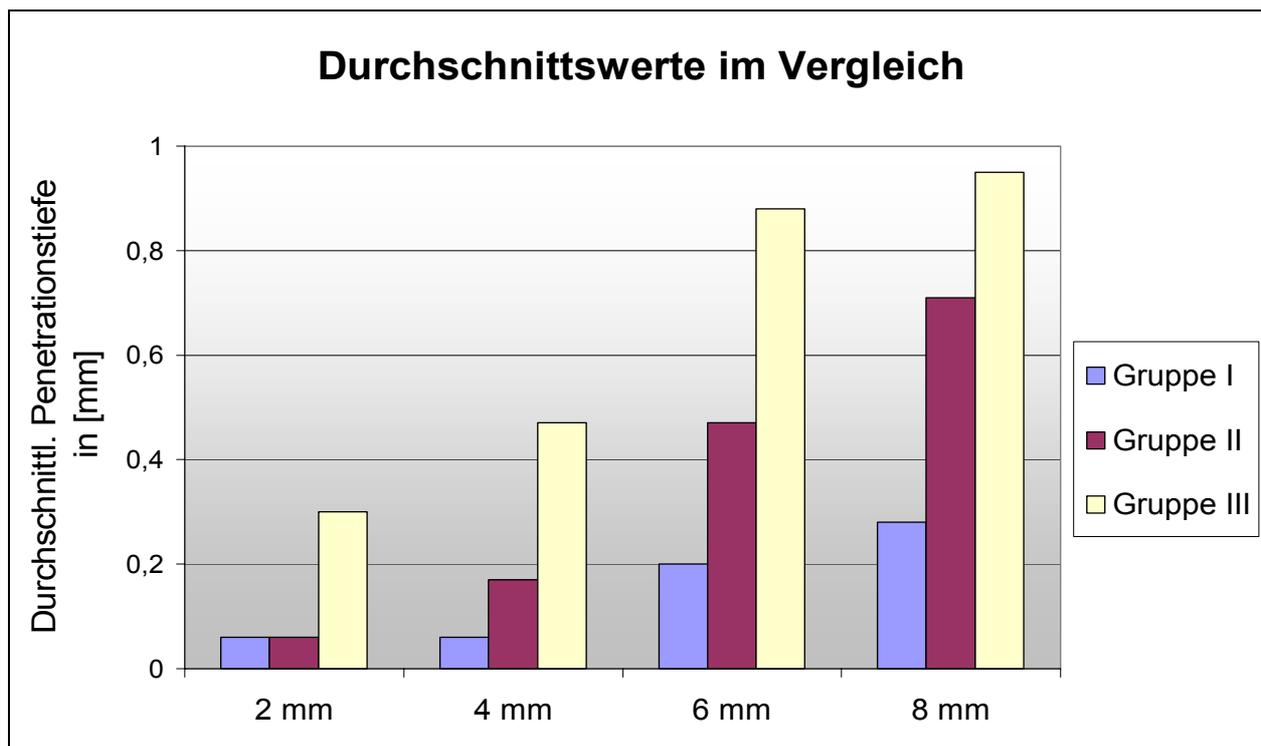


Abb. 20: Durchschnittliche Penetrationstiefe im direkten Gruppenvergleich auf den Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm. Es ist deutlich erkennbar, dass die *Gruppe III* die größte durchschnittliche Eindringtiefe aufwies. Aber auch die *Gruppe II* setzt sich von den durchschnittlichen Eindringtiefen der *Gruppe I* ab.

	Gr. II - I	Gr. III - II	Gr. III - I
Asymptomatische Signifikanz	p= 0,109	p=0,144	p=0,144

Tab. 7: Signifikanzen nach dem Wilcoxon-Test für den direkten Vergleich der Gruppen I, II und III. Das Signifikanzniveau liegt bei p=0,05.

Die statistische Überprüfung der Durchschnittswerte (s. Tab. 8) ergab jedoch keine signifikanten Ergebnisse (Shapiro Wilk-Test: nicht normalverteilt; p=0,05; Wilcoxon-Test; SPSS für Windows 10.0, Fa. SPSS Inc., s. 7.3.2.7. Statistik für die durchschnittliche Eindringtiefe, Tab. 27).

3.2.3. Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke

Die Beurteilung des angefärbten Dentins wurde in Relation zur Dicke der Dentinwand gesetzt. Durch dieses Kriterium wurde nicht ausschließlich der absolute Wert der Eindringtiefe betrachtet, sondern der gemessene Wert wurde in Relation zur Dentinstärke nach der Wurzelkanalaufbereitung gesetzt. Bewertet wurde die prozentuale Eindringtiefe: „keine Anfärbung“; „Wand“ = angefärbte Wurzelkanalwand im Bereich des Lumens; „ $\leq 50\%$ “ = Anfärbung bis zu 50% des Wurzelkanaldentins; „ $>50\%$ “ = Anfärbung, die die 50%-Grenze überschreitet. Diese Beurteilung erfolgte auf den verschiedenen Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm. Die Vergleichsgruppen zeigten nachstehende Ergebnisse:

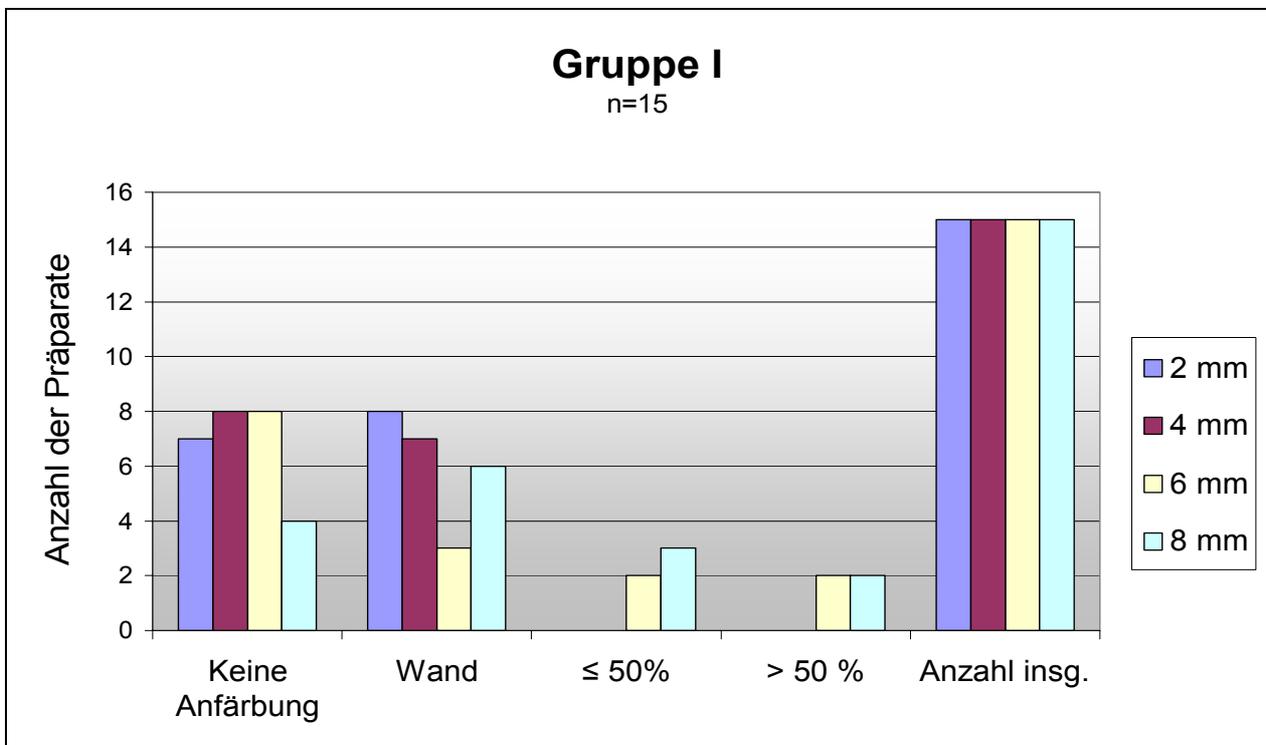


Abb. 21: Verteilung der Eindringtiefen in Relation zur Dentinstärke. Das Diagramm zeigt die Präparate der *Gruppe I* aufgeschlüsselt auf die Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm. Es ist zu beachten, dass ein überwiegender Teil der Präparate nicht angefärbt („keine Anfärbung“) ist oder nur im Bereich des Wurzelkanallumens („Wand“) eine Anfärbung aufweist. Nur die Schnittebenen 6 und 8 mm weisen tiefer reichende Anfärbungen („ $\leq 50\%$ “; „ $>50\%$ “) auf.

Die verschiedenen Schnittebenen innerhalb der *Gruppe I* unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Signifikanzniveau: $p=0,05$; CHI-Quadrat-Test nach

Pearson $p=0,148$; SPSS 10.0 für Windows, Fa. SPSS Inc., s. 7.3.2.9. Gruppenvergleich bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke, Tab. 30).

Die *Gruppe I (Statische Lösungsapplikation)* zeigte folgende prozentuale Ergebnisse:

Gruppe I	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm
„keine Anfärbung“	46,7%	53,3%	53,3%	26,7%
„Wand“	53,3%	46,7%	20,0%	40,0%
„ $\leq 50\%$ “	0,0%	0,0%	13,3%	20,0%
„ $> 50\%$ “	0,0%	0,0%	13,3%	13,3%

Tab. 8: Prozentuale Verteilung der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm in Relation zur Dicke des Wurzelkanaldentins in der *Gruppe I*. Nur bei 6 und 8 mm zeigt sich eine Anfärbung in zirkulären Dentinbereichen, jedoch nur in geringem Maße.

Auffällig war hier der geringe Anteil der Anfärbung bis tief in das circumpulpale Dentin hinein. Eine tiefere Anfärbung als die des Wandbereichs war in 17,4 % der Fälle nachzuweisen (12 von 69 Fällen; s. Abb. 21).

Die *Gruppe II (manuell-dynamische Spülung)* zeigte auf der Schnittebene 2 mm in 40% der Fälle keine Eindringtiefe, in 60% der Fälle war ein Eindringen des Farbmärkers im Randbereich des Wurzelkanallumens („Wand“) zu beobachten, dementsprechend war ein Eindringen in tiefere Dentinbereiche nicht nachzuweisen. In der Höhe von 4 mm war keine Anfärbung in 33,3% der Fälle zu verzeichnen. Der Bereich „Wand“ war in 53,3% der Fälle angefärbt, während eine Anfärbung „ $\leq 50\%$ “ bzw. „ $> 50\%$ “ der Dentinstärke jeweils in 6,7% erreicht wurde. Die Schnittebene 6 mm zeigte folgende Ergebnisse: „keine Anfärbung“: 33,3%; „Wand“: 33,3%; „ $\leq 50\%$ “: 13,3%; „ $> 50\%$ “: 20%. Ab der Schnittebene 8 mm fand immer eine Anfärbung statt, d.h. der Bereich „keine Anfärbung“ wies keine Präparate auf. Für 8 mm lagen folgende Ergebnisse vor: „Wand“: 46,6%; „ $\leq 50\%$ “= 33,3%; „ $> 50\%$ “=20% (s. Abb. 22). Diese Ergebnisse zeigten eine statistische Signifikanz (Signifikanzniveau: $p=0,05$; CHI-Quadrat-Test nach Pearson $p=0,041$; SPSS 10.0 für Windows, Fa. SPSS Inc., s. 7.3.2.9. Gruppenvergleich bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke, Tab. 32).

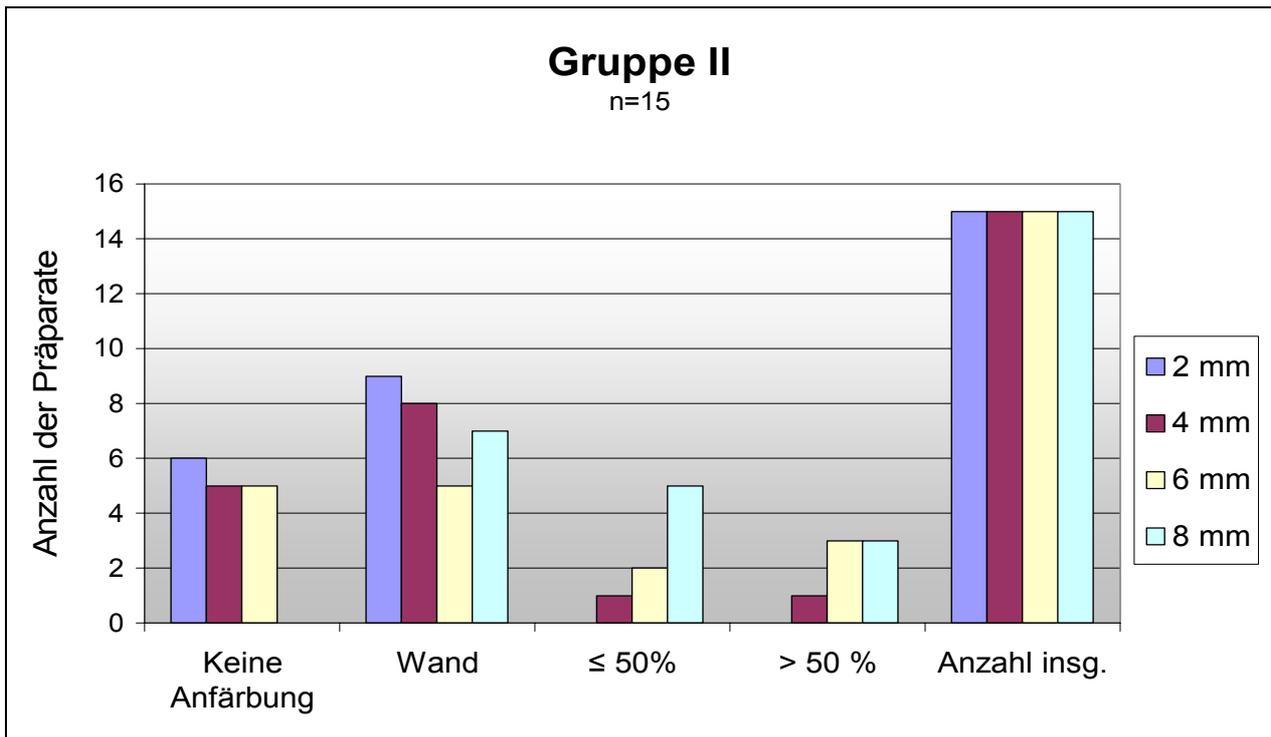


Abb. 22: Darstellung der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke für die Präparate der *Gruppe II* sortiert nach den verschiedenen Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm. Hier liegt wie in *Gruppe I* (Abb. 20) der größte Anteil der Präparate in den Bereichen ohne Anfärbung der Dentintubuli („keine Anfärbung und Wand“). Allerdings zeigen auch wenige Präparate auf der Höhe 4 mm eine tiefere Ausdehnung der Farblösung.

Insgesamt betrachtet (ohne Differenzierung in die einzelnen Schnittebenen) erreichten 25% den Bereich „≤ 50%“ und „> 50%“. Aufgeschlüsselt auf die einzelnen Schnittebenen erlangte bei 2 mm kein Präparat den oben genannten Bereich. Bei 4 mm waren es 13,3%, bei 6 mm 33,3% und bei 8 mm 53,3%.

Gruppe II	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm
„Keine Anfärbung“	40,0%	33,3%	33,3%	0,0%
„Wand“	60,0%	53,3%	33,3%	46,6%
„≤ 50%“	0,0%	6,7%	13,3%	33,3%
„> 50%“	0,0%	6,7%	20,0%	20,0%

Tab. 9: Übersicht über die prozentuale Verteilung der Präparate in *Gruppe II* in den Bereichen „keine Anfärbung“, „Wand“, „≤ 50%“ und „> 50%“. Auf der Ebene 6 und 8 mm wiesen jeweils 13,3% im Bereich „≤ 50%“ und je 20% in dem Bereich „> 50%“ eine Einfärbung mit dem Farbmarker auf.

Die Auswertung der Versuchsergebnisse der *Gruppe III* (Behandlung mit RinsEndo®) beschrieb folgende Ergebnisse:

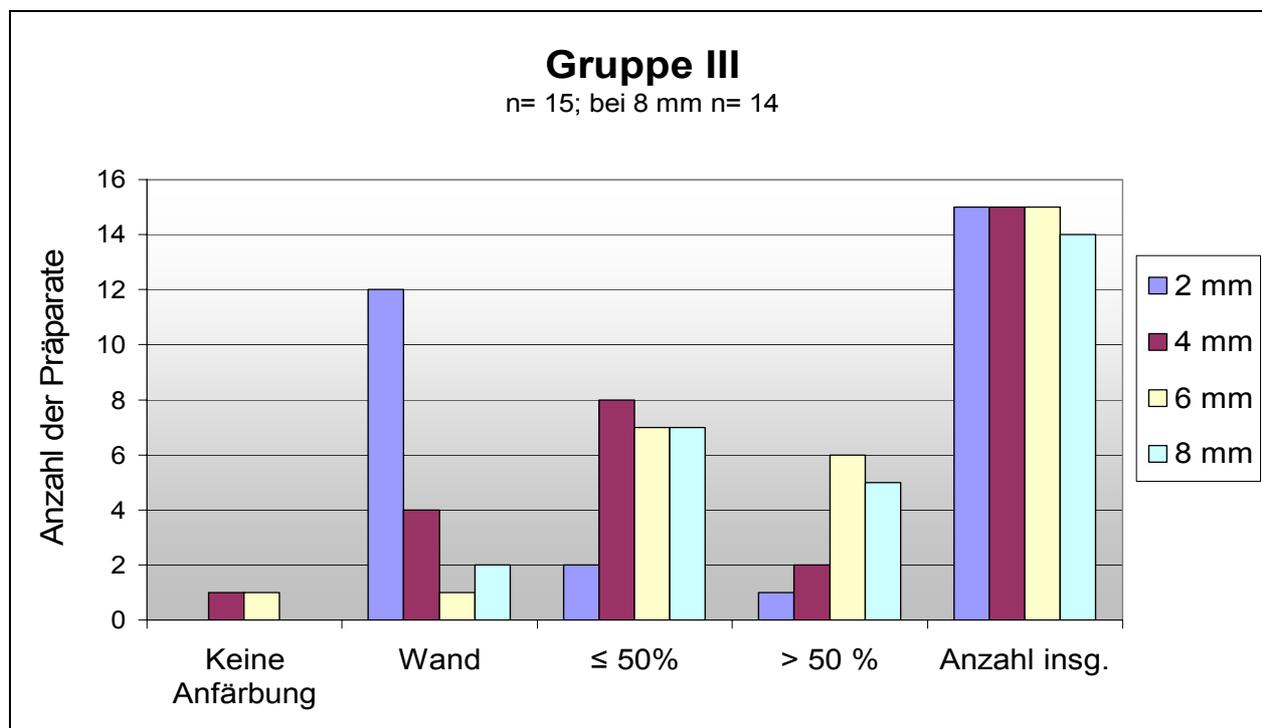


Abb. 23: Darstellung der Eindringtiefen in Relation zur Dentinstärke für die Präparate der *Gruppe III* aufgeteilt auf die Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm. Es ist auffallend, dass im Bereich „keine Anfärbung“ nur zwei Präparate lagen.

Gruppe III	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm
„Keine Anfärbung“	0,0%	6,7%	6,7%	0,0%
„Wand“	80,0%	26,7%	6,7%	13,3%
„≤ 50%“	13,7%	53,3%	46,7%	46,7%
„> 50%“	6,7%	13,3%	40,0%	33,3%

Tab. 10: Prozentuale Verteilung der Präparate in *Gruppe III* in den Bereichen „keine Anfärbung“, „Wand“, „≤ 50%“ und „> 50%“. Im Gegensatz zu den Kontrollgruppen zeigte sich hier, dass im Bereich „keine Anfärbung“ nur ein geringfügiger Prozentsatz der Präparate zu finden ist.

In *Gruppe III* verhielt sich die Verteilung der Anfärbung anders als in den anderen Gruppen (s. Abb. 23). So zeigte sich die größte Anfärbung auf der Schnittebene 2 mm im Wandbereich mit 80% der Fälle, während die Anfärbung „≤ 50%“ 13,3% und die Anfärbung „> 50%“ 6,7% betrug.

Bei 4 mm waren 6,7% der Fälle nicht angefärbt. 26,7% waren im Wandbereich („Wand“) angefärbt und 53,3% zeigten eine Anfärbung „ $\leq 50\%$ “ der Dentinstärke. In 13,3% penetrierte die Spüllösung darüber hinaus („ $> 50\%$ “).

In der Schnittebene 6 mm waren 6,7% nicht angefärbt. Das Lumen („Wand“) war ebenfalls in 6,7% angefärbt. „ $\leq 50\%$ “ der Wand war in 46,7% der Fälle angefärbt, und darüber hinaus eingefärbt waren 40%.

Auf der Höhe von 8 mm waren alle Präparate angefärbt („keine Anfärbung“ = 0%). Eine Anfärbung im Bereich „Wand“ wurde in 13,3% der Fälle sichtbar. Den Bereich „ $\leq 50\%$ “ erreichten, ebenso wie bei 6 mm, 46,7% der Präparate. Eine Anfärbung von „ $> 50\%$ “ der Dentinstärke wurde in 33,3% erreicht. Auch diese Ergebnisse in der *Gruppe III* zeigten eine statistische Signifikanz (Signifikanzniveau: $p=0,05$; CHI-Quadrat-Test nach Pearson $p=0,002$; SPSS 10.0 für Windows, Fa. SPSS Inc., s. 7.3.2.9. Gruppenvergleich bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke, Tab. 34).

Betrachtet man die Verteilung der größten Anfärbung bezogen auf die unterschiedlichen Schnittebenen in *Gruppe III*, so stellt man fest, dass der größte Anteil der Präparate eine Anfärbung aufwies, die eine tiefer reichende Ausdehnung als den Wandbereich des Wurzelkanals hatte (s. Abb. 23 und Abb. 25). Nur die Schnittebene 2 mm trat im Bereich „Wand“ mit 12 von 15 Präparaten (80% der Präparate) auf.

Im direkten Gruppenvergleich konnte man folgende Ergebnisse dokumentieren (s. Abb. 24):

Die *Gruppe I* zeigte vorwiegende Anfärbung in den Bereichen „keine Anfärbung“ und „Wand“. Die tiefe Dentinpenetration trat prozentual seltener auf.

Die *Gruppe II* wies das größte prozentuale Auftreten im Bereich der „Wand“-Anfärbung auf, zeigte aber ebenso in den anderen Bereichen Anfärbungen.

Im Vergleich waren in *Gruppe III* nur wenige Präparate ohne Anfärbung. Die Bereiche „Wand“ und „ $> 50\%$ “ lagen bei ca. 25%; die größte Anzahl der Anfärbungen lag mit ca. 46% im Bereich „ $\leq 50\%$ “. Auf den jeweiligen Schnittebenen waren die Gruppen jeweils signifikant voneinander zu unterscheiden (Signifikanzniveau: $p=0,05$; CHI-Quadrat-Test nach Pearson; SPSS 10.0 für Windows, Fa. SPSS

Inc., s. Tab. 11 und 7.3.2.10. Vergleich der Schnittebenen bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke, Tab. 35-42).

	2 mm	4 mm	6 mm	8 mm
Gr. I – II- III	p=0,036	p=0,002	p=0,021	P=0,032

Tab. 11: Darstellung der statistischen Signifikanzen zwischen den *Gruppen I, II und III* auf den Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm, bezogen auf die Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke (Zusammenfassung Tab. 35 - 42) . Es herrschen statistisch signifikante Unterschiede zwischen allen Gruppen auf allen Schnittebenen (Signifikanzlevel $p=0,05$).

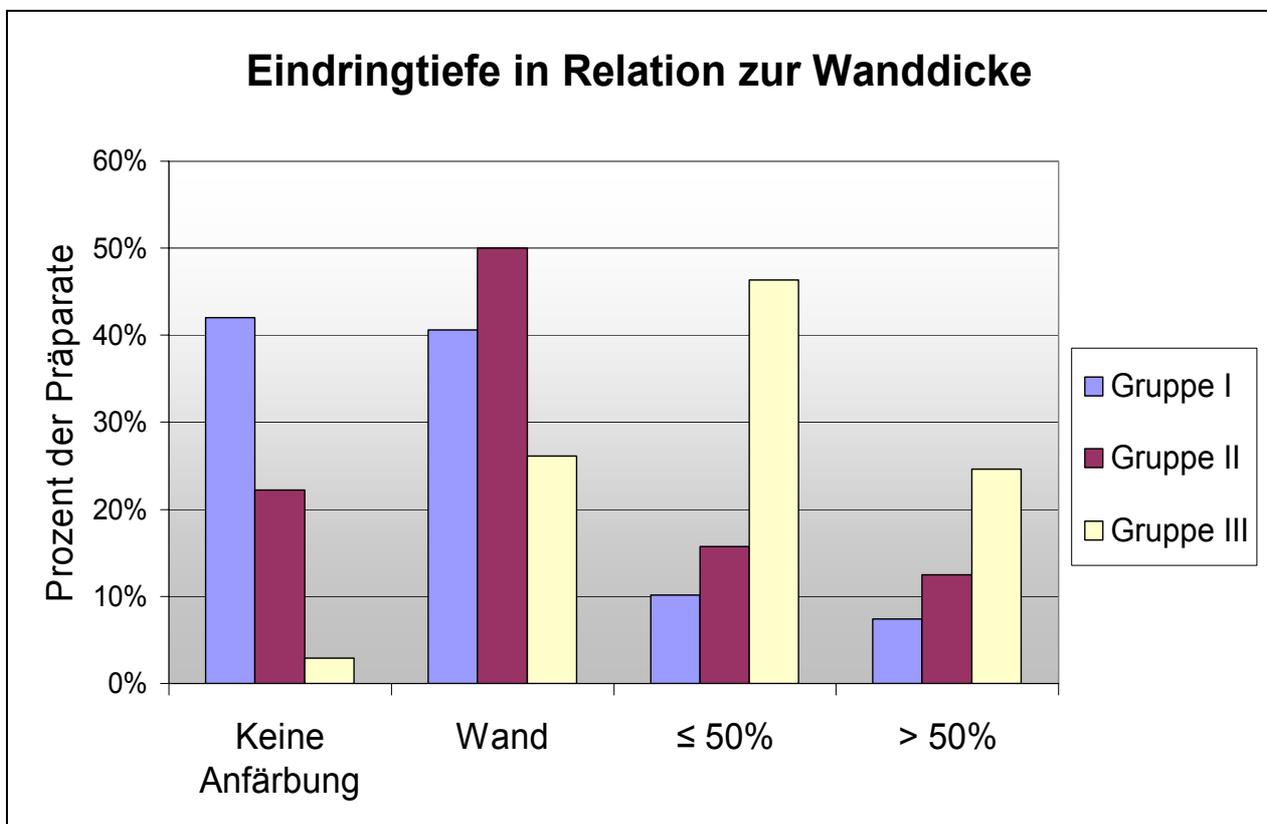


Abb. 24: Prozentuale Verteilung der Eindringtiefen in Relation zur Dentinstärke aufgeschlüsselt auf die *Gruppen I, II und III*. Die Darstellung veranschaulicht eine Prävalenz der *Gruppe III* in den Bereichen einer größeren Eindringtiefe der Farblösung in das circumpulpare Dentin („≤ 50%“ und „> 50%“).

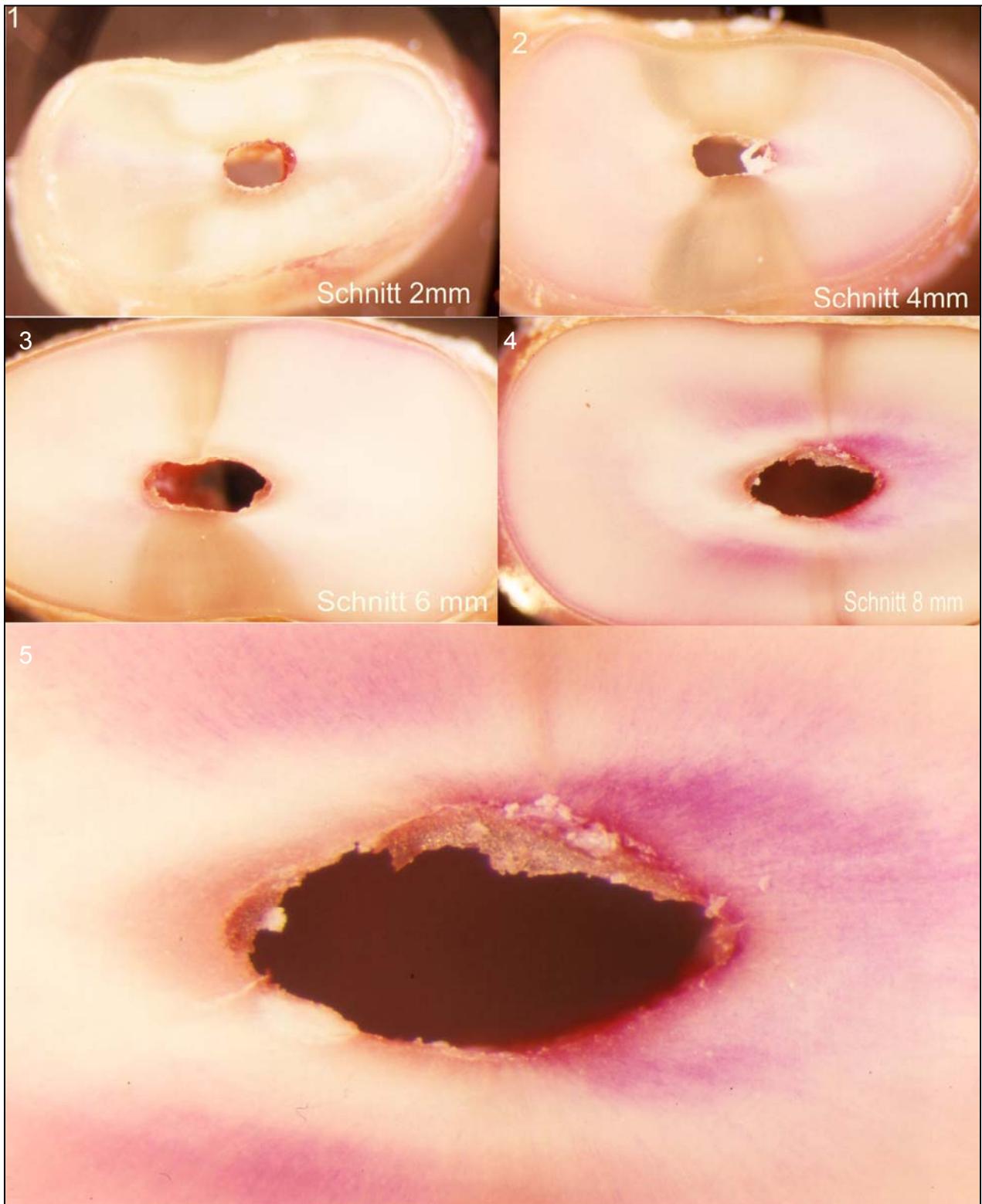


Abb. 25: Bilder 1-4 Vergrößerung 18fach, Bild 5: Vergrößerung 33fach. Darstellung der verschiedenen Eindringtiefen auf den Schnittebenen 2 mm (Bild 1), 4 mm (Bild 2), 6 mm (Bild 3) und 8 mm (Bild 4).

Um die Ergebnisse anschaulicher zu gestalten, kann man folgende Kombinationen festlegen. Die Bereiche „keine Anfärbung“ und „Wand“ enthalten zusammen ausschließlich Werte, die keine Anfärbung der zirkulären Dentinkanälchen erreichen. Dagegen ist in den Bereichen „ $\leq 50\%$ “ und „ $> 50\%$ “ eine Penetration der gefärbten Spüllösung in die Dentinkanälchen erfolgt. Somit erhält man folgende kombinierte Ergebnisse: Die *Gruppe I* stellt im zusammengefassten Bereich „keine Anfärbung“ und „Wand“ die größte Anzahl der Präparate mit 44% dar, an zweiter Stelle folgt die *Gruppe II* mit 40%. Einen nur kleinen Anteil mit 16% aller Präparate im kombinierten Bereich „keine Anfärbung“ und „Wand“ stellt die *Gruppe III* dar (s. Abb. 26).

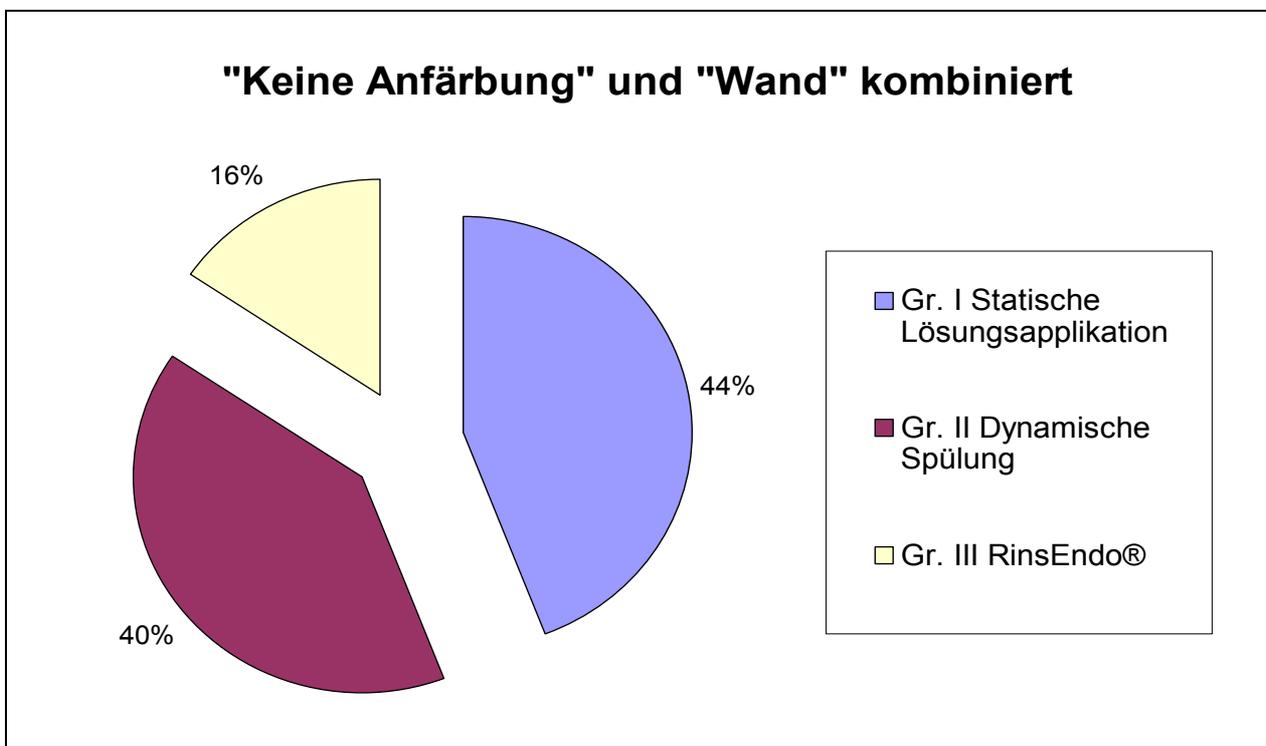


Abb. 26: Anteilige Gruppenverteilung in der Kombination der Präparate aus den Kriterien „Keine Anfärbung“ und „Wand“. Auffallend ist der verhältnismäßig kleine Anteil der *Gruppe III* (RinsEndo®) innerhalb dieser kombinierten Kriterien.

Die Kombination der Kriterien „ $\leq 50\%$ “ und „ $> 50\%$ “ beschreibt eine ausreichende Ausdehnung der Spüllösung in das zirkuläre Dentin.

Betrachtet man die Bereiche „ $\leq 50\%$ “ und „ $> 50\%$ “ gemeinsam, so findet man hier die *Gruppe I* mit 15% gering vertreten. Die *Gruppe II* tritt mit 23% aller Prä-

parate in diesem Kriterium ebenfalls eher unauffällig in Erscheinung. Mit 62% der Präparate stellt die *Gruppe III* den größten Anteil dar (s. Abb. 27).

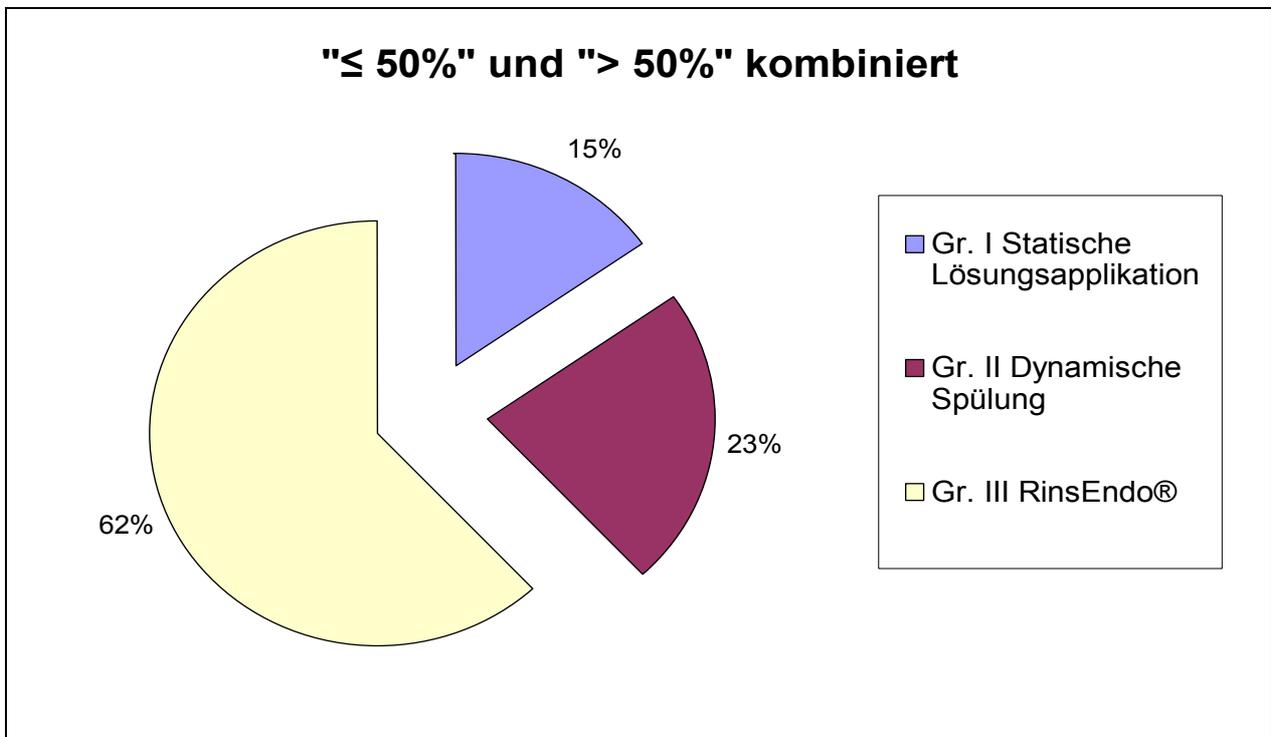


Abb. 27: Kombination der prozentualen Eindringtiefen in den Bereichen „≤ 50%“ und „> 50%“. Die *Gruppe III* hat hier den größten Anteil, während die Kontrollgruppen beide prozentual geringer vertreten sind.

4. DISKUSSION

Das Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung einer neuartigen Methode zur Reinigung und Desinfektion von Wurzelkanälen. Das neue System wurde konventionellen Reinigungssystemen wie der statischen Lösungsapplikation und der manuell-dynamischen Spülung gegenübergestellt. Die Betrachtungen in der vorliegenden Studie bezogen sich ausschließlich auf die abschließende Spülung, die nach Beendigung jeder Wurzelkanalaufbereitung durchgeführt werden sollte (Hülsmann, 2001). Durch die Untersuchung sollte eine Aussage in Bezug auf die Effektivität der neuen Methode, aber auch bezüglich der klinischen Einsatzfähigkeit erzielt werden. Viele bereits vorliegende Arbeiten (Alaçam, 1987; Attin et al., 2002; Grandini et al., 2002; Hata et al., 2001; Lussi et al., 1993; Mayer et al., 2002; Scelza et al., 2000; Torabinejad et al., 2003b) stellen die Spüleffektivität bezogen auf die makroskopische Eindringtiefe in die verschiedenen Wurzelkanalabschnitte in den Vordergrund. Diese grundlegenden Untersuchungen wurden in dieser Studie ebenfalls durchgeführt; besondere Beachtung fand jedoch die mikroskopische Beurteilung der Eindringtiefe des Spülmediums in zirkuläre Dentinstrukturen. Dies gewinnt besondere Bedeutung, da eine möglichst vollständige Dekontamination des Wurzelkanals nur durch eine Penetration des Spülmediums in das circumpulpare Dentin erreicht werden kann (Hülsmann, 2001; Nolden, 1994). Hierzu sind Nachweisverfahren und Untersuchungstechniken nötig, die eine Beurteilung der Eindringtiefe der Spüllösung in die circumpulpalen Dentinstrukturen ermöglichen. In der vorliegenden Studie wurde in vergleichenden Untersuchungen die zirkuläre Eindringtiefe des Spülmediums in definierten Kanalquerschnitten (auf der Höhe von 2, 4, 6 und 8 mm vom Apex) ermittelt. Durch die randomisierte und einheitliche Verfahrensweise bei allen Versuchsgruppen fand eine Standardisierung statt, die eine Vergleichbarkeit der Gruppen untereinander gewährleistet. Frühere Untersuchungen bedienen sich i. d. R. longitudinaler Schnittebenen zur Beurteilung der Spülmittelpenetration, ohne eine Aussage über die zirkuläre Eindringtiefe treffen (Oliver und Abbott, 2001) zu können.

Zur Überprüfung der Penetrationstiefe wurden Farbstoffpenetrationstests eingesetzt. Der Farbmarker (Säurefuchsin) wurde dem Wirkstoff Natriumhypochlorid

zugewetzt. Vorversuche ergaben, dass ein Zusatz von Säurefuchsin (5 g Säurefuchsin in 100 ml 2%igem NaOCl) bereits ausreichte, um eine starke Einfärbung der Lösung zu erhalten (s. 2.4. Farbstoffpenetrationstest) So wurde die Wirkstoffkonzentration (NaOCl) nur geringfügig verändert. Die Vorversuche zeigten darüber hinaus, dass der Farbstoff nicht durch das 2%ige NaOCl gebleicht wurde, was darauf schließen lässt, dass keine Interaktionen zwischen Wirkstoff und Farbstoff vorlagen. Dennoch kann der Farbstoff nur als Anhalt zur Erfassung der tatsächlichen Penetrationstiefe des Wirkstoffes dienen, da es keinen Beweis dafür gibt, dass die Penetration des Farbstoffes der des Wirkstoffes (NaOCl) entsprach. Man kann jedoch davon ausgehen, dass eine Korrelation zwischen der NaOCl-Penetration und der Farbstoffpenetration besteht, da NaOCl die organischen Anteile in den Dentinkanälchen zersetzt und dadurch überhaupt erst die Farbstoffpenetration ermöglicht. Aufgrund der geringeren Molekülgröße des NaOCl könnte die Eindringtiefe des Wirkstoffes größer sein als die des Farbstoffes. Die Wirkfront des Spülagenzes NaOCl bleibt somit nur indirekt nachweisbar. Die Eindringtiefe der Farblösung ist nur ein relativer Indikator für die Penetrationstiefe des Spülmittels. Allerdings wurde, um dieses Problem zu beachten, in diesem Versuch nicht die absolute Farbstoffpenetration berücksichtigt, sondern die Penetrationswerte im standardisierten Vergleich zwischen der Versuchsgruppe (*RinsEndo*[®]) und den Vergleichsgruppen (*Statische Lösungsapplikation* und *Manuell-dynamische Spülung*) betrachtet.

Die Farbstoffpenetration wurde in der vorliegenden Studie als relative Penetrationstiefe in Bezug zu der nach der Aufbereitung vorhandenen Dentinstärke gesetzt. Dadurch sollte ein repräsentativerer Vergleich der gewonnenen Daten zwischen den Gruppen erfolgen, da in diesem Fall die unterschiedlichen Dicken der Kanalwände jedes Präparates mit einbezogen wurden (s. 3.2.3. Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke).

Die Fülle variabler Faktoren bei solchen Penetrationstests lassen absolute Ergebnisse sehr unterschiedlich ausfallen, so dass eine Vergleichbarkeit mit anderen Studien nach obigen Erläuterungen nicht notwendigerweise gegeben ist.

In der Literatur wird der Einsatz von Farbstoffpenetrationstest zum Nachweis der Eindringtiefen von Spülungen kontrovers diskutiert. Oliver und Abbott (2001) be-

schreiben die Farbstoffpenetrationstest als Indikator, der eingesetzt werden kann, um zwei oder mehr Techniken unter den gleichen in-vitro Bedingungen miteinander zu vergleichen.

Die Ergebnisse in dieser Studie zeigen sehr deutliche Unterschiede zwischen den Vergleichsgruppen und der experimentellen Gruppe bei einem standardisierten Vorgehen. Daher kann man den Einsatz der Methode für diese Versuchsanordnung als berechtigt ansehen. Sogar zwischen den *Gruppen I und II* ergeben sich deutliche Unterschiede, so weist die *Gruppe I (Statische Lösungsapplikation)* signifikant geringere Eindringtiefen auf als die *Gruppe II (Manuell-dynamische Spülung)*.

Andere Methoden zur Überprüfung der zirkulären Penetration von Spüllösungen in Dentinkanälchen sind zum Beispiel die Verwendung radioaktiv markierten Materials (Cecic et al., 1984; Rollison et al., 2002; Weller et al., 1980) und die mikrobielle Infektion der Kanäle (Buck et al., 2001, 1999; Folwazny et al., 2002; Kreisler et al., 2003; Le Goff et al., 1999; Moritz et al., 1999; Pataký et al., 2002; Peters et al., 2000; Piccolomini et al., 2002; Schäfer und Bössmann, 2005; Shabahang und Torabinejad, 2003). Die für NaOCl typischen Eigenschaften werden durch die Markierung mit radioaktiven Tracern erhalten. Die Verwendung radioaktiv markierten Materials ist jedoch eine sehr aufwendige und teure, mit vielen Auflagen versehene Methode.

Neben der herkömmlichen mikrobiellen Inokkulation von Bakterien in Wurzelkanäle und kulturtechnischer Auswertung beschreiben Sedgley et al. (2005) eine neue Methode, die biolumineszente Bakterien (*Pseudomonas fluorescens*) einsetzt (s. 1.3.1.4. Andere Methoden zur Bestimmung der Eindringtiefe in das Dentin). Sie sehen den Vorteil darin, dass eine quantitative Beurteilung der bakteriellen Besiedlung in Echtzeit erfolgen kann. Außerdem kann gegenüber herkömmlichen Methoden, die Entnahmeproblematik - man verwendet i. d. R. Papierspitzen als Trägermedium - umgangen werden. Bei dieser Entnahmemethode werden i. d. R. nur die Bakterien erfasst, die in direktem Kontakt zur Papierspitzenoberfläche stehen. Die bakterielle Besiedlung des gesamten Wurzelkanals könne so nicht wiedergegeben werden (Sedgley et al., 2005). Die Methode der Inokkulation mit biolumineszenten Bakterien ist erst kürzlich in der Literatur beschrieben.

ben worden und stellt eventuell in Zukunft eine bessere Möglichkeit zur Beurteilung der Effektivität von Spüllösungen und -methoden dar.

Die drei Versuche der eigenen Untersuchungen wurden nach der gleichen Systematik durchgeführt, die Dauer der abschließenden Spülung unterschied sich jedoch in allen Gruppen. *Gruppe I (Statische Lösungsapplikation)* erhielt 3 min Einwirkzeit, während die *Gruppen II (Manuell-dynamische Spülung)* und *III (RinsEndo®)* deutlich weniger Zeit zur Interaktion mit der Kanalwand erhielten. Die in *Gruppe I* verwendete Zeit von 3 min wurde nach einem eingehenden Literaturstudium festgelegt (Alacam, 1987; Cameron, 1995; Lee et al., 1991; Türkün und Cengiz, 1997). Die Zeit für die manuell-dynamische Spülung (*Gruppe II*) wurde in einem Vorversuch durch Messung der Zeit, die die Entleerung einer 5 ml Spritze benötigt, ermittelt. Sie betrug durchschnittlich 60 s. Für die *Gruppe III (RinsEndo®)* war die Zeit, die zur Entleerung einer 5 ml Spritze benötigt wurde, durch das Gerät vorgeben und betrug ca. 30 s. In der Literatur wurden teilweise deutlich längere Wirkzeiten bis zu 18 min (Cameron, 1985) verwendet. Durch den Einsatz dieser im Vergleich zur Literatur recht kurzen Zeit wurden die Spülmethode einer besonders hohen Anforderung ausgesetzt. Unter Praxisbedingungen findet eine abschließende Spülung über mehrere Minuten nur selten statt. Somit kann diese hohe Anforderung als Anspruch an die Praxistauglichkeit der Spülmethode betrachtet werden. Eine längere Abschlusspülung mit entsprechend mehr Volumen (10- 20 ml) sollte zu einem besseren Ergebnis führen (Hülsmann, 2001).

In der Literatur finden sich bezüglich der zirkulären Eindringtiefe verschiedene Angaben, wobei prinzipiell eine maximale zirkuläre und apikale Penetrationstiefe angestrebt werden sollte. Evans et al. (2002) sehen ein Überleben von Bakterien (in benanntem Fall *Enterococcus faecalis*) vor allem dadurch ermöglicht, dass NaOCl nicht in Dentintubuli oder schwer erreichbare Regionen des Wurzelkanalsystems vordringen kann. Dementsprechend ist die Forderung nach neuen Methoden entstanden, die ein Eindringen in diese unzugänglichen Regionen ermöglichen.

Demzufolge stellt sich die Frage, wie eine vergrößerte zirkuläre Penetrationstiefe erreicht werden kann. Die dahingehenden Ansätze in den letzten zwanzig Jahren

gingen vor allem in Richtung des Einsatzes von Ultraschall-Applikationen (s. 1.2.5.1. Physikalisch-mechanische Methoden), die die Penetration der Spülflüssigkeit in die Dentinkanäle fördern sollen. Hülsmann (2004) attestierte den Ultraschall-Systemen eine erhebliche Steigerung der Reinigungswirkung.

Ein anderer Ansatz bedient sich Unter-/Überdruckspülung und dadurch entstehenden hydrodynamischen Turbulenzen (Lussi et al., 1993; 1995). Allerdings ist dieses System bis heute wenig verbreitet, obwohl es in den in-vitro und in-vivo Studien von Lussi et al. (1993; 1995) gleiche oder bessere Kanalreinheit in allen Kanalabschnitten im Vergleich zur Handaufbereitung und -spülung zeigen konnte.

Die in der vorliegenden Studie untersuchte Technik (*RinsEndo*[®]) zielt auf die Applikation eines Druck-Saug-Zyklusses und einer damit verbundenen tieferen Penetration der Spülflüssigkeiten, die auch erreicht wurde.

Ein neuer Ansatz könnte in dem Einsatz von elektrochemisch aktivierten Spüllösungen liegen, so dass die Spüllösungen bis tief in den Zahn hinein diffundieren, ähnlich einer Iontophorese (Solovyeva und Dummer, 2000).

Anatomische Varianten führten bei einzelnen Präparaten zu unterschiedlichen zirkulären Eindringtiefen (s. Abb. 8 und 9). So zeigten sich mehrfach Unterschiede in den Größen der Penetrationstiefen im Zusammenhang mit einer sichtbar verstärkten Kalzifizierung des Dentins. Dies nahm jedoch keinen weiteren Einfluss auf die Versuchsergebnisse, da die Verteilung der Zähne randomisiert erfolgte.

Die *Versuchsgruppe III (RinsEndo*[®]) mit der neuen hydrodynamischen Spülmethode zeigte in allen Punkten bezüglich der Penetrationstiefe in das zirkuläre Dentin statistisch hoch signifikant bessere Ergebnisse als die Vergleichsgruppen. Betrachtet man die Eindringtiefe nach apikal, so waren die Ergebnisse auf den Schnittebenen 2 und 4 mm in der *Gruppe III (RinsEndo*[®]) ebenfalls besser als in den Vergleichsgruppen.

Nach der Literaturrecherche ergaben sich zwei verschiedene Angaben als nachweisliche Eindringtiefe von Bakterien im Dentin. So fanden Basrani et al. (2003), Schäfer und Bössmann (2005) und Sirén et al. (1997) Bakterien bis in eine Tiefe

von 0,25 mm. Hülsmann (2001) wies im Falle einer infizierten Pulpanekrose Bakterien bis in eine Tiefe von 1,2 mm nach. Legt man die Grenze von 0,25 mm als minimal akzeptable Eindringtiefe fest, wie dies von den oben genannten Autoren postuliert wurde, so waren akzeptable Ergebnisse nur in der *Gruppe III (RinsEndo®)* zu erreichen und dort auch nur in den Schnittebenen 6 und 8 mm. Die *Gruppe I (Statische Lösungsapplikation)* erreichte mit dem überwiegenden Teil der Messungen auch in den Ebenen 6 und 8 mm keine entsprechende Tiefe. Insgesamt betrachtet erreichten 52,2% der Messwerte in *Gruppe III (RinsEndo®)* eine Tiefe von 0,25 mm und mehr. In *Gruppe II (Manuell-dynamische Spülung)* waren es noch 32,5%, während *Gruppe I (Statische Lösungsapplikation)* mit 14,2% deutlich unter den Erwartungen lag. Aber dennoch war festzustellen, dass auch die 52,2% der *Gruppe III (RinsEndo®)* deutlich unter den Ansprüchen an eine ausreichende Penetrationstiefe in die Dentintubuli lagen. Besonders ernüchternd waren die Ergebnisse, die keinerlei Anfärbung der Dentintubuli zeigten: In *Gruppe I (Statische Lösungsapplikation)* waren dies ca. 63% und in *Gruppe II (Manuell-dynamische Spülung)*, dem heute meist genutzten Verfahren, zeigten ca. 37% kein Eindringen der Spüllösung in die Dentinkanälchen. Diese Ergebnisse sind nicht akzeptabel und sprechen gegen die Verwendung der Verfahren der Handspülung und des statischen Einwirkens von Spüllösungen. Damit lässt sich sagen, dass die *Gruppe III (RinsEndo®)* im Gegensatz zu den herkömmlichen Methoden eine Verbesserung der Penetrationstiefen in zirkulärer und apikaler Richtung darstellt. Jedoch zeigte diese Methode ebenfalls keine optimalen Ergebnisse, da in den Schnittebenen 2 und 4 mm die oben geforderte 0,25 mm nur in 30% (2 mm) und 45% (4 mm) der Fälle erreicht wurden.

Zur Beurteilung des Bereiches der apikalen Extrusion fanden sich in der Literatur klare Aussagen dahingehend, dass eine Extrusion nicht wünschenswert sein kann. Hülsmann und Hahn (2000) beschrieben als Folge einer Extrusion Nekrosen, die durch die besonderen gewebelösenden Eigenschaften von Natriumhypochlorid hervorgerufen wurden. Des Weiteren entstanden sofortige massive Schmerzen (wenn nicht anästhesiert) und Schwellungen. Dies bestätigten mehrere Fallberichte (Becking, 1991; Ehrich et al., 1993; Gatot et al., 1991; Grob,

1984; Herrman und Heicht, 1979; Hülsmann und Denden, 1997; Joffe, 1991; Kavanagh und Taylor, 1998; Reeh und Messer, 1989; Sabala und Powell, 1989). Betrachtet man die Ergebnisse nun unter diesem Aspekt, so muss man ableiten, dass die *Gruppe III (RinsEndo®)* hier mit Abstand am schlechtesten abschneidet. 80% der Präparate zeigten hier eine Extrusion der Spüllösung in die periapikale Region. In *Gruppe I (Statische Lösungsapplikation)* und *II (Manuell-dynamische Spülung)* waren dies jeweils nur 13,3%. Besonders in Bezug auf die klinische Einsetzbarkeit wirft dies eine Problematik auf. Betrachtet man die Menge der apikal überpressten Flüssigkeit, so kann man konstatieren, dass hier ebenfalls die *Gruppe III (RinsEndo®)* deutlich größere Mengen überpresster Flüssigkeit feststellen ließ, als dies in den *Gruppen I (Statische Lösungsapplikation)* und *II (Manuell-dynamische Spülung)* zu beobachten war. Als Maßnahmen zur Vermeidung der apikalen Extrusion schlugen Hülsmann und Hahn (2000) eine sorgfältige Auswahl des Zahnmaterials und besondere Maßnahmen bei der Spülung vor. Bezüglich des Zahnmaterials wurden in dieser Studie die Forderungen dahingehend erfüllt, dass Zähne mit weit offenem Foramen apikale, Zähne mit Verletzung der apikalen Konstriktion oder mit Resorptionen im apikalen Bereich ausgeschlossen wurden. Die besonderen Maßnahmen bei der Wurzelkanalspülung betreffen insbesondere die Vermeidung extremen Druckes und damit die Forderung nach einer Spülung bei schwachem, aber konstantem Druck. Außerdem soll eine Klemmwirkung der Nadel vermieden werden und ein ausreichender Abfluss der Spüllösung gewährleistet sein. In *Gruppe III (RinsEndo®)* konnte dem nur in dem Punkt der Klemmwirkung und dem ausreichenden Abfluss Rechnung getragen werden. Der Druck, mit dem die Spüllösung in den Wurzelkanal gepresst wurde, ließ sich nicht beeinflussen. Daher bleibt zu überprüfen, ob eine Reduktion des Druckes (von Herstellerseiten) zu einer geringeren apikalen Extrusion führen würde. Alternativ ist die Überlegung anzustellen, ob es für dieses Spülsystem, entgegen den üblichen Forderungen nach einer möglichst tiefen Positionierung der Nadel, ausreichend wäre, die Nadel im koronalen Drittel des Wurzelkanals zu positionieren. Eventuell lässt sich eine Verbesserung der zirkulären Penetrationstiefen dadurch erzielen, dass an den verwendeten Kanülen zusätzliche seitliche Öffnungen eingefügt werden. Dadurch könnte ein direktes Eindrin-

gen der Spüllösung nach zirkulär erfolgen, ohne einen Umweg über die Nadelspitze machen zu müssen. Vom Hersteller ist mittlerweile eine spezielle Kanüle entwickelt worden, die zusätzliche Öffnungen im lateralen Anteil der Kanülenspitze enthält (die Kanüle war zum Zeitpunkt der Studie noch nicht erhältlich und wurde dementsprechend nicht eingesetzt). Eventuell wäre hier sogar eine weitere Verbesserung zu erreichen, indem die Kanüle ausschließlich seitliche Öffnungen erhielte und nach apikal hin verschlossen wäre, um so eine Reduktion der apikalen Extrusion zu erreichen.

Um weiterreichende Ergebnisse zu erhalten, sollte das neue *RinsEndo*[®]-System im Vergleich zu modernen Spülmethode wie den Ultraschall-Verfahren betrachtet werden. Prüft man dahingehende Untersuchungen, so kann man vermuten, dass wahrscheinlich eine vergleichbare Wirkung zu dokumentieren ist. Zur weiteren Beurteilung der Effektivität im Vergleich zu anderen Standardtechniken müssen diese unter gleichen Voraussetzungen mit dem *RinsEndo*[®]-System überprüft werden. Einer Aussage über die klinische Einsatzfähigkeit des neuartigen hydrodynamischen Systems sollten weitere wissenschaftliche Untersuchungen vorangehen. Es bedarf weiterer in-vitro Studien, insbesondere im Bezug auf die apikale Extrusion - auch unter Berücksichtigung neu entwickelter Kanülensysteme (s. o.). Anschließend sollten in-situ Tierversuche (z. B. am Schweinekiefer) zur Überprüfung der in-vitro gewonnenen Ergebnisse durchgeführt werden. Diese dienen dann als Voraussetzung um kontrollierte in-vivo Versuche am Tier zur weiteren Beurteilung der klinischen Einsatzfähigkeit durchzuführen.

Bestätigen diese Versuche die viel versprechenden Ergebnisse bezüglich der Eindringtiefe in das circumpulpaire Dentin und kann das Problem der apikalen Überpressung kontrolliert werden, so wird das neue System zu einer Verbesserung der Dekontamination der Wurzelkanäle in der modernen Endodontie beitragen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der vorliegenden Studie war die Überprüfung des *RinsEndo*[®]-Systems bezüglich der zirkulären und apikalen Penetrationstiefe einer angefärbten Natriumhypochloridlösung in das Wurzelkanalndentin sowie die Beurteilung der apikalen Extrusion der Spüllösung im Vergleich zu konventionellen Methoden.

Bei 45 frisch extrahierten, einkanaligen Zähnen erfolgte, nach Dekapitation, Exstirpation des Pulpengewebes und Aufbereitung, die abschließende Spülung mit NaOCl, das allgemein als Desinfizienz angesehen ist, und einem Farbstoff als Marker für die Eindringtiefe in das Kanalwandndentin und für die apikale Extrusion der Spüllösung. In *Gruppe I* erfolgte eine statische Lösungsapplikation mit einer Einwirkzeit von 3 min. Das Volumen der abschließenden Spülung in den *Gruppen II und III* betrug 5 ml. In *Gruppe II* fand eine manuell-dynamische Spülung statt, während in der *Versuchsgruppe III* das Spülmedium mit dem hydrodynamischen *RinsEndo*[®]-System appliziert wurde. Die apikale Extrusion wurde fotografisch dokumentiert. Die Beurteilung der zirkulären Eindringtiefe erfolgte anhand von definierten Kanalquerschnitten (2, 4, 6 und 8 mm vom Apex) auf mikrofotografischer Basis.

Mit dem *RinsEndo*[®]-System konnte eine statistisch signifikant höhere Eindringtiefe in die zirkulären Dentinstrukturen erreicht werden, 52% der Präparate erreichten eine minimal geforderte Eindringtiefe von 0,25 mm (*Manuell-dynamische Spülung*: 32%; *Statische Lösungsapplikation*: 14,2%). Auch bezogen auf die Spültiefe im Wurzelkanal war ein signifikant günstigeres Ergebnis beim hydrodynamischen System festzuhalten. Die Extrusion der Spüllösung nach apikal war in der Versuchsgruppe (*RinsEndo*[®]) signifikant erhöht (extrudierte Präparate: *RinsEndo*[®] = 80%; *Statische/Dynamische Lösungsapplikation* = 13,3%) und zeigte damit einen klinisch relevanten Nebeneffekt.

Bezogen auf die zirkuläre Eindringtiefe zeigte das *RinsEndo*[®]-System eine deutliche Verbesserung gegenüber konventionellen Methoden. In der klinischen Beurteilung ist jedoch die apikale Extrusion der Spüllösung ein großer Nachteil des Systems. Vor einer routinemäßigen klinischen Anwendung des Systems sollten daher Verbesserungen insbesondere bezüglich des Kanülendesigns erfolgen.

6. LITERATURVERZEICHNIS

Abou-Rass M, Patonai FJ. The effects of decreasing surface tension on the flow of irrigating solutions in narrow root canals.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1982;53 :524-525

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

Ahmad M, PittFord TR, Crum LA, Wilson RF. Effectiveness of ultrasonic files in the disruption of root canal bacteria.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1990;70:328-332

Alaçam T. Scanning electron microscope study comparing the efficacy of endodontic irrigating systems.

Int Endod J 1987;20:287-294

Almyroudi A, Mackenzie D, McHugh S, Saunders WP. The effectiveness of various disinfectants used as endodontic intracanal medications: an in vitro study.

J Endod 2002;28:163-167

Arisu HD, Bala O, Alimzhanova G, Turkoz E. Assessment of morphological changes and permeability of apical dentin surfaces induced by Nd:YAG laser irradiation through retrograde cavity surfaces.

J Contemp Dent Pract 2004;5:102-113

Appel C. Die chemische Aufbereitung des Wurzelkanals.

Zahn- Mund- Kieferheilkd 2004;20:728-734

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

Bahall JC, Barrs JT. Understanding and evaluating the endodontic file.

Gen Dent 2000;48:690-692

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

Barnhart BD, Chuang A, Dalle Lucca JJ, Roberts S, Liewehr F, Joyce AP. An in vitro evaluation of the cytotoxicity of various endodontic irrigants on human gingival fibroblasts

J Endod 2005;31:613-615

Basrani B, Tjäderhane L, Santos JM, Pascon E, Grad H, Lawrence HP, Friedman 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

Baumgartner JC, Cuenin PR. Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation.

J Endod 1992;18:605-612

Baumgartner JC, Ibay AC. The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement.

J Endod 1987;13:47-51

Baumgartner JC, Mader CL. A SEM evaluation of four root canal irrigation regimes.

J Endod 1987;13:147-157

Becker TD, Wollard GW. Endodontic irrigation.

Gen Dent 2001;49:272-276

Becking AG. Complications in the use of sodium hypochlorite during endodontic treatment. Report of three cases.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1991;71:346-348

Bentham van H. Laseranwendung in der Zahnmedizin. Stellungnahme der DGZMK

Dtsch Zahnärztl Z 1994;49:451

Blomlof J, Blomlof L, Lindskog S. Effect of different concentrations of EDTA on smear removal collagen exposure in periodontitis-affected root surfaces.

J Clin Periodontol 1997;24:534-537

Bradford CE, Eleazer PD, Downs KE, Scheetz JP. Apical pressures developed by needles for canal irrigation.

J Endod 2002;28:333-335

Brannström M, Nyborg H. Bacterial growth and pulpal changes under inlays cemented with zinc phosphate and epoxydate CBA 9080

J Prosthet Dent 1974;31:556-565

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

Buck R, Eleazer PD, Staat RH. In vitro disinfection of dentinal tubules by various endodontic irrigants.

J Endod 1999;25:786-788

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

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

Byström A, Sundqvist G. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy.

Int Endod J 1985;18:35-40

Çalışkan MK, Türkün M, Alper S. Allergy to sodium hypochlorite during root canal therapy: a case report.

Int Endod J 1994;27:163-167

Çalt S, Serper A. Smear layer removal by EDTA.

J Endod 2000;26:459-461

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

Cardoso CL, Kotaka CR, Redmerski R, Guilhermetti M, Queiroz AF. Rapid decontamination of gutta-percha cones with sodium hypochlorite.

J Endod 1999;25:498-501

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

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

Cheung GSP, Stock CJR. In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics.

Int Endod J 1993;26:334-343

Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation.

J Endod 1983;9:475-479

Cymbler DM, Ardakani P. Sodium hypochlorite injection into periapical tissues.

Dent Update 1994;21:345-346

Czonstkowsky M, Wilson EG, Holstein FA. The smear layer in endodontics.

Dent Clin North Am 1990;34:13-25

Diamond A, Carrel R. The smear layer: a review of restorative progress.

J Pedod 1984;8:219-226

Dippel H, Borggreven J, Hoppenbrouwers P. Morphology and permeability of the dentinal smear layer.

J Prosthet Dent 1984;52:657-662

Dorborij E, Grower M, Peters D, Lorton L, Bernier W. Comparison of the flushing effectiveness of four different types of needles after root canal preparation.

J Endod 1980;6:870-875

Drake D, Wiemann A, Rivera E, Walton R. Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer.

J Endod 1994;20:78-82

Ehrich DG, Brain JD Jr, Walker WA. Sodium hypochlorite accident: inadvertent injection into the maxillary sinus.

J Endod 1993;19:180-182

European Society of Endontology. Consensus report of the European Society of Endontology on quality guidelines for endodontic therapy.

Int Endod J 1994;27:115-124

Evans M, Davies JK, Sundqvist G, Figdor D. Mechanisms involved in the resistance of *Enterococcus faecalis* to calcium hydroxide.

Int Endod J 2002;35:221-228

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

Fogel HM, Pashley DH. Dentine permeability: Effects of endodontic procedure on root slabs.

J Endod 1990;16:442-445

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

Frentzen M. Laser in der Endodontie – eine Übersicht.

ZWR 2002;7+8:375-390

Frentzen M, Nickel J, Brunert MCL. Grundlagen zur maschinellen Aufbereitung von Wurzelkanälen mit Nickel-Titan-Feilensystemen.

ZWR 2005;7+8:325-334

Frentzen M, Schmitt UH, Braun A. Dimensionsstabilität von Guttaperchastiften bei unterschiedlichen Desinfektionsmaßnahmen.

ZWR 2004;3:73-80

Gatot A, Arbelle J, Leiberman A Yanai-Ibar I. Effects of sodium hypochlorite on soft tissues after its inadvertent injection beyond the root apex.

J Endod 1991;17:573-574

Goldberg F, Abramovich A. Analysis of the effect of EDTAC on the dentinal walls of the root canal.

J Endod 1977;3:101-105

Goldman LB, Goldman M, Kronman JH, Sun Lin P. Scanning electron microscope study of a new irrigation method in endodontic treatment.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1979;48:79-83

Goldman LB, Goldman M, Kronman L, Lin P. The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: a SEM study.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1985;2:197-204

Gomes BPF, 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

Grandini S, Balleri P, Ferrari M. Evaluation of glyde file prep in combination with sodium hypochlorite as a root canal irrigant.

J Endod 2002;28:300-303

Grob R. Zwischenfall mit Natriumhypochlorid – nur mein Fehler?.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 1984;94:661-662

Grossmann L, Meimann J. Solution of pulp tissue by chemical agents.

J Am Dent Assoc 1941;28:223-225

Guerisoli DM, Marchesan MA, Walmsley AD, Lumley PJ, Pecora JD. Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic agitation.

Int Endod J 2002;35:418-421

Guldener PHA, Langeland K. In: Endodontologie – Diagnostik und Therapie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1993

Gutknecht N, Ermert M, Lampert F. Farbpenetrationsversuche am Dentin nach Behandlung mit einem Nd:YAG Laser.

Dtsch Zahnärztl Z 1994;49:157-159

Haapasalo H, Sirén E, Waltimo T, Ørstavik D, Haapasalo M. Inactivation of local root canal medicaments by dentin: an in vitro study.

Int Endod J 2000;33:126-131

Haikel Y, Allemann C. Effectiveness of four methods for preparing root canals: a scanning electron microscopic evaluation

J Endod 1988;14:340-345

Hand RE, Smith ML; Harrison JW. Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite.

J Endod 1978;4:60-64

Hata G, Hyami S, Weine FS, Toda T. Effectiveness of oxidative potential water as a root canal irrigant.

Int Endod J 2001;34:308-317

Hellwig E, Klimek J, Attin T. In: Einführung in die Zahnerhaltung 2.Auflage. München: Urban und Fischer 1999

Herrman JW, Heicht RC. Complications in therapeutic use of sodium hypochlorite.

J Endod 1979;5:160.

Hottel TL, el-Refai NY, Jones JJ. A comparison of three chelating agents on the root canals of extracted human teeth.

J Endod 1999;25:716-717

Hülsmann M. Die Aufbereitung des Wurzelkanals. In: Heidemann D, Hrsg. Praxis der Zahnheilkunde Band Endodontie. München, Jena: Urban und Fischer, 2001: 80-116

Hülsmann M. Die Anwendung elektro-physikalisch-chemischer Methoden in der Endodontie.

ZWR 2004;3:85-96

Hülsmann M, Denden JM. Iatrogene Zwischenfälle bei der Wurzelkanalspülung – Literaturübersicht und Falldarstellung.

Endodontie 1997;3:191-206

Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation: literature review and case reports.

Int Endod J 2000;33:186-193

Hülsmann M, Heckendorff M, Schäfers F. Comparative in-vitro evaluation of three chelator pastes.

Int Endod J 2002;35:668-679

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

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

Joffe E. Complication during root canal therapy following accidental extrusion of sodium hypochlorite through the apical foramen.

Gen Dent 1991;39:460-461

Kavanagh CP, Taylor J. Inadvertent injection of sodium hypochlorite into maxillary sinus.

Br Dent J 1998;185:336-337

Kimura Y, Yonaga K, Murakoshi M, Yokoyama K, Watanabe H, Matsumoto K. Effects on periradicular periodontal tissues of root canal irradiation with Er:YAG laser in rats.

Photomed Laser Surg 2004;22:335-341

Klinke T, Pöschmann M, Klimm W. Tiefenkontamination von Wurzelkanalwanddentin mit Nd:YAG-Laserlicht.

Dtsch Zahnärztl Z 1999;54:253-257

Koçkapan C. Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung: Eine Übersicht.

Endodontie 1995;1:33-48

Kreisler M, Kohnen W, Beck M, Al Haj H, Christoffers AB, Gotz H, Duschner H, Jansen B, D'Hoedt B. Efficacy of NaOCl/H₂O₂ irrigation and GaAlAs laser in decontamination of root canals in vitro.

Lasers Surg Med 2003;32:189-196

Lamers AC, Van Mullen PJ, Simon M. Tissue reactions to sodium hypochlorite and iodine potassium iodine under clinical conditions in monkey teeth.

J Endod 1980;6:788-792

Le Goff A, Dautel-Morazin A, Guigand M, Vulcain JM. An evaluation of the CO₂ laser for endodontic disinfection.

J Endod 1999;25:105-108

Lee SJ, Strittmatter EJ, Lee CS. An in vitro comparison of root canal content extrusion using ultrasonic and hand instrumentation.

Endod Dent Traumatol 1991;7:65-68

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 2004a;37:607-612

Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls.

Int Endod J 2004b;37:672-678

Lehmann J, Bell WA, Gerstein H. Sodium lauryl sulfate as an endodontic irrigant.

J Endod 1981;7:381-384

Levy G. A new laser for endodontic and hard tissue applications

Dent Today 1991;10:36-39

Lim T, Wee T, Choi M, Koh W, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde™ File Prep in smear layer removal.

Int Endod J 2003;36:336-343

Love RM. Enterococcus faecalis: a mechanism for its role in endodontic failure.

Int Endod J 2001;34:399-405

Ludlow MO, Hermsen KP. Rapid sterilization of gutta-percha points after chairside contamination.

Quintessence Int 1986;17:419-421

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

Lussi A, Nussbacher U, Grosrey J. A novel noninstrumented technique for cleansing the root canal system.

J Endod 1993;19:549-553

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

Mader C, Baumgartner J, Peters D. SEM investigation of the smeared layer on root canal walls.

J Endod 1984;10:477-483

Martin H, Cunningham W, Norris J, Cotton W. Ultrasonic versus hand filing of dentine: a quantitative study.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1980;50:566-568

Martin H, Cunningham W. The effect of endosonic and hand manipulation on the amount of root canal material extruded.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1983;53:611-613

Martin H, Cunningham W. Endosonics- the ultrasonic synergistic system of endodontics.

Endod Dent Traumatol 1985;1:201-206

Mayer BE, Peters OA, Barbakow F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study.

Int Endod J 2002;35:582-589

Mehl A, Folwaczny M, Haffner C, Hickel R. Bactericidal effects of 2.94 microns Er:YAG-Laser radiation in dental root canals.

J Endod 1999;25:490-493

Meryon S, Brook A. Penetration of dentine by three oral bacteria in vitro and their associated cytotoxicity.

Int Endod J 1990;23:196-202

Michelich VH, Schuster GS, Pashley DH. Bacterial penetration of human dentine in vitro.

J Dent Res 1980;59:1398-1403

Moritz A, Schoop U, Goharkhay K, Jakolitsch S, Kluger W, Wernisch , Sperr W. The bactericidal 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

Moshonov J, Peretz B, Brown T, Rotstein I. Cleaning of the root canal using Nd:YAP laser and its effect on the mineral content of the dentine.

J Clin Laser Med Surg 2003;21:279-282

Muschol A, Speer U. Medizinische Mikrobiologie. München: Mediscript, 1981

Nair R, Sjøgren U, Krey G, Kahnberg KE, Sundqvist G. Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesion: a long-term light and electron-microscopic follow-up study.

J Endod 1990;16:580-588

Nolden R. Zahnerhaltungskunde. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1994

O'Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ; Baumgartner JC. A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA.

J Endod 2000;26:739-743

Oksan T, Aktener B, Sen B, Tezel HN. The penetration of root canal sealers into dentinal tubules. A SEM study.

Int Endod J 1993;26 :301-305

Oliver CM, Abbott PV. Correlations between clinical and apical dye penetration.

Int Endod J 2001;34:637-644

Ørstavik D, Haapasalo M. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules.

Endod Dent Traumatol 1990;6:142-149

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

Pashley DH. Smearlayer: physiological considerations.

Oper Dent 1984;3:13-29

Pashley DH. Smear layer: overview of structure and function.

Proc Finn Dent Soc 1992;88:215-224

Pataky L, Iványi I, Grigar Á, Fazekas Á. Antimicrobial efficacy of various root canal preparation techniques: an in vitro comparative study.

J Endod 2002;28:603-605

Patterson CJ, McLundie AC. Apical penetration by a root canal irrigant: a case report.

Int Endod J 1989;22:197-199

Perez F, Calas P, de Falguerolles A, Maurette A. Migration of a Streptococcus sanguis strain through the root dentinal tubules.

J Endod 1993;19:297-301

Perin FM, Franca SC, Silva-Sousa YT, Alfredo E, Saquy PC, Estrela Sousa-Neto MD. Evaluation of the antimicrobial effect of Er:Yag Laser irradiation versus 1% sodium hypochlorite irrigation for root canal disinfection.

Aust Endod J 2004;30:20-22

Peters LB, Harrison JW. A comparison of leakage of filling materials in demineralized and non-demineralized rescteted root ends under vacuum and non-vacuum conditions.

Int Endod J 1992;25:273-278

Peters LB, Wesselink PR, Moorer WR. Penetration of bacteria in bovine root dentine in vitro.

Int Endod J 2000;33:28-36

Piccolomini R, D'Arcangelo 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

Picoli F, Brugnera-Junior A, Saquy P, Guerisoli D, Pecora J. Effect of Er:YAG laser and EDTAC on the adhesiveness to dentine of different sealers containing calcium hydroxide.

Int Endod J 2003;36:472-475

Pöllmann L. Emphysem nach Wurzelkanalbehandlung.

Dtsch Zahnärztl Z 1980;35:835

Pschyrembel W. Hrsg. Klinisches Wörterbuch. Berlin: de Gruyter, 1982

Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1977;44:306-312

Reeh ES, Messer HH. Long-term paresthesia following inadvertent forcing of sodium hypochlorite through perforation in incisor.

Endod Dent Traumatol 1989;5:200-203

Ringel AM, Patterson SS, Newton CW, Miller CH, Mulhern JM. In vivo evaluation of chlorhexidine gluconat solution and sodium hypochlorite solution as root canal irrigants.

J Endod 1982;8:200-204

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

Sabala CL, Powell SE. Sodium hypochlorite injection into periapical tissues.

J Endod 1989;15:490-492

Scelza M, Antoniazzi J, Scelza P. Efficacy of final irrigation – a scanning electron microscopic evaluation.

J Endod 2000;26:355-358

Schäfer E, Hickel R, Geurtsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Raab W. Wurzelkanalaufbereitungen. Gemeinsame Stellungnahme DGZMK/ DGZ

Dtsch Zahnärztl Z 2000;55:719-721

Schäfer E, Bössmann K. Antimicrobial effects of camphorated chloroxylenol (ED 84) in the treatment of infected root canals.

J Endod 1999;25:547-551

Schäfer E, Bössmann K. Antimicrobial efficacy of chloroxylenol and chlorhexidine in the treatment of infected root canals.

Am J Dent 2001;14:233-237

Schäfer E, Bössmann K. Antimicrobial efficacy of chlorhexidine and two calcium hydroxide formulations against *Enterococcus faecalis*.

J Endod 2005;31:53-56

Schoop U, Moritz A, Kluger W, Patruta S, Goharkhay K, Sperr W, Wernisch J, Gattlinger R, Mrass P, Georgopoulos A. The Er:YAG laser in endodontics: results of an in vitro study.

Lasers Surg Med 2002;30:360-364

Schwarze T, Geurtsen W. In-vitro Studie zur Kristallausbildung bei chemischer Wurzelkanalaufbereitung.

Dtsch Zahnärztl Z 1995;50:790-792

Sedgley CM, Applegate B, Nagel AC, Hall D. Real-time imaging and quantification of bioluminescent bacteria in root canals in vitro.

J Endod 2004;30:893-898

Sedgley CM, Nagel AC, Hall D, Applegate 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

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

Sen BH, Wesselink PR, Türkün M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy.

Int Endod J 1995;28:141-148

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

Serper A, Özbek M, Çalt S. Accidental sodium hypochlorite-induced skin injury during endodontic treatment.

J Endod 2004;30:180-181

Shabahang S, Torabinejad M. Effect of MTAD on Enterococcus faecalis-contaminated root canals of extracted human teeth.

J Endod 2003;29:576-579

Siqueira JF Jr, da Silva CH, Cerqueira M das D, de Uzeda M. Effectiveness of four chemical solutions in eliminating Bacillus subtilis spores on gutta-percha cones.

Endod Dent Traumatol 1998;14:124-126

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

Spangberg L, Engström B, Langeland K. Biologic effects of dental materials. III. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1973;36:856-871

Solovyeva AM, Dummer PMH. Cleaning effectiveness of root canal irrigation with electrochemically activated anolyte and catholyte solutions: a pilot study.

Int Endod J 2000;33:494-504

Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjögren U. Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative retreatment.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1998;85:86-93

Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. Efficacy of Er:YAG Laser irradiation in removing debris and smear layer on root canal wall.

J Endod 1998;24:548-551

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 J 1999;32:32-39

Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Radiol Endod 2002;94:658-666

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 2003a;29:171-175

Torabinejad M, Cho Y, Khademi A, Bakland LK, Shabahang S. The Effect of Various Concentrations of Sodium Hypochlorite on the Ability of MTAD to Remove the Smear Layer.

J Endod 2003b;29:233-239

Türkün 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

Vahdaty A, Pitt Ford TR, Wilson RF. Efficacy of chlorhexidine in disinfecting dentinal tubules in vitro.

Endod Dent Traumatol 1993;9:243-248

Weis MV, Parashos P, Messer HH. Effect of obturation technique on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration.

Int Endod J 2004;37:653-663

Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning.

J Endod 1980;6:740-743

Wennberg A, Ørstavik D. Adhesion of root canal sealers to bovine dentine and gutta-percha. Part 2.

Int Endod J 1990;3:13-19

White RR, Goldman M, Lin PS. The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by plastic filling materials

J Endod 1984;10:558-562

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

Williams S, Goldman M. Penetrability of the smeared layer by a strain of *Proteus vulgaris*.

J Endod 1985;11:385-388

Yamada RS, Armas A, Goldman M, Peck SL. A SEM comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: part 3.

J Endod 1983;9:137-142

Yamashita JC, Tanomaru Filho M, Leonardo MR, Rossi MA, Silva I. SEM study of the cleaning ability of CHX as a root-canal irrigant.

Int Endod J 2003;36:391-394

Yesilsoy C, Whitaker E, Cleveland D, Phillips E, Trope M. Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants.

J Endod 1995;21:513-515

7. ANHANG

7.1. Herstellerverzeichnis

Brand GmbH & Co. KG	Wertheim	Deutschland
Dürr Dental	Bietigheim-Bissingen	Deutschland
Eppendorf	Hamburg	Deutschland
Exakt	Norderstedt	Deutschland
Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG	Lemgo	Deutschland
KaVo Dental GmbH	Biberach/ Riss	Deutschland
Kodak	Stuttgart	Deutschland
Merck	Darmstadt	Deutschland
Merck-Schuchardt	Hohenbrunn	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

7.2.1. Ergebnistabelle

Tabelle 12:

Legende

Zahn = Präparatnummer;

Zahnart: 1 = Frontzähne; 2 = Prämolaren; 3 = Molaren

Behandlung: 1 = Statische Lösungsapplikation; 2 = manuell-dynamische Lösung; 3 = hydrodynamisch-maschinelle Lösung (RinsEndo®)

Abstand (entspricht Entfernung in Mm vom Apex): 2 = 2 mm; 4 = 4 mm; 6 = 6 mm; 8 = 8 mm;

10 = 10 mm (der Abstand 10 mm wurde wegen vieler fehlender Werte in der Auswertung nicht berücksichtigt)

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

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

Penetrationstiefe: Werte in mm

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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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
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

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
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	0,02
31	1	3	4	1	1	0,71
31	1	3	6	1	1	1,43
31	1	3	8	1	1	1,43
31	1	3	10	1	1	1,50
31	1	3	2	2	1	0,12
31	1	3	4	2	1	0,14
31	1	3	6	2	1	1,43
31	1	3	8	2	1	1,00
31	1	3	10	2	1	0,71
31	1	3	2	3	2	0,02
31	1	3	4	3	2	1,00
31	1	3	6	3	2	2,07
31	1	3	8	3	2	1,36
31	1	3	10	3	2	0,36
31	1	3	2	4	2	0,12
31	1	3	4	4	2	0,61
31	1	3	6	4	2	1,64
31	1	3	8	4	2	1,86
31	1	3	10	4	2	1,86
32	1	3	2	1	1	0,00
32	1	3	4	1	1	0,00
32	1	3	6	1	1	0,40
32	1	3	8	1	1	0,46
32	1	3	10	1	1	0,00
32	1	3	2	2	1	0,24

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
32	1	3	4	2	1	0,16
32	1	3	6	2	1	0,64
32	1	3	8	2	1	0,57
32	1	3	10	2	1	0,29
32	1	3	2	3	2	0,00
32	1	3	4	3	2	0,08
32	1	3	6	3	2	0,86
32	1	3	8	3	2	0,93
32	1	3	10	3	2	0,00
32	1	3	2	4	2	0,28
32	1	3	4	4	2	0,04
32	1	3	6	4	2	1,00
32	1	3	8	4	2	1,36
32	1	3	10	4	2	0,21
33	1	3	2	1	1	0,28
33	1	3	4	1	1	0,43
33	1	3	6	1	1	0,00
33	1	3	8	1	1	0,21
33	1	3	10			
33	1	3	2	2	1	0,36
33	1	3	4	2	1	0,21
33	1	3	6	2	1	0,00
33	1	3	8	2	1	0,21
33	1	3	10			
33	1	3	2	3	2	0,08
33	1	3	4	3	2	0,00
33	1	3	6	3	2	0,00
33	1	3	8	3	2	0,14
33	1	3	10			
33	1	3	2	4	2	0,60
33	1	3	4	4	2	1,43
33	1	3	6	4	2	0,29
33	1	3	8	4	2	0,29
33	1	3	10			
34	1	3	2	1	1	0,16
34	1	3	4	1	1	0,29
34	1	3	6	1	1	0,00
34	1	3	8	1	1	0,07
34	1	3	10	1	1	0,21
34	1	3	2	2	1	0,02
34	1	3	4	2	1	0,00
34	1	3	6	2	1	0,00
34	1	3	8	2	1	0,29
34	1	3	10	2	1	0,50
34	1	3	2	3	2	0,02
34	1	3	4	3	2	0,00

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
34	1	3	6	3	2	0,00
34	1	3	8	3	2	0,14
34	1	3	10	3	2	0,36
34	1	3	2	4	2	0,12
34	1	3	4	4	2	1,07
34	1	3	6	4	2	0,32
34	1	3	8	4	2	0,46
34	1	3	10	4	2	0,68
35	1	3	2	1	1	0,00
35	1	3	4	1	1	0,11
35	1	3	6	1	1	0,50
35	1	3	8	1	1	1,36
35	1	3	10	1	1	0,21
35	1	3	2	2	1	0,00
35	1	3	4	2	1	0,07
35	1	3	6	2	1	1,07
35	1	3	8	2	1	0,43
35	1	3	10	2	1	0,21
35	1	3	2	3	2	0,00
35	1	3	4	3	2	1,00
35	1	3	6	3	2	1,00
35	1	3	8	3	2	1,14
35	1	3	10	3	2	1,71
35	1	3	2	4	2	0,00
35	1	3	4	4	2	1,25
35	1	3	6	4	2	1,50
35	1	3	8	4	2	1,57
35	1	3	10	4	2	0,43
36	1	3	2	1	1	0,24
36	1	3	4	1	1	0,00
36	1	3	6	1	1	0,64
36	1	3	8	1	1	0,50
36	1	3	10	1	1	1,14
36	1	3	2	2	1	0,24
36	1	3	4	2	1	0,00
36	1	3	6	2	1	0,68
36	1	3	8	2	1	0,36
36	1	3	10	2	1	0,00
36	1	3	2	3	2	0,60
36	1	3	4	3	2	0,28
36	1	3	6	3	2	0,00
36	1	3	8	3	2	0,00
36	1	3	10	3	2	0,00
36	1	3	2	4	2	0,08
36	1	3	4	4	2	0,08
36	1	3	6	4	2	0,00

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
36	1	3	8	4	2	1,43
36	1	3	10	4	2	0,00
37	1	3	2	1	1	0,24
37	1	3	4	1	1	0,24
37	1	3	6	1	1	0,18
37	1	3	8	1	1	0,43
37	1	3	10	1	1	0,71
37	1	3	2	2	1	0,32
37	1	3	4	2	1	0,16
37	1	3	6	2	1	0,07
37	1	3	8	2	1	0,36
37	1	3	10	2	1	0,64
37	1	3	2	3	2	0,12
37	1	3	4	3	2	0,28
37	1	3	6	3	2	1,14
37	1	3	8	3	2	1,50
37	1	3	10	3	2	1,14
37	1	3	2	4	2	0,12
37	1	3	4	4	2	0,20
37	1	3	6	4	2	0,89
37	1	3	8	4	2	1,21
37	1	3	10	4	2	1,29
38	2	3	2	1	1	0,60
38	2	3	4	1	1	0,00
38	2	3	6	1	1	0,48
38	2	3	8	1	1	1,68
38	2	3	10	1	1	1,50
38	2	3	2	2	1	0,12
38	2	3	4	2	1	0,00
38	2	3	6	2	1	1,36
38	2	3	8	2	1	1,43
38	2	3	10	2	1	0,93
38	2	3	2	3	2	1,20
38	2	3	4	3	2	0,00
38	2	3	6	3	2	1,86
38	2	3	8	3	2	2,43
38	2	3	10	3	2	2,71
38	2	3	2	4	2	0,24
38	2	3	4	4	2	0,00
38	2	3	6	4	2	1,50
38	2	3	8	4	2	2,64
38	2	3	10	4	2	2,64
39	2	3	2	1	1	0,06
39	2	3	4	1	1	0,82
39	2	3	6	1	1	0,04
39	2	3	8			

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
39	2	3	10			
39	2	3	2	2	1	0,12
39	2	3	4	2	1	0,21
39	2	3	6	2	1	0,50
39	2	3	8			
39	2	3	10			
39	2	3	2	3	2	0,04
39	2	3	4	3	2	0,00
39	2	3	6	3	2	0,93
39	2	3	8			
39	2	3	10			
39	2	3	2	4	2	0,02
39	2	3	4	4	2	0,21
39	2	3	6	4	2	0,50
39	2	3	8			
39	2	3	10			
40	2	3	2	1	1	0,21
40	2	3	4	1	1	1,21
40	2	3	6	1	1	1,14
40	2	3	8	1	1	1,36
40	2	3	10	1	1	1,29
40	2	3	2	2	1	0,00
40	2	3	4	2	1	0,00
40	2	3	6	2	1	1,43
40	2	3	8	2	1	1,29
40	2	3	10	2	1	1,43
40	2	3	2	3	2	2,14
40	2	3	4	3	2	2,29
40	2	3	6	3	2	2,36
40	2	3	8	3	2	2,86
40	2	3	10	3	2	2,21
40	2	3	2	4	2	1,64
40	2	3	4	4	2	2,14
40	2	3	6	4	2	2,86
40	2	3	8	4	2	1,21
40	2	3	10	4	2	2,86
41	2	3	2	1	1	0,24
41	2	3	4	1	1	0,29
41	2	3	6	1	1	0,68
41	2	3	8	1	1	1,29
41	2	3	10	1	1	0,86
41	2	3	2	2	1	0,08
41	2	3	4	2	1	1,14
41	2	3	6	2	1	1,04
41	2	3	8	2	1	1,14
41	2	3	10	2	1	1,21

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
41	2	3	2	3	2	0,16
41	2	3	4	3	2	2,11
41	2	3	6	3	2	2,36
41	2	3	8	3	2	1,07
41	2	3	10	3	2	0,50
41	2	3	2	4	2	0,28
41	2	3	4	4	2	1,82
41	2	3	6	4	2	2,04
41	2	3	8	4	2	0,14
41	2	3	10	4	2	2,00
42	3	3	2	1	1	0,72
42	3	3	4	1	1	0,70
42	3	3	6	1	1	0,40
42	3	3	8	1	1	0,64
42	3	3	10			
42	3	3	2	2	1	0,08
42	3	3	4	2	1	0,32
42	3	3	6	2	1	0,24
42	3	3	8	2	1	0,14
42	3	3	10			
42	3	3	2	3	2	0,92
42	3	3	4	3	2	0,56
42	3	3	6	3	2	0,92
42	3	3	8	3	2	2,00
42	3	3	10			
42	3	3	2	4	2	0,32
42	3	3	4	4	2	1,18
42	3	3	6	4	2	1,06
42	3	3	8	4	2	1,14
42	3	3	10			
43	3	3	2	1	1	0,18
43	3	3	4	1	1	0,92
43	3	3	6	1	1	1,36
43	3	3	8	1	1	0,50
43	3	3	10	1	1	0,00
43	3	3	2	2	1	0,04
43	3	3	4	2	1	0,20
43	3	3	6	2	1	0,79
43	3	3	8	2	1	0,64
43	3	3	10	2	1	0,21
43	3	3	2	3	2	0,08
43	3	3	4	3	2	0,00
43	3	3	6	3	2	1,14
43	3	3	8	3	2	0,86
43	3	3	10	3	2	0,82
43	3	3	2	4	2	0,12

Zahn	Zahnart	Behandlung	Abstand	Messstrecke	Orientierung	Penetrationstiefe
43	3	3	4	4	2	0,06
43	3	3	6	4	2	1,07
43	3	3	8	4	2	0,21
43	3	3	10	4	2	1,00
44	3	3	2	1	1	1,00
44	3	3	4	1	1	0,48
44	3	3	6	1	1	0,43
44	3	3	8	1	1	0,54
44	3	3	10			
44	3	3	2	2	1	0,08
44	3	3	4	2	1	0,22
44	3	3	6	2	1	1,29
44	3	3	8	2	1	1,36
44	3	3	10			
44	3	3	2	3	2	0,92
44	3	3	4	3	2	0,32
44	3	3	6	3	2	1,86
44	3	3	8	3	2	2,14
44	3	3	10			
44	3	3	2	4	2	1,08
44	3	3	4	4	2	0,68
44	3	3	6	4	2	1,86
44	3	3	8	4	2	1,21
44	3	3	10			
45	3	3	2	1	1	0,24
45	3	3	4	1	1	0,00
45	3	3	6	1	1	0,43
45	3	3	8	1	1	0,93
45	3	3	10	1	1	0,71
45	3	3	2	2	1	0,00
45	3	3	4	2	1	0,00
45	3	3	6	2	1	0,00
45	3	3	8	2	1	0,21
45	3	3	10	2	1	0,64
45	3	3	2	3	2	0,00
45	3	3	4	3	2	0,00
45	3	3	6	3	2	0,00
45	3	3	8	3	2	0,86
45	3	3	10	3	2	1,43
45	3	3	2	4	2	0,40
45	3	3	4	4	2	0,00
45	3	3	6	4	2	0,93
45	3	3	8	4	2	0,00
45	3	3	10	4	2	0,64

7.2.2. Statistische Test

Die Durchführung der statistischen Tests erfolgte mit SPSS für Windows 10.0 (Fa. SPSS Inc.) (s. 2.9.4. Statistische Auswertung der Ergebnisse). Das Signifikanzniveau wurde mit $p=0,05$ festgelegt.

7.2.2.1. Explorative Datenanalyse

Verarbeitete Fälle

Fälle							
		Gültig		Fehlend		Gesamt	
ORIENTIERUNG		N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
PENETRATION	1 = mesio-distal	420	100,0%	0	,0%	420	100,0%
	2 = oro-vestibulär	420	100,0%	0	,0%	420	100,0%

Tab. 13: Tabellarische Darstellung der verarbeiteten Fälle. Die Penetrationstiefen werden hier nach den Orientierungen der Messrichtung (mesio-distal und oro-vestibulär) aufgeschlüsselt.

Perzentile

Perzentile									
		ORIENTIE	5	10	25	50	75	90	95
Gewichtetes Mittel (Definition 1)	PENETRATION	1	,000	,000	,000	,120	,495	1,176	1,360
		2	,000	,000	,000	,120	,920	1,707	2,108
Tukey-Angelpunkte	PENETRATION	1			,000	,120	,490		
		2			,000	,120	,920		

Tab. 14: Das 50. Perzentil (Median) zeigt den Wert an, bei dem die Hälfte der beobachteten Werte einer Variablen kleiner oder gleich diesem Wert und die Hälfte größer oder gleich diesem Wert ist. Hier stimmt der Median bei beiden Orientierungen (1= mesio-distal und 2= oro-vestibulär) überein.

7.2.2.2. Statistik für Orientierung der Messrichtung

Mann-Whitney-U-Test

Statistik für Test

	PENETRATIONSTIEFE
Mann-Whitney-U	82832,000
Wilcoxon-W	171242,000
Z	-1,562
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,118

Tab. 15: Statistische Untersuchung der beiden Messrichtungen mesial-distal und oral-vestibulär. Der Mann-Whitney-U-Test untersucht, ob 2 unabhängige Stichproben aus der gleichen Grundgesamtheit stammen. Da hier keine signifikanten Unterschiede festzustellen sind, können beide Messrichtungen ohne Unterscheidung in einem Gesamtergebnis verwandt werden.

7.2.2.3. Apikale Extrusion

Kreuztabelle

			EXTRUSION 0	NICHT 1	Gesamt
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	3	12	15
		% von GRUPPE	20,0%	80,0%	100,0%
Gesamt		Anzahl	29	16	45
		% von GRUPPE	64,4%	35,6%	100,0%

Tab. 16: Verteilung der Häufigkeiten der apikalen Extrusion in Gruppe I, II und III.

CHI-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
CHI-Quadrat nach Pearson	19,397	2	,0001
Likelihood-Quotient	20,001	2	,0001
Zusammenhang linear-mit-linear	14,224	1	,0001
Anzahl der gültigen Fälle	45		

Tab. 17: Der CHI-Quadrat-Test zeigt ein hochsignifikantes Ergebnis der zugrunde liegenden Kreuztabelle (s. Tab. 16).

7.2.2.4. Apikale Anfärbung**Kreuztabelle**

			ANFÄRBUNG 0	NICHT 1	Gesamt
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	2	13	15
		% von GRUPPE	13,3%	86,7%	100,0%
Gesamt	Anzahl	23	21	44	
	% von GRUPPE	52,3%	47,7%	100,0%	

Tab 18: Verteilung der Häufigkeiten in den Gruppen I, II, und III bezogen auf die apikale Anfärbung des Apex mit gefärbter Spüllösung.

CHI-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
CHI-Quadrat nach Pearson	15,751	2	,0001
Likelihood-Quotient	17,452	2	,0001
Zusammenhang linear-mit-linear	14,968	1	,0001
Anzahl der gültigen Fälle	44		

Tab. 19: Der CHI-Quadrat-Test zeigt ein hochsignifikantes Ergebnis der zugrunde liegenden Kreuztabelle (s. Tab. 18).

7.2.2.5. Statistik für die Schnittebenenvergleiche der Penetrationstiefen innerhalb der Gruppen

Gruppe I Statistik für Wilcoxon-Test

	4 mm - 2 mm	6 mm- 2 mm	8 mm- 2 mm	6 mm- 4 mm	8 mm- 4 mm	8 mm- 6 mm
Z	-,291	-3,746	-4,863	-3,724	-4,863	-4,825
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,7710	,0001	,0001	,0001	,0001	,0001

Tab. 20: Vergleich der Schnittebenen in Gruppe I. Der Wilcoxon-Test zeigt hochsignifikante Ergebnisse mit Ausnahme der Schnittebenen 2 und 4 mm, die keine Signifikanzen erreichen.

Gruppe II Statistik für Wilcoxon-Test

	4 mm- 2 mm	6 mm- 2 mm	8 mm- 2 mm	6 mm- 4 mm	8 mm- 4 mm	8 mm- 6 mm
Z	-4,546	-5,444	-6,452	-5,444	-6,452	-6,394
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,0001	,0001	,0001	,0001	,0001	,0001

Tab. 21: Vergleich der Schnittebenen in Gruppe II. Der Wilcoxon-Test zeigt für alle Schnittebenen hochsignifikante Ergebnisse.

Gruppe III Statistik für Wilcoxon-Test

	4 mm - 2 mm	6 mm- 2 mm	8 mm- 2 mm	6 mm- 4 mm	8 mm- 4 mm	8 mm- 6 mm
Z	-5,256	-6,201	-6,394	-6,155	-6,394	-6,282
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,0001	,0001	,0001	,0001	,0001	,0001

Tab. 22: Vergleich der Schnittebenen in Gruppe III. Der Wilcoxon-Test zeigt für alle Schnittebenen hochsignifikante Ergebnisse.

7.2.2.6. Statistik für den Gruppenvergleich der Penetrationstiefen auf den Schnittebenen

2 mm Statistik für Wilcoxon-Test

	GR2 - GR1	GR3 - GR2	GR3 - GR1
Z	-2,536	-6,223	-6,221
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,0110	,0001	,0001

Tab. 23: Direkter Gruppenvergleich auf der Schnittebene 2 mm. Nach dem Wilcoxon-Test unterscheiden sich alle Gruppen signifikant voneinander.

4 mm Statistik für Wilcoxon-Test

	GR2 - GR1	GR3 - GR1	GR3 - GR2
Z	-4,628	-5,712	-5,713
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,0060	,0001	,0001

Tab. 24: Direkter Gruppenvergleich auf der Schnittebene 4 mm. Nach dem Wilcoxon-Test unterscheiden sich alle Gruppen hochsignifikant.

6 mm Statistik für Wilcoxon-Test

	GR2 - GR1	GR3 - GR1	GR3 - GR2
Z	-5,443	-6,155	-6,156
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,0080	,0001	,0001

Tab. 25: Direkter Gruppenvergleich auf der Schnittebene 6 mm. Nach dem Wilcoxon-Test unterscheiden sich alle Gruppen hochsignifikant.

8 mm Statistik für Wilcoxon-Test

	GR2 - GR1	GR3 - GR1	GR3 - GR2
Z	-6,453	-6,394	-6,395
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,0001	,0001	,0040

Tab. 26: Direkter Gruppenvergleich auf der Schnittebene 8 mm. Nach dem Wilcoxon-Test unterscheiden sich alle Gruppen hochsignifikant.

7.2.2.7. Statistik für die durchschnittliche Eindringtiefe

Statistik für Wilcoxon-Test Gruppenvergleich

	GR2 - GR1	GR3 - GR2	GR3 - GR1
Z	-1,604	-1,461	-1,461
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,109	,144	,144

Tab. 27: Dieser Test vergleicht die durchschnittlichen Eindringtiefen zwischen den Gruppen I, II und III. Es sind keine Signifikanzen festzustellen.

7.2.2.8. Gruppenvergleich aller Werte auf allen Ebenen

Statistik für Wilcoxon-Test

	GR2 - GR1	GR3 - GR1	GR3 - GR2
Z	-5,336	-10,902	-7,948
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,0001	,0001	,0001

Tab. 28: Vergleich der Gruppen I, II und III ohne Berücksichtigung der Schnittebenen. Auch hier zeigt der Wilcoxon Test hochsignifikante Unterschiede.

7.2.2.9. Gruppenvergleich bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke

Gruppe I

Kreuztabelle

		ANFÄRBUNG				Gesamt
		Keine Anfärbung	Wand	<= 50%	>50%	
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 29: Verteilung der Häufigkeiten in Gruppe I auf den Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm bezogen auf die Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke.

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. 30: Der CHI-Quadrat-Test zeigt ein hochsignifikantes Ergebnis der zugrunde liegenden Kreuztabelle (s. Tab. 29).

Gruppe II

Kreuztabelle

		ANFÄRBUNG				Gesamt
		Keine Anfärbung	Wand	<= 50%	> 50%	
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 31: Verteilung der Häufigkeiten in Gruppe II auf den Schrittebenen 2, 4, 6 und 8 mm bezogen auf die Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke.

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. 32: Der CHI-Quadrat-Test zeigt ein hochsignifikantes Ergebnis der zugrunde liegenden Kreuztabelle (s. Tab. 31).

Gruppe III

Kreuztabelle

		ANFÄRBUNG				Gesamt
		Keine Anfärbung	Wand	<= 50%	>50%	
ABSTAND	2	0	12	2	1	15
	4	1	4	8	2	15
	6	1	1	7	6	15
	8	0	2	7	5	14
Gesamt		2	19	24	14	59

Tab 33: Verteilung der Häufigkeiten in Gruppe III auf den Schnittebenen 2, 4, 6 und 8 mm bezogen auf die Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke.

CHI-Quadrat-Tests

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
CHI-Quadrat nach Pearson	25,974	9	,002
Likelihood-Quotient	26,828	9	,001
Zusammenhang linear-mit-linear	11,858	1	,001
Anzahl der gültigen Fälle	59		

Tab. 34: Der CHI-Quadrat-Test zeigt ein hochsignifikantes Ergebnis der zugrunde liegenden Kreuztabelle (s. Tab. 33).

7.2.2.10. Vergleich der Schnittebenen bezüglich der Eindringtiefe in Relation zur Dentinstärke

Schnittebene 2 mm

Kreuztabelle:

		ANFÄRBUNG				Gesamt
		Keine Anfärbung	Wand	<= 50%	>50%	
GRUPPE	I	7	8	0	0	15
	II	6	9	0	0	15
	III	0	12	2	1	15
Gesamt		13	29	2	1	45

Tab. 35: Verteilung der Häufigkeiten auf der Schnittebene 2 mm 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	13,512	6	,036
Likelihood-Quotient	18,086	6	,006
Zusammenhang linear-mit-linear	10,318	1	,001
Anzahl der gültigen Fälle	45		

Tab. 36: Der CHI-Quadrat-Test zeigt ein signifikantes Ergebnis der zugrunde liegenden Kreuztabelle (s. Tab. 35).

Schnittebene 4mm**Kreuztabelle:**

		ANFÄRBUNG				Gesamt
		Keine Anfärbung	Wand	<= 50%	>50%	
GRUPPE	I	8	7	0	0	15
	II	5	8	1	1	15
	III	1	4	8	2	15
Gesamt		14	19	9	3	45

Tab. 37: Verteilung der Häufigkeiten auf der Schnittebene 4 mm 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	21,321	6	,002
Likelihood-Quotient	23,964	6	,001
Zusammenhang linear-mit-linear	15,137	1	,000
Anzahl der gültigen Fälle	45		

Tab. 38: Der CHI-Quadrat-Test zeigt ein signifikantes Ergebnis der zugrunde liegenden Kreuztabelle (s. Tab. 37).

Schnittebene 6 mm**Kreuztabelle:**

		ANFÄRBUNG				Gesamt
		Keine Anfärbung	Wand	<= 50%	>50%	
GRUPPE	I	8	3	2	2	15
	II	5	5	2	3	15
	III	1	1	7	6	15
Gesamt		14	9	11	11	45

Tab. 39: Verteilung der Häufigkeiten auf der Schnittebene 6 mm 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	14,861	6	,021
Likelihood-Quotient	15,629	6	,016
Zusammenhang linear-mit-linear	9,621	1	,002
Anzahl der gültigen Fälle	45		

Tab. 40: Der CHI-Quadrat-Test zeigt ein hochsignifikantes Ergebnis der zugrunde liegenden Kreuztabelle (s. Tab. 39).

Schnittebene 8mm**Kreuztabelle:**

		ANFÄRBUNG				Gesamt
		Keine Anfärbung	Wand	<= 50%	>50%	
GRUPPE	I	4	6	3	2	15
	II	0	7	5	3	15
	III	0	2	7	5	14
Gesamt		4	15	15	10	44

Tab. 41: Verteilung der Häufigkeiten auf der Schnittebene 8 mm 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	13,780	6	,032
Likelihood-Quotient	15,001	6	,020
Zusammenhang linear-mit-linear	8,635	1	,003
Anzahl der gültigen Fälle	44		

Tab. 42: Der CHI-Quadrat-Test zeigt ein signifikantes Ergebnis der zugrunde liegenden Kreuztabelle (s. Tab. 41).