

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung  
und Präventive Zahnheilkunde  
Zentrum für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde  
Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf  
Direktorin Prof. Dr. Ursula Platzer

# **Effektivität der hydrodynamischen und der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung im In-vitro-Vergleich**

## **Dissertation**

Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin  
der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg vorgelegt von

Saskia Altenhof  
aus Wuppertal

Hamburg 2009

Angenommen von der Medizinischen Fakultät  
der Universität Hamburg am: 11.11.09

Veröffentlicht mit Genehmigung

der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. U. Schiffner

Prüfungsausschuss: 2. Gutachter/in: Prof. Dr. H.-J. Gülzow

Prüfungsausschuss: 3. Gutachter/in: Prof. Dr. G. Heydecke

Für meine Eltern

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>I</b>
<b>ABKÜRZUNGEN</b>	<b>III</b>
<b>1 EINLEITUNG UND ARBEITSHYPOTHESE</b>	<b>1</b>
<b>2 LITERATURÜBERSICHT</b>	<b>4</b>
2.1 Erkrankungen der Pulpa	4
2.2 Mikrobiologische Aspekte	5
2.3 Wurzelkanalbehandlung	7
<b>3 MATERIAL UND METHODE</b>	<b>20</b>
3.1 Instrumentarium	20
3.2 Mikroorganismen	24
3.3 Auswahl und Vorbereitung des Zahnmaterials	25
3.4 Desinfektion und bakterielle Kontamination	27
3.5 Vorversuch	30
3.6 Versuch 1: Kontamination mit <i>E. faecalis</i> / Beurteilung der mechanischen Wirkung der verschiedenen Wurzelkanal-Spülmethoden	32
3.7 Versuch 2: Kontamination mit <i>E. faecalis</i> / Beurteilung der chemischen Wirkung verschiedener Wurzelkanalspülungen	37
3.8 Versuch 3: Kontamination mit einer aeroben Mischkultur / Beurteilung der chemischen Wirkung verschiedener Wurzelkanalspülungen	41
3.9 Versuch 4: Kontamination mit einer anaeroben Mischkultur / Beurteilung der chemischen Wirkung verschiedener Wurzelkanalspülungen	43
3.10 Auswertung und Statistik	45

---

<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>47</b>
4.1	Versuch 1: Kontamination mit <i>E. faecalis</i> / Beurteilung der chemischen Wirkung verschiedener Wurzelkanalspülungen	47
4.2	Versuch 2 - 4: Kontamination mit unterschiedlichen Keimfloren / Beurteilung der chemischen Wirkung verschiedener Wurzelkanalspülungen	50
4.3	Zusammenfassung und Vertiefung der Ergebnisse	56
<b>5</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>59</b>
5.1	Diskussion der Methode	59
5.2	Diskussion der Ergebnisse	64
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>72</b>
<b>8</b>	<b>ANHANG</b>	<b>84</b>
<b>9</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>87</b>
<b>10</b>	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>88</b>
<b>11</b>	<b>ERKLÄRUNG</b>	<b>90</b>

## Abkürzungen

CHX	Chlorhexidindiglukonat
E.	Enterococcus
Er:YAG-Laser	Erbium:Yttrium-Aluminium-Granat-Laser
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ISO	International Organisation for Standardization
KBE	Koloniebildende Einheit
Nd:YAG-Laser	Neodym:Yttrium-Aluminium-Granat-Laser

# 1 Einleitung und Arbeitshypothese

Noch bis ins 20. Jahrhundert hinein waren Extraktionen die Haupttherapiemaßnahme bei akuten Zahnschmerzen. Dank verschiedener Neuerungen bei der Füllungstherapie, der Endodontologie, der Parodontologie, aber auch in der Prävention, kann heute jedoch immer häufiger der funktionstüchtige Erhalt von Zähnen gewährleistet werden. Besonders die Endodontologie, die sich mit der Anatomie, Pathologie und Therapie des Pulpa-Dentin-Komplexes befasst, erlangt einen immer höheren Stellenwert in der zahnmedizinischen Therapie. So ist die Anzahl an Wurzelkanalbehandlungen bzw. Wurzelkanalfüllungen in den alten Bundesländern in den Jahren 1970-2000 von 3,2 Millionen auf 6,8 Millionen gestiegen, während die Zahl der Extraktion von 17 Millionen auf 11,5 Millionen gesunken ist (HELLWIG et al. 2003). In den USA stieg die Zahl applizierter Wurzelkanalfüllungen in den Jahren 1969 bis 2000 von 6 Millionen auf ca. 30 Millionen (KLIMM 2003). Trotz bedeutender Fortschritte werden jedoch gerade auf dem Gebiet der Endodontologie immer noch Misserfolge verzeichnet. In der „Washington Studie“ von INGLE et al. (1994) wurde eine Erfolgsrate endodontischer Behandlungen von 95% beschrieben. Langzeiterfolge für Wurzelkanalbehandlungen werden in der internationalen Literatur durchschnittlich mit 70-95% angegeben (HELLWIG et al. 2003). Dies kann damit begründet werden, dass ein Ziel während der Wurzelkanalbehandlung, annähernde Keimfreiheit innerhalb des Wurzelkanals zu erreichen, trotz moderner Technologien nicht immer gewährleistet werden kann (BYSTRÖM u. SUNDQVIST 1981, SABINS et al. 2003). So konnten z.B. NAIR et al. (2005) in einer In-vivo-Studie nachweisen, dass trotz lege artis durchgeführter Wurzelkanalbehandlungen mit Hand- und rotierenden Instrumenten sowie Wechsellösungen mit 5,25%iger NaOCl-Lösung und 17%igem EDTA in 90% der Fälle nach einer Wurzelspitzenresektion in dem Kanalsystem der Resektate Keime nachgewiesen werden konnten. *E. faecalis*, ein fakultativ anaerober Keim, wird am häufigsten mit Misserfolgen in der Endodontie in Zusammenhang gebracht (KLIMM 2003,

HEPPELER u. HÜLSMANN 2006). Er ist hitzeresistent, dringt tief in die Dentintubuli ein und ist unempfindlich gegenüber herkömmlichen Desinfektionsmitteln (ØRSTAVIK u. HAAPASALO 1990, WALTIMO et al. 2000, PATAKY et al. 2002).

Zur Keimreduktion im Wurzelkanalsystem dienen chemomechanische Behandlungsmaßnahmen. Die mechanische Desinfektion stützt sich auf die Wurzelkanalaufbereitung mit Handinstrumenten oder maschinellen Aufbereitungshilfen, während die chemische Desinfektion durch Spüllösungen erreicht wird. Den hohen Stellenwert der Wurzelkanalspülung in der Keimreduktion zeigt eine Studie von BAKER (1975), in der nachgewiesen wurde, dass der Reinigungseffekt ohne Spüllösung um etwa 70% reduziert ist. Die Applikation dieser Lösungen kann ebenfalls manuell oder maschinell, z.B. mittels schall- oder ultraschallgestützter sowie hydrodynamischer Systeme erfolgen.

Durch mechanische Unterstützung kann die keimreduzierende Wirkung von Wurzelkanalspülungen intensiviert werden (CUNNINGHAM u. MARTIN 1982, GULDENER u. ROCKE 1987, STAMOS et al. 1987, VELVART 1987, HUQUE et al. 1998, SABINS et al. 2003, LEE et al. 2004, GUTARTS et al. 2005, VAN DER SLUIS et al. 2006). Das Wirkprinzip der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung beruht auf den Phänomenen der Kavitation, des „microstreamings“ und der Erwärmung der Spülflüssigkeit, die durch hochfrequente Schwingungen der Feilenspitze hervorgerufen werden (AHMAT et al. 1988, LUMELY et al. 1991, KLIMM 2003, TULUS u. SCHULZ-BONGERT 2004). Die hydrodynamische Wurzelkanalspülung erhöht die antibakterielle Wirksamkeit von Spülflüssigkeiten durch den Saug-Spül-Effekt, bei dem ein Gemisch aus Luft und Spülflüssigkeit gebildet wird, das tief in die Dentintubuli des Wurzelkanals befördert werden kann (HAUSER 2006). Hierdurch soll eine besonders gute Desinfektionswirkung im Wurzelkanal erzielt werden.



Das Ziel dieser In-vitro-Studie ist es, die Effektivität hydrodynamischer und ultraschallgestützter Wurzelkanalspülungen bei der Desinfektion von Wurzelkanälen miteinander und mit manueller Spülung zu vergleichen, nachdem die Kanäle zuvor mit *E. faecalis* und anaeroben bzw. aeroben Mischkulturen infiziert wurden. Der Studie liegt die Hypothese zugrunde, dass das hydrodynamische Wurzelkanalspülssystem eine erhöhte antimikrobielle Wirksamkeit gegenüber der manuellen sowie der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung aufweist.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Erkrankungen der Pulpa

Die Irritation pulpalen Gewebes kann unterschiedliche Ursachen haben (Tabelle 1):

	<b>Ursachen endodontaler Erkrankungen</b>
<b>1</b>	Karies
<b>2</b>	Kavitätenpräparationen
<b>3</b>	Füllungsmaterialien
<b>4</b>	Bakterielle Invasion (im Bereich von Restaurationen)
<b>5</b>	Traumata
<b>6</b>	Dentinexpositionen

**Tabelle 1 Ursachen von endodontalen Erkrankungen (PITT FORD 2004)**

Eine Pulpitis wird in erster Linie durch eine kariesbedingte mikrobielle Invasion des Pulpa-Dentin-Komplexes verursacht (NOLDEN 1994, KLIMM 2003, GOMES et al. 2004). Schon oberflächliche kariöse Läsionen können in der Pulpa degenerative Veränderungen hervorrufen. Sicher ist, dass der Pulpa-Dentin-Komplex keinen mikrobiellen, physikalischen und chemischen Noxen ausgesetzt ist, solange er von intaktem Schmelz und Zement umgeben ist (KLIMM 2003). Ob es bereits bei Schmelzkaries zu Pulpaveränderungen kommen kann, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Eine degenerative Veränderung des Pulpagewebes tritt auf, sobald sich Bakterien am peripheren Ende der Dentintubuli manifestiert haben (GULDENER u. LANGELAND 1993, KLIMM 2003). Eine Pulpitis kann reversibel sein, solange das kariöse Dentin ohne Eröffnung der Pulpa vollständig entfernt werden kann (GULDENER u. LANGELAND 1993).

Diagnostisch zeigt sie sich häufig durch eine eher kurze Schmerzanamnese, die vor allem durch Kälte oder elektrischen Reiz gesteigert wird (KLIMM 2003). Kommt es jedoch zur unmittelbaren Penetration von Bakterien in die Pulpa, resultiert eine irreversible Pulpitis (KLIMM 2003). In diesem Fall liegen bereits größere Gewebseinschmelzungen und nekrotisches Gewebe vor. Die Schmerzanamnese ist länger, Schmerzen können durch Applikation von Wärme provoziert werden, treten gehäuft nachts auf und können spontan, aber auch provoziert sein (KLIMM 2003). Eine apikale Parodontitis zeichnet sich dadurch aus, dass sich der Entzündungsprozess über den Apex hinaus bis in das periapikale Gewebe erstreckt. Dies kann zu Resorption des den Apex umgebenden Knochens und zur reaktiven Bildung von Granulomen oder Zysten führen (HELLWIG et al. 2003). Röntgenologisch sind ein erweiterter Parodontalspalt oder eine apikale Aufhellung charakteristisch.

## **2.2 Mikrobiologische Aspekte**

Bei den Erkrankungen der Pulpa handelt es sich zumeist um Mischinfektionen mit bis zu  $10^8$  koloniebildenden mikrobiellen Einheiten (KANTZ u. HENRY 1974, FABRICIUS et al. 1982, BYSTRÖM u. SUNDQVIST 1983, SUNDQVIST et al. 1989, SOBOTTKA et al. 2002, CACHOVAN et al. 2003), wobei diese aufgrund eines sauerstoffarmen Milieus in den Wurzelkanälen von Anaerobiern und fakultativen Anaerobiern dominiert werden (BAUMGARTNER u. FALKLER 1991, LOVE u. JENKINSON 2002, CARSON et al. 2005). Gehäuft treten schwarz pigmentierte Bakterien der Gattungen *Porphyromonas*, *Prevotella*, *Actinomyces*, *Fusobacterium* sowie *Veillonella* auf (NISENGARD et al. 1994, BRAUNER u. CONRADS 1995, ASSED et al. 1996, BAE et al. 1997, BAUMGARTNER et al. 1999, PITT FORD 2004). Die Zusammensetzung der pathogenen Flora innerhalb des Wurzelkanals kann in Beziehung zu klinischen Aspekten der Erkrankung stehen. So korreliert zum Beispiel die Größe der apikalen Knochenläsion mit der Anzahl der Mikroorganismen im Kanal (BYSTRÖM et al. 1987). Die

Besiedlungsfolge steht in direktem Zusammenhang mit dem intrakanalären Sauerstoffangebot. In der frühen Wurzelkanalflora werden vorwiegend Aerober und fakultative Anaerobier, später, infolge ihres Sauerstoffverbrauchs, zunehmend auch obligate Anaerobier beobachtet (SIQUEIRA et al. 2002, KLIMM 2003).

Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich unter anderem mit der Desinfektion von mit *E. faecalis* infizierten Wurzelkanälen, einem fakultativen Anaerobier, der eine Sonderstellung in der Pathogenese der endodontischen Erkrankungen einnimmt. *E. faecalis* wird mit erfolglosen Wurzelkanalbehandlungen in Verbindung gebracht (BYSTRÖM u. SUNDQVIST 1981, ØRSTAVIK u. HAAPASALO 1990, PATAKY et al. 2002, CHÁVEZ DE PAZ et al. 2003, KLIMM 2003). So konnte SUNDQVIST (1998) *E. faecalis* in 38% von Zähnen nachweisen, die aufgrund einer misslungenen Wurzelkanalbehandlung extrahiert worden waren. In einer weiteren Studie wurde der Keim in 30-64% der Fälle bei einem endodontischen Misserfolg nachgewiesen (HEPPELER u. HÜLSMANN 2006). *E. faecalis* ist in der Lage, tief in die Dentintubuli einzudringen und so trotz chemomechanischer Aufbereitung zu überleben (WALTIMO et al. 2000, LOVE 2001, LYNNE et al. 2003). ØRSTAVIK und HAAPASALO (1990) untersuchten mikrobiologische Eigenschaften von *E. faecalis* an bovinen Frontzähnen. Hierzu fertigten sie zylindrische Dentintestkörper mit einem Kanallumendurchmesser von 2,3 mm an und beimpften sie mit bakteriellen Suspensionen. Sie stellten fest, dass der Keim lediglich 2 Tage benötigte, um die Dentintubuli in ihrer kompletten Länge zu besiedeln. Außerdem wiesen sie nach, dass *E. faecalis* nach komplettem Nahrungsentzug noch mehr als 7 Tage lebensfähig war, während die übrigen getesteten Keime innerhalb von 4 Tagen abstarben (ØRSTAVIK u. HAAPASALO 1990). *E. faecalis* gilt als besonders hitzeresistent. Der Keim kann bei 60°C bis zu 30 min überleben (PATAKY et al. 2002). Diese Beobachtungen sowie eine hohe Resistenz von *E. faecalis* gegenüber herkömmlichen Spüllösungen charakterisieren ihn als "Problemkeim" der Endodontologie (HEPPELER u. HÜLSMANN 2006).

## 2.3 Wurzelkanalbehandlung

### Allgemeines

Die Endodontologie lässt sich in folgende Bereiche gliedern (PITT FORD 2004, Tabelle 2):

	<b>Einteilung endodontologischer Behandlungsgebiete</b>
<b>1</b>	Schmerzdiagnostik
<b>2</b>	Vitalerhalt und Schutz der Pulpa
<b>3</b>	Pulpaüberkappung
<b>4</b>	Pulpotomie
<b>5</b>	Pulpektomie
<b>6</b>	Wurzelkanalbehandlung infizierter Kanäle
<b>7</b>	Operative Eingriffe wie Wurzelspitzenresektion, Hemisektion, Wurzelamputation und Reimplantation

**Tabelle 2 Übersicht über die Teilgebiete der Endodontologie (PITT FORD 2004)**

Das Prinzip einer aseptischen Behandlungsstrategie (Anwendung von Kofferdam, steriles Instrumentarium, intensive, desinfizierende Spülungen, medikamentöse Desinfektion mit Kalziumhydroxid, dichter koronaler Verschluss) ist state of the art (HÜLSMANN 2002, PONG-YING NG 2004). Eine Keimreduzierung wird durch Wurzelkanalaufbereitung, -spülung und medikamentöse Einlage erreicht (BYSTRÖM u. SUNDQVIST 1981).

## **Wurzelkanalaufbereitung**

Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist die Elimination von pulpalen Geweberesten und Mikroorganismen (SCHÄFER et al. 2000, GUERISOLI et al. 2002, CHAVEZ DE PAZ et al. 2003). Durch das „cleaning & shaping“ wird die Reinigung und Formgebung des endodontischen Hohlraumsystems erzielt (SCHILDER 1974, HÜLSMANN 2002, SABINS et al. 2003). Die Wurzelkanalaufbereitung kann manuell sowie maschinell mit rotierenden Instrumenten erfolgen.

Vor über 100 Jahren wurde der Grundstein maschineller Aufbereitungsmethoden von ROLLINS gelegt, der hierzu eine feine Klaviersaite auf ein Winkelstück spannte (HÜLSMANN 2002). Seither wächst die Zahl neu entwickelter Systeme. Die geschichtliche Entwicklung reicht von konventionellen Winkelstücken mit weitestgehend starrem Bewegungsablauf (z.B. Endolift<sup>®</sup>), Instrumenten mit „helikoidalem“ Bewegungsmuster (Canal-Finder-System<sup>®</sup>), Systemen mit rein koronalwärts gerichteten Schabbewegungen (Endoplaner<sup>®</sup>) oder Winkelstücken mit lateralen, „aleatorischen“ Schwingungen (Excalibur-Winkelstück<sup>®</sup>) bis hin zu Instrumenten mit drehmomentbegrenzten Rotationen (Endoflash-System<sup>®</sup>) (HÜLSMANN 2002). Nickel-Titan-Instrumente haben heute nahezu alle anderen maschinell betriebenen Aufbereitungsinstrumente verdrängt. Sie eignen sich aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften besonders gut zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle (SCHÄFER et al. 2000, HÜLSMANN et al. 2001). Durch hohe Bruchfestigkeit, einen geringen Begradigungseffekt auf den Wurzelkanal und den sog. „Memoryeffekt“, der durch hohes Rückstellvermögen eine Flexibilität ohne permanente Deformation gewährleistet, ermöglichen sie eine exakte und sichere Wurzelkanalaufbereitung.

## ***Lasersysteme***

Eine Neuerung in der Technologie der Wurzelkanalaufbereitung bilden Lasersysteme. Die Lasersysteme wurden in den siebziger Jahren eingeführt (PONG-YING NG 2004). Die Erwartungen, die an diese Systeme gestellt werden, sind: großer Dentinabtrag, Entfernung von Belägen und smear layer, Reduktion mikrobieller Besiedelung sowie Versiegelung von Dentinkanälchen (KLIMM 2003, PONG-YING NG 2004). Bei der Wurzelkanalaufbereitung häufig eingesetzte Lasersysteme sind der Nd:YAG-Laser und der Er:YAG-Laser. Der Nd:YAG-Laser erhöht im Vergleich zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung den Reinigungseffekt an der Wurzelkanalwand (LEVY 1992). In einer Studie von KLINKE et al. (1999) zeigte sich eine hochsignifikante Keimreduktion nach Nd:YAG-Laserbehandlung gegenüber der ungelaserten Kontrollgruppe. Auch die antibakterielle Wirkung eines Er:YAG-Lasers konnte nachgewiesen werden (SCHOOP et al. 2002). Allerdings zeigte eine andere Untersuchung, dass der antibakterielle Effekt des Nd:YAG-Lasers dem einer NaOCl-Lösung unterlegen ist (PICCOLOMINI et al. 2002).

Die Wurzelkanalaufbereitung mit Lasersystemen ist noch immer mit erheblichen technischen Problemen und unzureichender Effektivität verbunden (SCHÄFER et al. 2000), sodass der universelle Einsatz von Lasersystemen in der Endodontologie bisher nicht möglich ist (PONG-YING NG 2004). In einer Studie von BAHCALL et al. (1992) verursachte die endodontische Behandlung mit dem Nd:YAG-Laser bei Versuchstieren nekrotische Veränderungen des Desmodonts, Ankylosen und Auflösung von Zement. Der Strahl des Nd:YAG-Lasers wird nur wenig vom Dentin absorbiert (KHABBAZ et al. 2004). Es bleibt schwierig, die komplette Wurzelkanalwand effektiv zu reinigen, da der Laserstrahl nur punktförmig wirksam wird (PONG-YING NG 2004). Ein weiterer Nachteil sind die Unebenheiten der Kanalwandoberfläche, die nach Wurzelkanalaufbereitung mit einem Lasersystem entstehen können. Hauptproblem ist jedoch die Entstehung großer Hitze bei der Verwendung von Lasersystemen (PONG-YING NG 2004). Die „American Association of

Endodontists“ warnt sogar vor temperaturabhängigen Schädigungen des Parodontiums und des Wurzelkanalendents (PONG-YING NG 2004). Auch wenn in einigen Studien ein relativ geringer Temperaturanstieg von nur 0-5°C nach Anwendung von Lasersystemen gemessen wurde, werden weitere Tests und Untersuchungen nötig sein, bevor sich die Lasertechnik in der Endodontologie etabliert (DEUTSCH et al. 2004). Aus diesem Grund sind bis auf weiteres mechanische Aufbereitungstechniken und chemische Verfahren der Keimreduktion von unveränderter Bedeutung.

### **Wurzelkanalspülung**

LEHMANN et al. (1981) konnten zeigen, dass ein größerer Kanaldurchmesser mit einer effektiveren Reinigung korreliert. Die Konsequenz, bei einer endodontischen Behandlung den Wurzelkanal immer möglichst weit aufzubereiten, ist allerdings aufgrund der durch den hohen Hartsubstanzverlust verringerten Stabilität der Zahnwurzel nur mit Einschränkungen zu empfehlen. Im Falle einer infizierten Pulpanekrose durchwandern Bakterien die Dentintubuli bis zu 1,2 mm tief, wodurch eine vollständige Eliminierung durch rein mechanische Methoden unter Beachtung der Wurzelstabilität häufig nicht möglich ist (HÜLSMANN et al. 2001). Laterale Kanäle, apikale Ramifikationen, interne Resorptionen wie auch anatomische Unregelmäßigkeiten können ebenfalls Hindernisse bei der Desinfektion durch mechanische Aufbereitung darstellen (BECKER et al. 2001, TULUS et al. 2004). Folglich sollte jede Wurzelkanalaufbereitung mit einem chemisch-desinfizierenden Verfahren kombiniert werden (BYSTRÖM et al. 1981, BECKER u. WOOLLARD 2001, PATAKY et al. 2002, HÜLSMANN 2004, TULUS u. SCHULZ-BONGERT 2004). Die Anforderungen an Spüllösungen sind (KLIMM 2003, HÜLSMANN 2004):

- antimikrobieller Effekt zur Desinfektion des Endodonts und Elimination spezifischer Keime und Endotoxine im Wurzelkanal.
- Auflösungseffekt von Geweberesten besonders in für eine Instrumentation unzugänglichen Bereichen des Kanalsystems.



- Ausschwemmeffekt von Dentinspänen, die die Instrumentation in der Tiefe des Wurzelkanals blockieren könnten.
- Gleit- und Schmiereffekt, um ein Verkanten des Aufbereitungsinstrumentes zu verhindern und die Gefahr des Instrumentenbruchs zu minimieren.

## ***Überblick über verschiedene Spüllösungen***

### *Natriumhypochlorid*

NaOCl ist die am häufigsten verwendete Spüllösung in der Endodontie, da sie aufgrund ihrer desinfizierenden Eigenschaften sowie gewebe-lösender Wirkung den meisten anderen Spüllösungen überlegen ist (BYSTRÖM u. SUNDQVIST 1983, SHABAHANG u. TORABINEJAD 2003, CARSON et al. 2005). Unumstritten ist, dass NaOCl deutlich höhere keimreduzierende Eigenschaften besitzt als Kochsalzlösung (BYSTRÖM u. SUNDQVIST 1983). So konnten DALTON et al. (1998) mit einer 1,25%igen NaOCl-Lösung in 62% der Fälle Keimfreiheit in den untersuchten Wurzelkanälen erzielen, während es mit 0,9%iger NaCl-Lösung nur in 28% der Fälle gelang.

Die desinfizierende Wirkung von NaOCl ist auf die hohe Konzentration undissoziierter Hypochloritsäure (HClO) zurückzuführen, die an den Sulfatgruppen der bakteriellen Enzyme angreift (MOORER u. WESSELINK 1982, HEPPELER u. HÜLSMANN 2006). Die Fähigkeit von NaOCl, pulpales und nekrotisches Gewebe zu lösen (BECKER u. WOOLLARD 2001), nimmt mit der Konzentration und der applizierten Menge zu (BAKER et al. 1975, HAND et al. 1978, TÜRKÜN u. CENGIZ 1997, HÜLSMANN 2004, CARSON et al. 2005). Demnach ist eine 5,25%ige NaOCl-Lösung effektiver als Lösungen mit Konzentrationen von 2,6%, 1% oder 0,5% (HAND et al. 1978). Aber auch die Temperatur der Spüllösung korreliert mit ihrer Wirksamkeit (HÜLSMANN 2004). So entspricht die Effektivität einer auf 37°C erwärmten 2,6%igen NaOCl-Lösung derjenigen einer 5,2%igen NaOCl-Lösung, die bei Raumtemperatur eingesetzt wird (CUNNINGHAM u. BALEKJIAN 1980).

Chlor ist für die gewebeauflösende Eigenschaft von NaOCl verantwortlich (MOORER u. WESSELINK 1982), allerdings zerfällt es innerhalb von 2 min, was die Forderung nach einem hohen Volumen an Spülflüssigkeit unterstreicht (MOORER u. WESSELINK 1982). Da NaOCl mit Proteinen unter Bildung von Chloramin reagiert, kann es auch Pus und nekrotisches Gewebe lösen (HÜLSMANN 2004).

NaOCl hat zwar einen gewebeauflösenden Effekt, jedoch kann dieser erst nach ausreichend langer Kontaktzeit mit dem Gewebe auftreten. In einer Studie von ANDERSEN et al. (1992) wurde die Auflösung 6,5 mg pulpalen Gewebes mit einer 2%igen NaOCl-Lösung bei 37°C erst nach 2½ h erreicht. Nachteilig ist, dass NaOCl-Lösung nicht den kompletten smear layer lösen kann, da es lediglich organisches Material zersetzt (BECKER u. WOOLLARD 2001). Außerdem kann es in höheren Konzentrationen zytotoxisch wirken. Häufigste Komplikation bei der Anwendung von NaOCl ist die versehentliche Injektion in das periapikale Gewebe (SOLOVYEVA u. DUMMER 2000). Dies kann aufgrund seiner Toxizität zu Schmerzen, postoperativer Schwellung und Nekrosen führen (CYMBLER u. ARDAKANI 1994, JEANSONNE u. WHITE 1994, BECKER u. WOOLLARD 2001, PONG-YING NG 2004).

Die Angaben hinsichtlich der Zytotoxizität von NaOCl variieren in der Literatur. In Konzentrationen von 0,5% wird es weitestgehend als nicht toxisch gegenüber vitalen Geweben eingestuft (BAUMGARTNER u. CUENIN 1992, HÜLSMANN 2004). HÜLSMANN (2001) beschreibt eine zytotoxische Wirkung von NaOCl auf vitales Gewebe ab einer Konzentration von 1%. VELVART (1987) empfiehlt die Verwendung einer 1%igen NaOCl-Lösung, während BEER et al. (1988) eine 2%ige Lösung propagieren. Generell sollte eine Konzentration von NaOCl zwischen 0,5% und 2% einer höher konzentrierten Lösung vorgezogen werden, um die zytotoxische Wirkung möglichst gering zu halten (MOORER u. WESSELINK 1982).

### *Chlorhexidindigluconat*

Chlorhexidindigluconat wirkt in Konzentrationen von ca. 100 ppm bakterizid und besitzt noch bei Konzentrationen von ca. 0,19 ppm bakteriostatische Eigenschaften (HENNESSY 1973). Es hat ein breites antimikrobielles Spektrum (KLIMM 2003) und ist NaOCl in seiner Wirksamkeit gegenüber *E. faecalis* bei vergleichsweise niedriger Konzentration überlegen (GOMES et al. 2003, HÜLSMANN 2003, KLIMM 2003). Allerdings besitzt CHX nicht die Fähigkeit, Gewebe zu lösen (CARSON et al. 2005). JEANSONNE und WHITE (1994) konnten in einer Studie zwar keinen signifikanten Unterschied zwischen 5,25%iger NaOCl und 2%igem CHX bezüglich ihrer antimikrobiellen Wirksamkeit nachweisen, dennoch zeigte sich NaOCl aufgrund seiner gewebe lösenden Eigenschaft überlegen. KLIMM et al. (2001) wiesen eine signifikant höhere antimikrobielle Wirksamkeit von CHX gegenüber *E. faecalis* nach als NaOCl. CHX eignet sich nach beendeter Wurzelkanalaufbereitung für eine abschließende Spülung, da es seine antimikrobiellen Eigenschaften bis zu 21 Tage aufrechterhalten kann (CARSON et al. 2005). Auch als medikamentöse Einlage ist CHX geeignet, da es durch seinen kationischen Charakter an negativ geladenen Flächen adsorbiert und eine Depotwirkung entfalten kann (KLIMM 2003). Hinsichtlich seiner Biokompatibilität sind Konzentrationen von 0,1% bis 2% toxikologisch unbedenklich (YESILSOY et al. 1995). YESILSOY et al. (1995) wiesen durch subkutane Injektion bei Schweinen eine höhere Zytotoxizität von 5,25% NaOCl als von 0,12%igem CHX nach. CHX gilt als besonders geeignete Spüllösung bei Patienten mit einer NaOCl-Allergie (DIENER et al. 2003). Immer häufiger wird seine Anwendung bei orthograden Revisionen endodontologischer Misserfolge empfohlen (HÜLSMANN 2004).

### *Chelatoren*

Chelatoren sind großmolekulare Komplexbildner, die in der Lage sind, selektiv Ionen aus dem Dentin zu binden. Von Bedeutung in der

Endodontologie ist die Chelation von Kalzium aus dem Dentin (HÜLSMANN 2004). EDTA demineralisiert und erweicht Wurzelkanaldentin in einer Tiefe von bis zu 20-50 µm, was die Aufbereitung enger oder stark kalzifizierter Kanäle erleichtern kann (KLIMM 2003). Chelatoren zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, auch den nach der Wurzelkanalaufbereitung auf der Kanalwand liegenden smear layer zu entfernen. Dieser kann die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung herabsetzen und verantwortlich für die Reinfektion des Wurzelkanals sein (HÜLSMANN 2004).

Da bis heute keine Spüllösung in der Lage ist, sowohl Pulpagewebe, Prädentin als auch kalzifiziertes Wurzelentin gleichzeitig zu lösen, wird die Kombination mehrerer Agenzien empfohlen (ÇALT u. SERPER 2000, ZACCARO SCELZA et al. 2000). Durch die alleinige Anwendung von EDTA kann der smear layer nicht vollständig gelöst werden (KLIMM 2003). Da es lediglich den anorganischen Anteil des smear layers löst (ÇALT u. SERPER 2000, BECKER u. WOOLLARD 2001), sollte es mit einer anderen Spüllösung kombiniert werden. Häufig empfohlen wird die Verwendung mit NaOCl, da dieses organische Anteile löst (BYSTRÖM u. SUNDQVIST 1985, CAMERON 1995, ZACCARO SCELZA et al. 2000, BECKER u. WOOLLARD 2001). Die Konzentrationen des verwendeten EDTA sollten zwischen 15 und 24% liegen, um eine akzeptable Entfernung des smear layers und eine Kollagen-Exposition in akzeptabler Zeit zu erreichen (BLOMLÖF et al. 1997).

Auch bezüglich der Lösung von Pulpagewebe weist EDTA eine geringere Effektivität auf (ZACCARO SCELZA et al. 2000). BLOMLÖF et al. (1997) konnten den Verdacht einer toxischen Wirkung von EDTA, verbunden mit dem Hervorrufen einer Wundheilungsstörung, für die angegebenen Konzentrationen und eine Expositionszeit von bis zu 8 min nicht bestätigen. ÇALT und SERPER (2000) wiesen dagegen nach, dass 17%iges EDTA in Kombination mit 5%igem NaOCl zwar in der Lage war, den smear layer vollständig zu entfernen, sich jedoch auch eine Erosion des Wurzelentins in allen Wurzelabschnitten nachweisen ließ. In einer Studie

von BAUMGARTNER und MADER (1987) verursachte die Kombination von EDTA mit NaOCl eine Erweiterung der Dentintubuli von bis zu 4  $\mu\text{m}$ .

### *Elektrochemisch aktivierte Spüllösungen*

Elektrochemisch aktivierte Spüllösungen werden aus Wasser oder Salzlösungen niedriger Konzentration hergestellt. Diese Technologie wurde von dem „All-Russian Institute for Medical Engineering“ entwickelt (SOLOVYEVA u. DUMMER 2000). Sie basiert auf dem Prinzip, Flüssigkeiten über eine Anode bzw. Kathode mithilfe eines Reaktors („Flow-through Electrolytic Module“) in einen metastabilen Zustand zu versetzen (SOLOVYEVA u. DUMMER 2000). Dieser Reaktor besteht aus einer speziell beschichteten Anode (solider Titanzylinder) und einer Kathode (hohler Titanzylinder), die die Anode umgibt. Den metastabilen Zustand der Flüssigkeiten zeichnen hauptsächlich ein veränderter pH-Wert und veränderte Oxidations- und Reduktionspotentiale aus (MARAIS 2000, SOLOVYEVA u. DUMMER 2000). Als Reaktionsprodukt entsteht ein Kation, das sich durch ein hohes oxidatives Potential, antimikrobielle Eigenschaften und einen pH-Wert zwischen 2 und 9 auszeichnet (PONG-YIG NG 2004). Zum anderen wird ein Anion gebildet, welches wie ein Reinigungsmittel wirkt, das ein hohes Reduktionspotential hat und alkalisch ist (PONG-YIG NG 2004). Nach ca. 48 h fällt die Lösung in einen stabilen, inaktiven Zustand zurück (MARAIS 2000, PONG-YIG NG 2004). Dieses Verfahren ist bei gleichzeitiger Biokompatibilität in der Lage, Bakterien abzutöten sowie smear layer und Debris zu entfernen (MARAIS 2000, HATA et al. 2001, GULABIVALA et al. 2004). Ein großer Vorteil ist die fehlende Toxizität gegenüber Geweben (SOLOVYEVA u. DUMMER 2000, HATA et al. 2001). SOLOVYEVA und DUMMER (2000) stellten im In-vitro-Vergleich eine hohe antimikrobielle Wirksamkeit von elektrochemisch aktivierter Lösung fest und wiesen auf eine mit NaOCl vergleichbare Effektivität hin.

## ***Spülverfahren***

### *Manuelle Wurzelkanalspülung*

Die manuelle Wurzelkanalspülung ist die in der Praxis etablierteste Methode. CHOW (1983) verglich den Einfluss verschiedener Parameter, wie den Durchmesser der verwendeten Kanüle und die Tiefe der Nadel im Wurzelkanal, auf die antimikrobielle Effektivität einer Wurzelkanalspülung. Er konnte anhand gläserner Prüfkörper mit standardisierten Wurzelkanälen nachweisen, dass die Effektivität einer manuellen Wurzelkanalspülung durch den Einsatz von Kanülen mit möglichst kleinem Durchmesser erhöht werden kann. Die Nadel soll möglichst weit in den Kanal eingebracht werden, ohne zu verkeilen, und dadurch ein druckfreies Abfließen der Flüssigkeit nach apikal gewährleisten (CHOW 1983). Problematisch ist die Reinigung der apikalen 3 mm des Wurzelkanals, da bei der manuellen Spülung der Reinigungseffekt der Spüllösung kaum über die Länge der Kanüle hinausreicht (CHOW 1983).

### *Schallaktivierte Wurzelkanalspülung*

Schallaktivierte Geräte arbeiten mit einer Frequenz von 1-8 kHz, Ultraschallgeräte mit 25-40 kHz (SABINS et al. 2003). Nach SABINS et al. (2003) und STAMOS et al. (1987) zeigt die schallgestützte Wurzelkanalspülung gegenüber der manuellen Spülung eine signifikant effektivere Keimreduktion. Untersuchungen, die die Effektivität schall- und ultraschallgestützter Wurzelkanalspülungen vergleichen, kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen. SABINS et al. (2003) spülten Wurzelkanäle oberer Molaren nach Aufbereitung manuell, schall- und ultraschallgestützt für jeweils 30 sec bzw. 60 sec. Sie wiesen eine größere Effektivität der schallgestützten Wurzelkanalspülung bei der Entfernung von intrakanalärem Debris gegenüber manueller, konventioneller Spülung nach. Gleichzeitig stellten sie fest, dass die schallgestützte Wurzelkanalspülung der Spülung mit Ultraschall signifikant unterlegen

war. Zu erklären ist dies dadurch, dass durch Kontakt der schwingenden Instrumentenspitze mit der Wurzelkanalwand die Wirkung der schallbetriebenen Spitze stärker gedrosselt wird als die der leistungsfähigeren Ultraschallschallspitze (SABINS et al. 2003). JENSEN et al. (1999), die bei ähnlichem Versuchsaufbau die Wurzelkanäle jeweils 3 min lang spülten, konnten hingegen keinen signifikanten Unterschied zwischen schall- und ultraschallgestützter Wurzelkanalspülung, jedoch eine bessere Reinigung letzterer gegenüber manueller Spülung feststellen.

### *Ultraschallaktivierte Wurzelkanalspülung*

1957 beschrieb RICHMAN erstmalig die Anwendung von Ultraschall in der Endodontologie. Einen dauerhaften Stellenwert in der Endodontologie erlangte die Ultraschalltechnologie erst 1976 nach weiteren Studien von MARTIN (1976). Ultraschallgeräte arbeiten entweder auf elektromagnetischer oder auf piezoelektrischer Basis (KLIMM 2003). Zahlreiche Untersuchungen bestätigen, dass die Anwendung von Ultraschall gegenüber manueller Wurzelkanalspülung die Reinigung der Kanäle verbessert (CUNNINGHAM u. MARTIN 1982, GULDENER u. ROCKE 1987, STAMOS et al. 1987, VELVART 1987, HUQUE et al. 1998, SABINS et al. 2003, LEE et al. 2004). In der Literatur gibt es verschiedene Erklärungen für den verbesserten Reinigungseffekt von Ultraschallsystemen. Demnach sind ein Zusammenwirken der Phänomene Kavitation, Wärmeentwicklung und „akustisches Microstreaming“ ursächlich (KLIMM 2003). Hierunter wird die Verstärkung des Reinigungseffektes verstanden, welche durch einen über die hochfrequente Schwingung der Feile erzeugten Flüssigkeitsstrom erzielt wird (LUMELY et al. 1991, TULUS u. SCHULZ-BONGERT 2004). Aufgrund der Oberflächenspannung folgt der Flüssigkeitsstrom der Feile und kann so optimal in den Kanal gelangen (MARTIN u. CUNNINGHAM 1985).

JENSEN et al. (1999) führten das Verfahren der passiven ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung ein. Sie wiesen nach, dass der

Reinigungseffekt bei der ultraschallgestützten Spülung durch eine freischwingende Instrumentenspitze erhöht wird. Demnach soll die Spitze möglichst keinen Kontakt zu den Wurzelkanalwänden haben (JENSEN et al. 1999, SABINS et al. 2003).

AHMAD et al. (1988) begründeten die gesteigerte Effektivität ultraschallgestützter Wurzelkanalspülung durch das Phänomen der Kavitation. Sie entsteht durch vibrationsbedingte Blasenbildung innerhalb der Flüssigkeit, die bei starker Krafteinwirkung zerplatzen. So kommt es zu submikroskopischen Implosionen und schockartigen Vakuumeffekten, wodurch auch Seitenkanäle gereinigt und Mikroorganismen abgetötet werden (MARTIN u. CUNNINGHAM 1985, HÜLSMANN 2004). Nach HÜLSMANN (2004) ist dieser Effekt allerdings quantitativ zu vernachlässigen.

MARTIN et al. (1985) bezeichneten das Zusammenwirken von Ultraschallschwingungen und Spüllösungen als synergistischen Effekt. GUTARTS et al. (2005) bewiesen in einer In-vivo-Studie, dass der Isthmus mesialer Wurzelkanäle unterer Molaren nach ultraschallgestützter Wurzelkanalspülung signifikant sauberer war als nach konventioneller Spülung. Aufgrund der durch die Aktivierung der Flüssigkeit erhöhten Reinigungskraft können die Spüllösungen, insbesondere NaOCl, in niedrigeren Konzentrationen verwendet werden, wodurch die Gefahr der Zytotoxizität minimiert wird (MARTIN u. CUNNINGHAM 1985). Die ultraschallgestützte Wurzelkanalspülung ist eine wissenschaftlich anerkannte Therapiemaßnahme (HÜLSMANN 2004).

### *Hydrodynamische Wurzelkanalspülung*

Die hydrodynamische Wurzelkanalspülung funktioniert nach einem Druck-Saug-Prinzip. Innerhalb einer Minute wechseln ca. 100 Mal eine Druck- und eine Saugphase ab. Während der Druckphase wird Spülflüssigkeit in den Kanal eingebracht, die während der Saugphase wieder in die Mischkammer eingesaugt und dort mit frischer Flüssigkeit versetzt wird.



Durch den Sog entsteht ein Gemisch aus Luft und Flüssigkeit, das seine Wirkung im Wurzelkanal entfaltet und die Spülflüssigkeit weit in die Dentintubuli befördert. Die Studie von HAUSER (2006) untersuchte die zirkuläre Penetrationstiefe einer eingefärbten NaOCl-Lösung in das Wurzelkanalentin bei Spülung mit dem RinsEndo®-System. Es wurde eine deutlich höhere Eindringtiefe gegenüber der manuellen Wurzelkanalspülung sowie einer Kontrollgruppe bewiesen. Zugleich wurde eine erhöhte apikale Extrusion der Spülflüssigkeit bei Verwendung des hydrodynamischen Systems festgestellt.

## 3 Material und Methode

### 3.1 Instrumentarium

#### Wurzelkanalaufbereitung: M<sub>two</sub> NiTi System

Das M<sub>two</sub> System (VDW<sup>®</sup> Endodontic Synergy, München, Abbildung 1) ist ein rotierendes NiTi-System, dessen Instrumente in den Konizitäten zwischen 4 und 7% vorliegen. Die Feilen weisen zwei Schneiden, die in langen Spiralen geschliffen sind, und eine nicht schneidende Spitze auf.



**Abbildung 1 VDW-System – Handstück und Aufbereitungsinstrument**

Der Schaft der Instrumente ist lediglich 11 mm lang, damit der Zugang zu Molaren erleichtert wird. Das System arbeitet nach dem „Single Length“-Prinzip, das heißt, dass alle Instrumente bis zur Arbeitslänge eingeführt werden. Eine Besonderheit liegt darin, dass die

unterschiedlichen Feilen über verschiedene Konizitäten verfügen. Dadurch soll eine schnellere und effektivere Aufbereitung ermöglicht werden und Raum für das effektive Spülen schaffen. Die Konizitäten der verschiedenen Feilen sind in Tabelle 3 wiedergegeben.

Das System wird mit einem Endomotor (Endo IT professional, VDW® Endodontic Synergy, München) betrieben, der über eine Drehzahl- und eine Drehmomentkontrolle verfügt und blockierende Instrumente automatisch löst.

<b>Größe</b> (ISO-Größen)	<b>Konizität</b> (Prozentangabe)
010	4
015	5
020	6
025	6
030	5
035	4
040	4

**Tabelle 3 Konizität der Feilen des M<sub>two</sub> NiTi-Systems**

### **Wurzelkanalspülung: RinsEndo®**

Die „Hydrodynamische Wurzelkanalspülung“ funktioniert nach dem Druck-Saug-Prinzip. Ein Gerät dieser Technologie ist das RinsEndo®-System (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen). Bestehend aus drei Teilen, dem Handstück, einer Einmalkanüle und einer Einmalspritze, kann das System über einen Turbinenanschluss betrieben werden. Die Einmalkanüle (Ø 0,45 x 12mm) wird auf das Handstück aufgedreht und

verfügt über einen Spritzschutz, der eine Einkerbung für einen chirurgischen Sauger hat und gleichzeitig als Stopp für die Eindringtiefe der Kanüle dient. Als Einmalspritze können konventionelle Systeme beliebiger Größe mit Luer-Anschluss verwendet werden, die auf eine spezielle Halterung am Handstück befestigt werden. Das Handstück besteht aus einer Mischkammer, einem Frequenzgenerator und einem Turbinenanschluss.

Die Funktionsphase wird in eine Druck- und eine Saugphase unterteilt. Diese wechseln sich ca. 100 Mal pro Minute ab und befördern so ca. 6,2 ml/min Spülflüssigkeit in den Wurzelkanal. Während der Druckphase wird 65  $\mu$ l Spülflüssigkeit mit einer Frequenz von 1,6 Hz in den Kanal eingebracht. Während der Saugphase wird Luft und im Wurzelkanal stehende Spülflüssigkeit in die Mischkammer eingesaugt und mit frischer Spülflüssigkeit versetzt.



**Abbildung 2 RinsEndo®**

### **Wurzelkanalspülung: Piezo smart®**

Das Piezo smart® (Mectron, Köln Dellbrück) ist ein piezoelektrisches Ultraschallgerät, das für

- Kanalbohrungen und Wurzelkanalspülungen in der Endodontie
- Zahnbelag- und Zahnsteinentfernung
- Parodontaltherapie zum Scaling und Root-Planing
- retrograde Mikrochirurgie
- Amalgam- und Guttaperchakondensation
- Brücken- und Kronenentfernung
- Brünieren von Goldstopffüllungen

verwendet werden kann.

Das Gerät wird über vier Drucktasten gesteuert und arbeitet in einem Frequenzbereich von 24 – 29,5 kHz. Es verfügt über neun Leistungsstufen. Für endodontische Behandlungen wird das Gerät ausschließlich auf den Stufen 1 und 2 betrieben. Die Flüssigkeitszufuhr wird über zehn Stufen reguliert und beträgt zwischen 17 und 65 ml/min. Das Gerät arbeitet auch ohne Flüssigkeitszufuhr. Es stehen 37 verschiedene Instrumente für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche zur Verfügung.



**Abbildung 3 Piezo smart®**

### 3.2 **Mikroorganismen**

Für die einzelnen Studienabschnitte wurden zur Überprüfung der Effektivität der Wurzelkanalspülungen verschiedene bakterielle Kulturen verwendet. Zum einen handelte es sich um eine *E. faecalis*-Reinkultur, zum anderen um aerobe bzw. anaerobe Mischkulturen (Tabelle 4).

<b>Reinkultur</b>	<b>Aerobe Mischkultur</b>	<b>Anaerobe Mischkultur</b>
- <i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 29212	- <i>Enterococcus faecalis</i> WK 16-1 - <i>Shewanella putrefaciens</i> WK 16-2	- <i>Actinomyces naeslundii</i> WK 3-1 - <i>Bifidobacterium adolescentis</i> WK 3-2 - <i>Peptostreptococcus prevotii</i> WK 3-3 - <i>Eubacterium lentum</i> WK 3-4

**Tabelle 4** Verwendete Mikroorganismen

Die Bakterienstämme der Mischkulturen wurden vom Institut für medizinische Mikrobiologie des Universitätsklinikums Jena zur Verfügung gestellt. Hierbei handelt es sich ursprünglich um Probenmaterial aus wurzelkanalbehandelten Zähnen, bei denen mit Hilfe üblicher Spülmethode keine Keimfreiheit erzielt werden konnte. Zur Probengewinnung waren sterile Papierspitzen (ISO-Größe 40) für 10 s in die Wurzelkanäle eingebracht und anschließend in ein Transportmedium VMGA III (DAHLÉN et al. 1993) überführt worden. Nach Inkubation und Bebrüten auf aeroben bzw. anaeroben Nährmedien waren die Mikroorganismen identifiziert worden.

Die so gewonnenen Bakterien der aeroben Mischkultur waren *E. faecalis* und *Shewanella putrefaciens*. Bei letzterem handelt es sich um ein gram-negatives aerobes Bakterium, das beim Menschen besonders bei Infektionen wie Abszessen, Osteomyelitis, Otitis media, Augeninfektionen, Peritonitis, Cellulitis und Sepsis auftritt (MURRAY et al. 2003). Die Bakterien der anaeroben Mischkultur, *Bifidobacterium adolscentis*, *Eubacterium lentum*, *Actinomyces naeslundii* und *Peptostreptococcus prevotii*, sind alle gram-positive Spezies, die gehäuft in der oralen Flora nachgewiesen werden können (JOUSIMIES-SOMER et al. 2002). Während es sich bei *Peptostreptococcus prevotii* um einen gram-positiven anaeroben Keim handelt, gehören *Bifidobacterium adolscentis*, *Eubacterium lentum* und *Actinomyces naeslundii* zu den Spezies der anaeroben nicht-sporenförmigen Bazillen (JOUSIMIES-SOMER et al. 2002).

### **3.3 Auswahl und Vorbereitung des Zahnmaterials**

Es wurden extrahierte einwurzelige Zähne sowie Oberkiefermolaren verwendet. Von letzteren wurden nur die palatinalen Wurzeln für die Studiendurchführung verwendet. Prämolaren wurden aufgrund des häufigen Vorkommens mehrerer Wurzelkanäle und sehr variabler Wurzelkonfigurationen nicht mit in die Studie einbezogen. Die Extraktionen waren aus unterschiedlichen Indikationen von verschiedenen, nicht beteiligten Behandlern erfolgt. Die Zähne wurden in 0,9%iger NaCl-Lösung in verschließbaren Behältern aus Braunglas gelagert und transportiert.

Bei der Auswahl der Zähne wurden folgende Ausschlusskriterien berücksichtigt (HAUSER 2006):

<b>Ausschlusskriterien</b>
Wurzeln mit weit offenen apikalen Foramina
Wurzeln mit sehr großem Kanallumen
Wurzeln mit starker apikaler Krümmung
Zähne bzw. palatinale Wurzeln mit mehr als einem Wurzelkanal
Bereits wurzelkanalgefüllte Zähne

**Tabelle 5 Ausschlusskriterien des Untersuchungsmaterials**

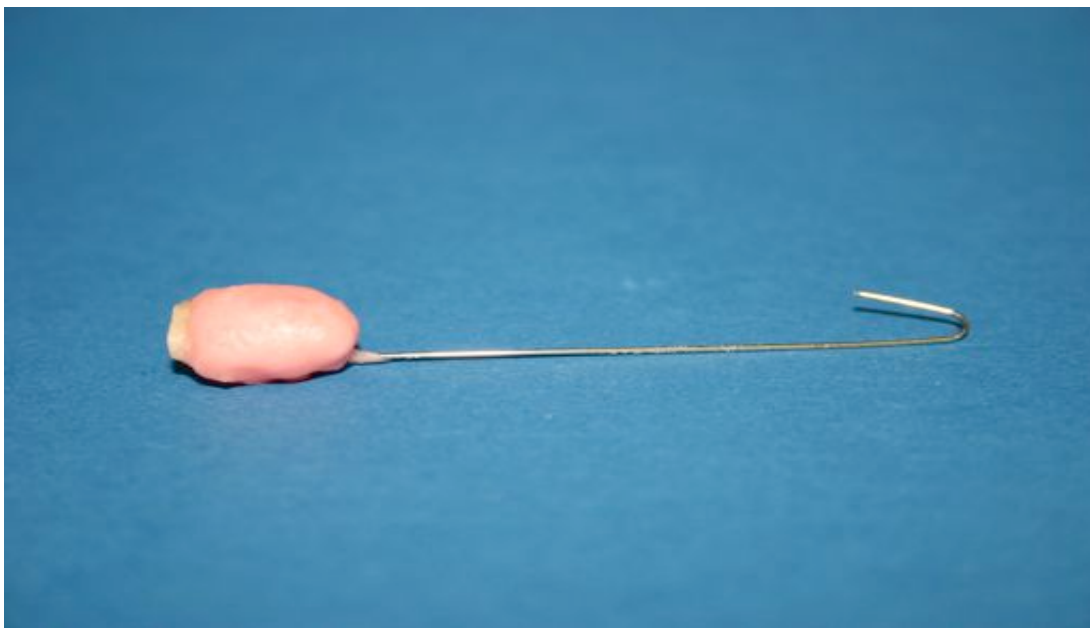
Nach Verwerfen gemäß dieser Kriterien nicht geeigneter Zähne wurden 315 Testzähne mit Handinstrumenten und einem Ultraschallgerät (Bandelin®: Sonorex Super, Berlin) von Geweberesten und Konkrementen befreit. Die Wurzeln wurden an der Schmelz-Zement-Grenze mit einer Säge mit diamantiertem Präzisionssägeblatt (Exact®, Remscheid) bei gleichzeitiger Wasserkühlung von der klinischen Krone auf eine definierte Länge von 15 mm abgetrennt. Anschließend wurde mit K-Feilen der ISO-Größe 10 die Arbeitslänge mittels optischer Beurteilung der Feilenlänge bis zum sichtbaren physiologischen Apex festgelegt. Die Zähne wurden aufsteigend mit Taper 10, -15-, -20-, -25-, -30-, -35- und Taper 40-Feilen maschinell auf die Arbeitslänge aufbereitet. Nach jeder Instrumentengröße wurden die Kanäle mit 1 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung gespült. Pro Feile wurden entsprechend den Herstellerangaben maximal acht Zähne aufbereitet. Im Anschluss wurden die Feilen verworfen.



### **3.4 Desinfektion und bakterielle Kontamination**

#### **Tag 0:**

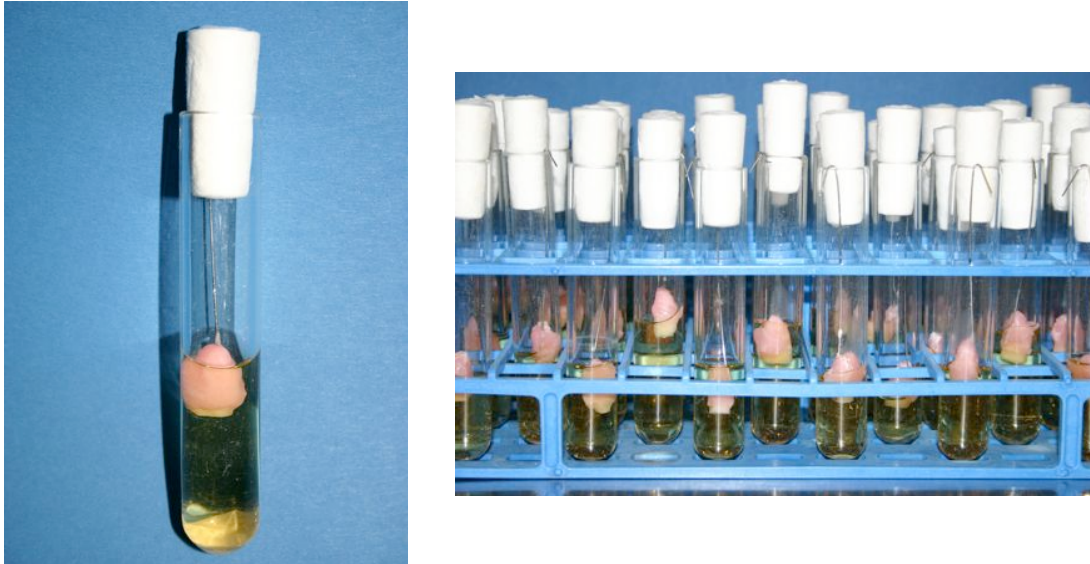
Die Zähne wurden bei Wasserdampf Atmosphäre im Autoklaven 5 min auf 121°C erhitzt. Anschließend wurden die Zahnwurzeln in einer sterilen Werkbank mit einer Schicht Kaltpolymerisat (Selecta Plus<sup>®</sup>, Hanau) überzogen, um die Penetration von Mikroorganismen und Diffusion von Substrat von der Wurzeloberfläche in Richtung Wurzelkanal zu verhindern (Abbildung 4). Die koronale Öffnung des Wurzelkanals wurde mit einem provisorischen Verschlusszement (Cavit<sup>®</sup>, ESPE Dental AG, Seefeld) abgedichtet. Zur Fixierung der Zähne wurde an den Kunststoffüberzug ein Draht der Stärke 0,6 mm anpolymerisiert.



**Abbildung 4 Vorbereitete Zahnwurzel**

Nach vollständiger Polymerisation wurde das Cavit<sup>®</sup> entfernt, und die Zahnwurzel wurde so in ein Reagenzglas eingebracht, dass der Apex zur Glasöffnung zeigte. Um die absolute Keimfreiheit der Zähne zu überprüfen, wurden diese bis auf das Niveau ihrer Kunststoffummantelung in Dextrosebouillon (BioMerieux<sup>®</sup>, Nürtingen)

eingelegt und für 24 h bei 37°C in einem Brutschrank (Forma Scientific<sup>®</sup>, San Bruno, USA) mit CO<sub>2</sub>-Atmosphäre und Wasserdampf inkubiert (Abbildungen 5 und 6).



**Abbildung 5 und 6 In Dextrosebouillon inkubierte Zähne**

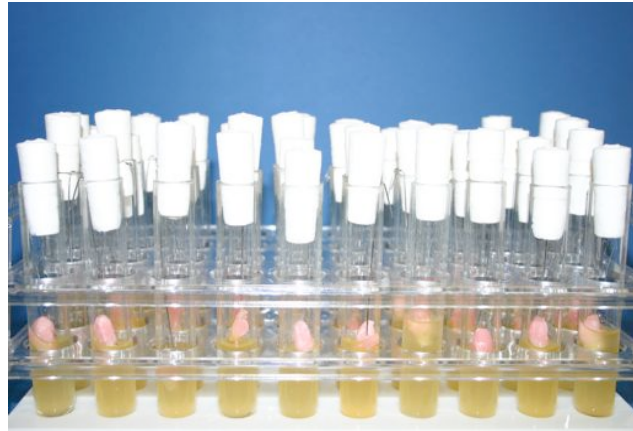
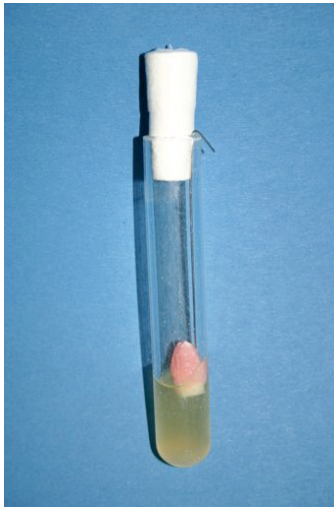
### **Tag 2:**

Absolute Keimfreiheit der Versuchsobjekte wurde durch das Ausbleiben einer Trübung der Dextrosebouillon nachgewiesen. In jedes Reagenzglas wurden dann 100 µl einer bakteriellen Suspension von *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212) zu der vorhandenen Dextrosebouillon pipettiert. Die Proben wurden über Nacht im Brutschrank bei 37°C bebrütet.

### **Tag 3:**

Als Indikator für das bakterielle Wachstum galt eine Trübung der bakteriellen Suspension (Abbildung 7 und 8). Die Suspension wurde mit einer Glaspasteurpipette (Vacusafe<sup>®</sup>: Integra Biosciences, Chur, Schweiz) soweit möglich abgesaugt und durch frische Dextrosebouillon ersetzt. Alle Arbeitsschritte erfolgten in einer sterilen Werkbank (Herasafe<sup>®</sup>: Heraeus

Instruments, Hanau), um eine Kontamination mit Fremdkeimen auszuschließen.



**Abbildung 7 und 8 Mit *E. faecalis* inkubierte Zähne**

**Tag 4-7:**

Die bakterielle Suspension wurde wie oben beschrieben täglich abgesaugt und durch Dextrosebouillon ersetzt.

### **3.5 Vorversuch**

Nach einer Inkubationszeit von 7 Tagen wurden bei randomisierter Verteilung 2 Gruppen mit jeweils 5 Zähnen gebildet. Gruppe 1 diente als Kontrolle, während die Zähne der Gruppe 2 manuell mit 5 ml 0,9%iger NaCl-Lösung gespült wurden. Die Zähne der Kontrollgruppe wurden aus den Reagenzgläsern entnommen, und eine Papierspitze der ISO-Größe 40 wurde bis zur Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingebracht. Nach 30 s wurde die Spitze in ein mit 2 ml 0,9%iger NaCl-Lösung gefülltes Reagenzglas überführt und auf einem Rüttler (Vortex<sup>®</sup>: Janke & Kunkel GmbH & Co. KG, Staufen) für 30 s zur Überführung von Bakterien in die Lösung vibriert. Anschließend wurden 100 µl der Lösung auf eine Blutagarplatte pipettiert und ausgespatelt. Die Platten wurden bei 37°C für 24 h in einem Brutschrank bei CO<sub>2</sub>-Atmosphäre und Wasserdampf inkubiert.

Für die manuelle Spülung wurden die Zähne der Gruppe 2 aus der Dextrosebouillon entnommen und über ein Becherglas gehalten. Eine Einwegspritze (Vol. 5 ml) mit einer sterilen Einwegkanüle (0,4 x 12 mm) wurde bis 1 mm vor der Arbeitslänge in den Kanal eingebracht, und 20 s wurde mit 5 ml 0,9%iger NaCl-Lösung gespült. Durch leichte Auf- und Abwärtsbewegungen der Nadel wurde eine Klemmwirkung verhindert. Danach erfolgte die Trocknung der Oberfläche des Wurzelkanaleingangs mit einem sterilen Wattetupfer. Anschließend wurde eine sterile Papierspitze der ISO-Größe 40 in den Kanal eingebracht und für 30 s belassen. Die Papierspitze wurde in ein mit 2 ml 0,9%iger steriler NaCl-Lösung gefülltes Reagenzglas überführt und für 30 s auf dem Rüttler durchmischt. Die Probenentnahme erfolgte wie bei Gruppe 1.

Nach 24 h war eine deutliche Besiedelung der Agarplatten mit *E. faecalis* zu erkennen. Die Besiedlungsdichte der aus den Kontrollgruppen gewonnenen Proben war deutlich höher als die der manuell gespülten Wurzelkanäle.

Aufgrund der hohen Anzahl der gebildeten Kolonien war es nicht möglich, diese zu zählen (Abb. 9 und Abb. 10). Daher wurde für den Hauptversuch eine Verdünnungsreihe mit dem Faktor 20 verwendet.



**Abb. 9** Besiedelung der Agarplatten mit *E. faecalis* (Kontrolle)



**Abb. 10** Besiedelung der Agarplatten mit *E. faecalis* (manuelle Spülung)

### **3.6 Versuch 1: Kontamination mit *E. faecalis* / Beurteilung der mechanischen Wirkung der verschiedenen Wurzelkanal-Spülmethoden**

#### **Wurzelkanalspülungen**

Die vorbereiteten Zähne wurden randomisiert auf die 4 Testgruppen des Spülprotokolls aufgeteilt. Jede Testgruppe enthielt 15 Frontzähne und 10 palatinale Wurzeln. Die Wurzelkanäle der Testgruppen wurden entsprechend dem Spülprotokoll (Tabelle 6) bearbeitet, wobei als Spüllösung lediglich NaCl angewendet wurde:

	<b>Spülprotokoll</b>	<b>N</b>
<b>1. Gruppe</b>	Kontrollgruppe (keine Spülung)	25
<b>2. Gruppe</b>	konventionelle Spülung mit 5 ml 0,9%iger NaCl-Lösung	25
<b>3. Gruppe</b>	ultraschallaktivierte Spülung mit 5 ml 0,9%iger NaCl-Lösung	25
<b>4. Gruppe</b>	RinsEndo <sup>®</sup> -Spülung mit 5 ml 0,9%iger NaCl-Lösung	25

**Tabelle 6 Spülprotokoll Versuch 1**

#### **Kontrollgruppe**

Die Zähne der Kontrollgruppe wurden den Reagenzgläsern entnommen, und je eine sterile Papierspitze der ISO-Größe 40 wurde bis zur Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingeführt. Nach 30 s wurde die Spitze entfernt, in ein mit 2 ml 0,9%iger steriler NaCl-Lösung gefülltes Reagenzglas überführt und dort in einem Ultraschallgerät für 60 s eluiert. Für die Anfertigung einer Verdünnungsreihe mit dem Faktor 20 wurden 50 µl der Lösung in ein mit 2,45 ml 0,9%iger steriler NaCl-Lösung

gefülltes Reagenzglas pipettiert. Anschließend wurden 100 µl der verdünnten Lösung auf eine Blutagarplatte pipettiert und ausgespatelt. Die Platten wurden bei 37°C für 24 h in einem Brutschrank bei CO<sub>2</sub>-Atmosphäre und Wasserdampf inkubiert. Nach 24-stündiger Inkubation der Blutagarplatten wurden die Kolonien gezählt und die Zahl koloniebildender Einheiten (KBE/ml) berechnet (Abbildung 11 bis Abbildung 14).



**Abbildung 11 Besiedelung der Agarplatte mit E.faecalis (Kontrollgruppe)**

### ***Manuelle Spülung***

Für die manuelle Spülung wurden die Zähne der Gruppe 2 aus der Dextrosebouillon entnommen und über ein Becherglas gehalten. Eine Einwegspritze (5 ml) mit einer sterilen Einwegkanüle (0,4 x 12 mm) wurde bis 1 mm vor der Arbeitslänge in den Kanal eingebracht. Eine Minute lang wurde mit 5 ml 0,9%iger NaCl-Lösung gespült. Durch leichte



Auf- und Abwärtsbewegungen der Nadel wurde eine Klemmwirkung verhindert.

Anschließend wurde wiederum eine sterile Papierspitze der ISO-Größe 40 in den Kanal eingebracht und für 30 s belassen. Dies und das weitere Vorgehen entspricht der oben geschilderten Methodik.



**Abbildung 12 Besiedelung der Agarplatte mit *E. faecalis* (manuelle Wurzelkanalspülung)**

### ***Ultraschallgestützte Wurzelkanalspülung***

Die Zähne der Gruppe 3 wurden aus der Dextrosebouillon entnommen und über ein Becherglas gehalten. Es wurde zunächst mit 2 ml 0,9%iger NaCl-Lösung wie oben beschrieben manuell gespült. Anschließend wurde die Ultraschall-Spitze des Ultraschallgerätes Piezo Smart® (Mectrongerät mit Nickel-Titan-Spitzen) so tief in den Wurzelkanal eingebracht, dass die Nadel noch frei schwingen konnte. Bei eingestellter Stufe 2 wurde ohne Wasserzulauf für die Dauer von 3 s die im Wurzelkanal stehende



Spüllösung aktiviert. Dabei wurde die Spitze leicht im Kanal auf und ab bewegt, um eine Klemmwirkung zu verhindern. Anschließend wurde wieder mit 2 ml 0,9%iger NaCl-Lösung gespült und die Lösung für 3 s mittels Ultraschallgerät aktiviert. Nach abschließender manueller Spülung mit 1 ml NaCl-Lösung wurde wie beschrieben eine Papierspitze eingebracht, eine Verdünnungsreihe angefertigt und die Lösung ausgespatelt und inkubiert.



**Abbildung 13 Besiedelung der Agarplatte mit *E. faecalis* bei ultraschallgestützter Wurzelkanalspülung**

### ***Hydrodynamische Wurzelkanalspülung***

Die hydrodynamische Wurzelkanalspülung erfolgte mit dem RinsEndo<sup>®</sup>-System. Die verwendeten Zähne wurden aus der Dextrosebouillon entnommen und über ein Becherglas gehalten. Es wurde eine mit 5 ml 0,9%iger NaCl-Lösung gefüllte Einmalspritze in die dafür vorgesehene Vorrichtung des RinsEndo<sup>®</sup>-Handstückes eingesetzt. Die Kanüle wurde, wie vom Hersteller empfohlen, in das koronale Drittel des Wurzelkanals

eingeführt. Durch leichte Auf- und Abwärtsbewegungen wurde einer Klemmwirkung der Kanüle vorgebeugt. Die Probenentnahme und Weiterverarbeitung entsprach den bereits vorgestellten Versuchsreihen.



**Abbildung 14 Besiedelung der Agarplatte mit *E. faecalis* bei hydrodynamischer Wurzelkanalspülung**

### **3.7 Versuch 2: Kontamination mit *E. faecalis* / Beurteilung der chemischen Wirkung verschiedener Wurzelkanalspülungen**

Die entsprechend des Versuchs 1 vorbereiteten und 7 Tage lang mit *E. faecalis* inkubierten Zähne wurden auf 5 Gruppen verteilt und gemäß Spülprotokoll (Tabelle 7) in den bereits beschriebenen Weisen behandelt. Die Gruppen enthielten je 10 Zähne:

	<b>Spülprotokoll</b>	<b>N</b>
<b>1. Gruppe</b>	Kontrollgruppe (keine Spülung)	10
<b>2. Gruppe</b>	ultraschallaktivierte Spülung mit 5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung	10
<b>3. Gruppe</b>	RinsEndo <sup>®</sup> -Spülung mit 5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung	10
<b>4. Gruppe</b>	ultraschallaktivierte Spülung mit 2,5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung und 2,5 ml 0,2%iger CHX-Lösung	10
<b>5. Gruppe</b>	RinsEndo <sup>®</sup> -Spülung mit 2,5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung und 2,5 ml 0,2%iger CHX-Lösung	10

**Tabelle 7 Spülprotokoll zu Versuch 2**

Nach der Spülung („Tag 0“) wurde eine sterile Papierspitze der ISO-Größe 40 für 30 s in den Wurzelkanal appliziert und in ein mit 1 ml 0,9%iger NaCl-Lösung gefülltes Reagenzglas überführt. Nach Aktivierung der Flüssigkeit in einem Ultraschallgerät für 1 min wurden mit einer Impföse 5 µl der Lösung auf eine Blutagarplatte übertragen und verstrichen. Auf einer Platte wurden jeweils 5 Proben derselben Gruppe ausgestrichen. Anschließend wurden die Platten bei 37°C für 24 h in einem Brutschrank bei CO<sub>2</sub>-Atmosphäre und Wasserdampf (Forma Scientific<sup>®</sup>) inkubiert. Die bebrüteten Platten wurden auf

Bakterienwachstum hin untersucht, und die Anzahl der Kolonien entsprechend Tabelle 8 semiquantitativ dokumentiert:

<b>Kolonienanzahl</b>	<b>Punktevergabe</b>
0 Kolonien	0
1 - 10 Kolonien	1
11 - 50 Kolonien	2
51 - 100 Kolonien	3
101 - 500 Kolonien	4
> 500 Kolonien	5

**Tabelle 8 Semiquantitative Auswertung des Bakterienwachstums**

### **Weitere Probenentnahmen**

Mit einer Pipettierhilfe wurden jeweils 10 µl Dextrosebouillon in den Wurzelkanal eingebracht, und die Zähne wurden in einer feuchten Kammer bei 37°C in einem Brutschrank bei CO<sub>2</sub>-Atmosphäre und Wasserdampf für 48 h inkubiert (Abbildung 15).



**Abbildung 15 Zähne in feuchter Kammer**

Nach 2-tägiger Inkubation („Tag 2“) wurden 5  $\mu$ l einer 0,9%igen sterilen NaCl-Lösung in den Kanal pipettiert, durch zweimaliges Ansaugen und Abpipettieren durchmischt und auf eine Blutagarplatte übertragen. Nach 24-stündiger Inkubation der Blutagarplatten im Brutschrank wurden die Proben auf Bakterienwachstum kontrolliert und dokumentiert. Abbildungen 16 und 17 zeigen beispielhaft zwei bebrütete Agarplatten.

In den Wurzelkanal wurden daraufhin 10  $\mu$ l frische Dextrosebouillon pipettiert, und die Zähne wurden für 3 Tage im Brutschrank bei 37°C inkubiert. Am fünften Tag des Versuches („Tag 5“) wurden wie oben beschrieben Proben entnommen und ausgewertet.



**Abbildung 16** Mit *E. faecalis* inkubierte Agarplatte: Kontrollgruppe, Tag 0



**Abbildung 17** Mit *E. faecalis* inkubierte Agarplatte: Hydrodynamische Wurzelkanalspülung, Testtag 0

### **3.8 Versuch 3: Kontamination mit einer aeroben Mischkultur / Beurteilung der chemischen Wirkung verschiedener Wurzelkanalspülungen**

Die entsprechend Versuch 1 vorbereiteten und 7 Tage lang mit einer aeroben Mischkultur inkubierten Zahnwurzeln wurden auf 5 Gruppen verteilt und gemäß dem Spülprotokoll (Tabelle 9) in den bereits beschriebenen Weisen behandelt:

	<b>Spülprotokoll</b>	<b>N</b>
<b>1. Gruppe</b>	Kontrollgruppe (keine Spülung)	10
<b>2. Gruppe</b>	ultraschallaktivierte Spülung mit 5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung	10
<b>3. Gruppe</b>	RinsEndo <sup>®</sup> -Spülung mit 5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung	10
<b>4. Gruppe</b>	ultraschallaktivierte Spülung mit 2,5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung und 2,5 ml 0,2%iger CHX-Lösung	10
<b>5. Gruppe</b>	RinsEndo <sup>®</sup> -Spülung mit 2,5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung und 2,5 ml 0,2%iger CHX-Lösung	10

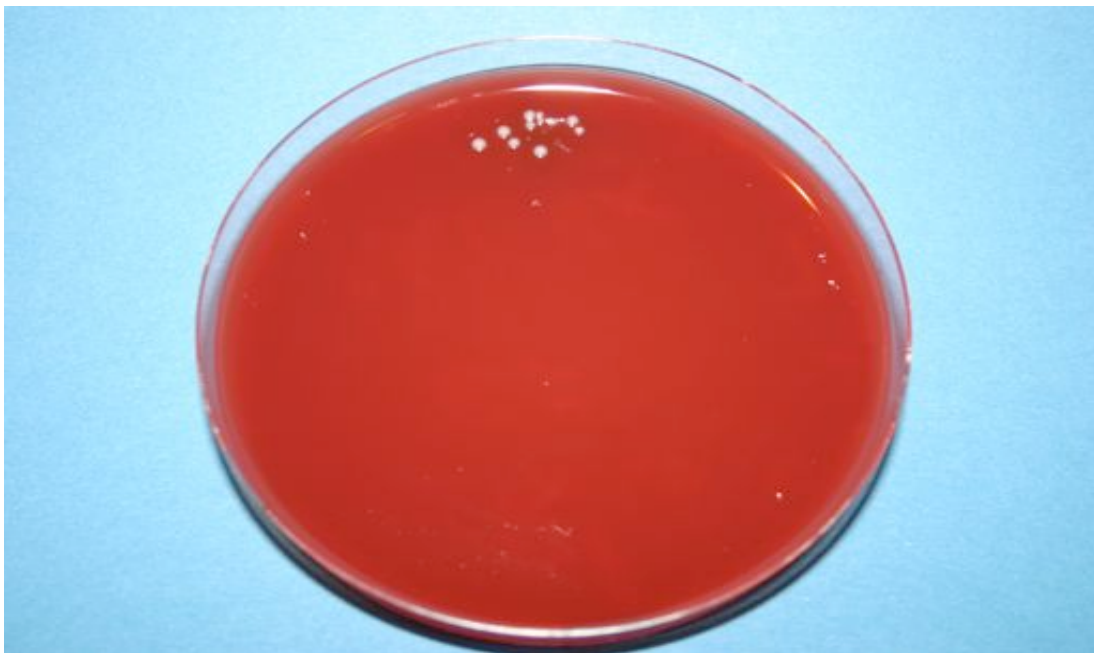
**Tabelle 9 Spülprotokoll Versuch 3**

Die Aufarbeitung und Auswertung der Proben erfolgte entsprechend Versuch 2. Die Abbildungen 18 und 19 zeigen beispielhaft mit der aeroben Mischkultur beimpfte Agarplatten.





**Abbildung 18 Mit aerober Mischkultur inkubierte Agarplatte:  
Kontrollgruppe, Testtag 2**



**Abbildung 19 Mit aerober Mischkultur inkubierte Agarplatte:  
Hydrodynamische Wurzelkanalspülung, Testtag 2**



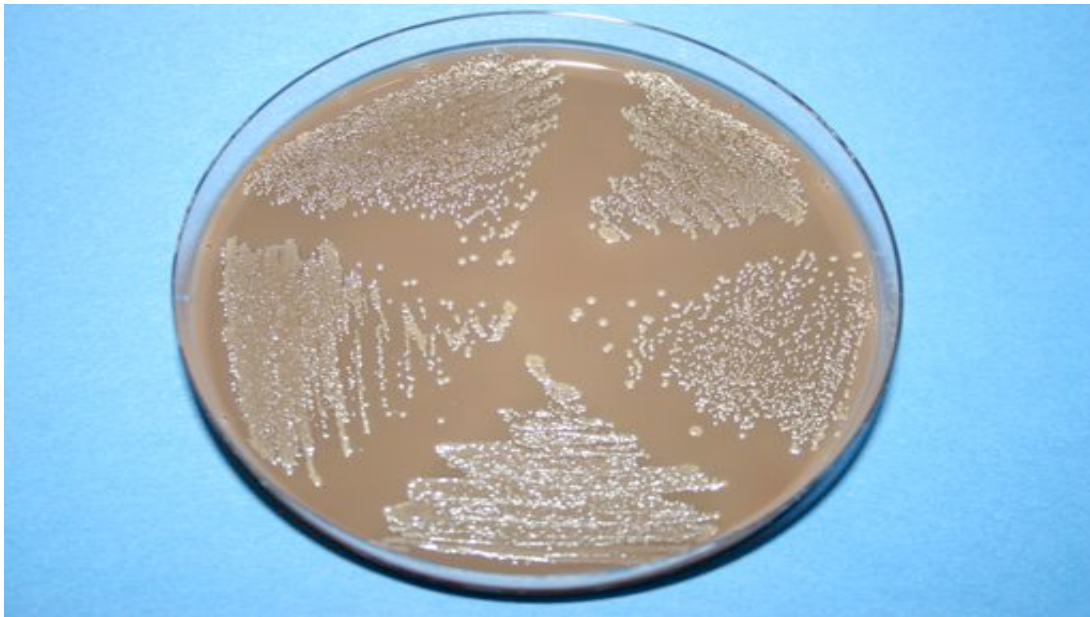
### **3.9 Versuch 4: Kontamination mit einer anaeroben Mischkultur / Beurteilung der chemischen Wirkung verschiedener Wurzelkanalspülungen**

Die entsprechend Versuch 1 vorbereiteten und mit einer anaeroben Mischkultur inkubierten Zahnwurzeln wurden in 5 Gruppen unterteilt und gemäß dem Spülprotokoll (Tabelle 10) weiterbearbeitet. Die Gruppen enthielten je 10 Zähne:

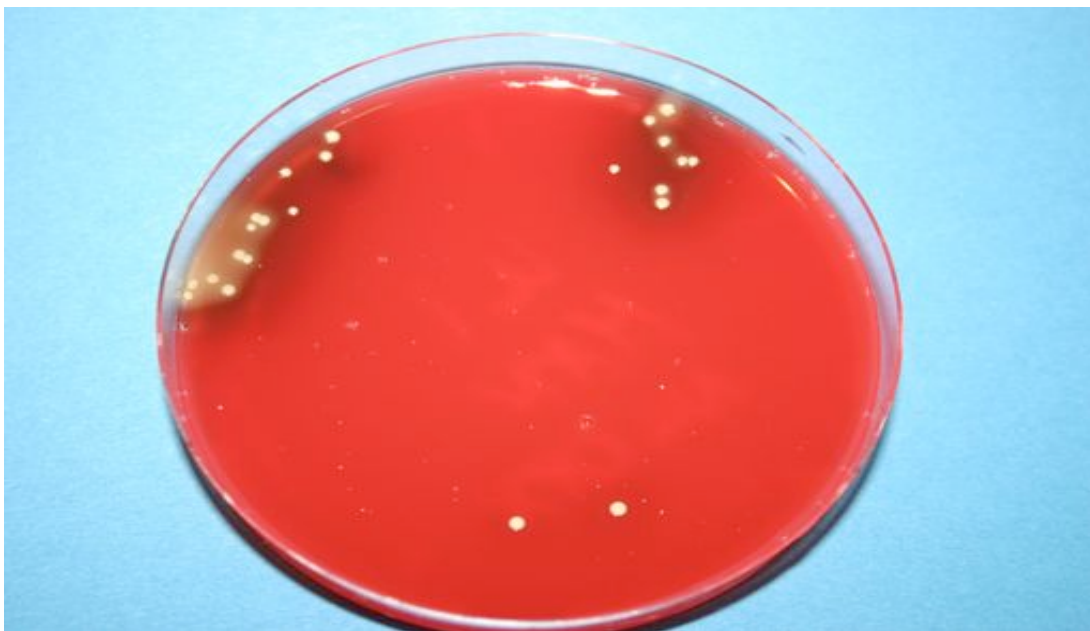
	<b>Spülprotokoll</b>	<b>N</b>
<b>1. Gruppe</b>	Kontrollgruppe (keine Spülung)	10
<b>2. Gruppe</b>	ultraschallaktivierte Spülung mit 5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung	10
<b>3. Gruppe</b>	RinsEndo <sup>®</sup> -Spülung mit 5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung	10
<b>4. Gruppe</b>	ultraschallaktivierte Spülung mit 2,5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung und 2,5 ml 0,2%iger CHX-Lösung	10
<b>5. Gruppe</b>	RinsEndo <sup>®</sup> -Spülung mit 2,5 ml 1,5%iger NaOCl-Lösung und 2,5 ml 0,2%iger CHX-Lösung	10

**Tabelle 10 Spülprotokoll Versuch 4**

Die Aufarbeitung der Proben erfolgte wiederum entsprechend Versuch 2. Für die Kultivierung der Proben der anaeroben Mischkultur wurden Schaedleragarplatten eingesetzt. Nach 3-tägiger anaerober Inkubation im Brutschrank bei 37°C wurden die Proben in Analogie zu den Versuchen 1 - 3 ausgewertet und dokumentiert (Abbildungen 20 und 21).



**Abbildung 20 Mit anaerober Mischkultur inkubierte Agarplatte:  
Kontrollgruppe, Testtag 0**



**Abbildung 21 Mit anaerober Mischkultur inkubierte Agarplatte:  
Ultraschallgestützte Wurzelkanalspülung, Testtag 0**

### **3.10 Auswertung und Statistik**

Alle statistischen Berechnungen erfolgten mit Hilfe des Programms SPSS 13.0. Für die Annahme signifikanter Differenzen musste die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  der statistischen Vergleiche einen  $\alpha$ -Wert von jeweils 0,05 unterschreiten.

#### **Auswertung Versuch 1**

Nach 24-stündigem Bebrüten der Proben auf Blutagarplatten wurden die koloniebildenden Einheiten ausgezählt. Unter Berücksichtigung der durchgeführten Verdünnungsreihe wurden absolute Werte für die Anzahl koloniebildender Einheiten errechnet. Aus den jeweils 25 Einzelwerten jeder Gruppe wurde ein Mittelwert errechnet. Die Mittelwerte der einzelnen Untersuchungsgruppen wurden mittels Mann-Whitney-Test zunächst mit den Werten der Kontrollgruppe verglichen. Anschließend wurden nacheinander die Ergebnisse von je zwei Untersuchungsgruppen gegenübergestellt. Auf diese Weise wurden alle Untersuchungsgruppen paarweise miteinander verglichen. Für das Feststellen statistisch signifikanter Differenzen musste eine Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  von 5 % ( $\alpha < 0,05$ ) unterschritten werden.

#### **Auswertung der Ergebnisse aus den Versuchen 2-4**

Die Menge der koloniebildenden Einheiten auf den Agarplatten wurde jeweils semiquantitativ erfasst. Hierzu wurden 6 Kategorien entsprechend der Einteilung nach Tabelle 8 gebildet. Diese Kategorien der Anzahl koloniebildender Einheiten wurden für die jeweiligen Testgruppen am Tag 0, Tag 2 und Tag 5 der Auswertung bestimmt.

In einer ersten Auswertung wurden die Häufigkeitsverteilungen der Bakterienanzahl-Kategorien für die jeweiligen Spülmethode,

Spüllösungen und Keimflore longitudinal zwischen Tag 0 und den weiteren Untersuchungstagen (Tag 2 und Tag 5) verglichen (Chi-Quadrat-Test). Für gezielte Vergleiche zur Überprüfung der Effektivität der beiden Spülmethoden (hydrodynamische vs. ultraschallgestützte Methode) wurde der Mann-Whitney-Test durchgeführt.

Weiter wurde für jeden Untersuchungszeitpunkt überprüft, ob die Parameter Spülmethode, Spüllösung oder Bakterienflora signifikanten Einfluss auf die Bakterienanzahl-Kategorien aufwiesen. Für diese Überprüfungen wurden Varianzanalysen (ANOVA) durchgeführt, bei denen die abhängige Variable die aus den jeweils 10 Einzelbestimmungen jeder Versuchsgruppe gemittelte Bakterienanzahl-Kategorie war. Die unabhängigen Variablen waren für jeden Untersuchungstag die drei Parameter „Spülmethode“, „Spüllösung“ sowie „Flora“.

Die Varianzanalyse wurde mit einem mehrfachen paarweisen Vergleich der jeweiligen Variablen-Ausprägungen mit Bonferroni-Korrektur beendet. Mittels der Bonferroni-Korrektur wird die Alphafehler-Kumulierung bei multiplen Paarvergleichen neutralisiert. Hierzu wird bei n paarweisen Vergleichen die statistische Signifikanzgrenze, die für die Annahme jeder Hypothese zu unterschreiten ist, auf  $1/n$  der Signifikanz gesetzt, die sich bei der Testung nur einer Hypothese ergeben würde.

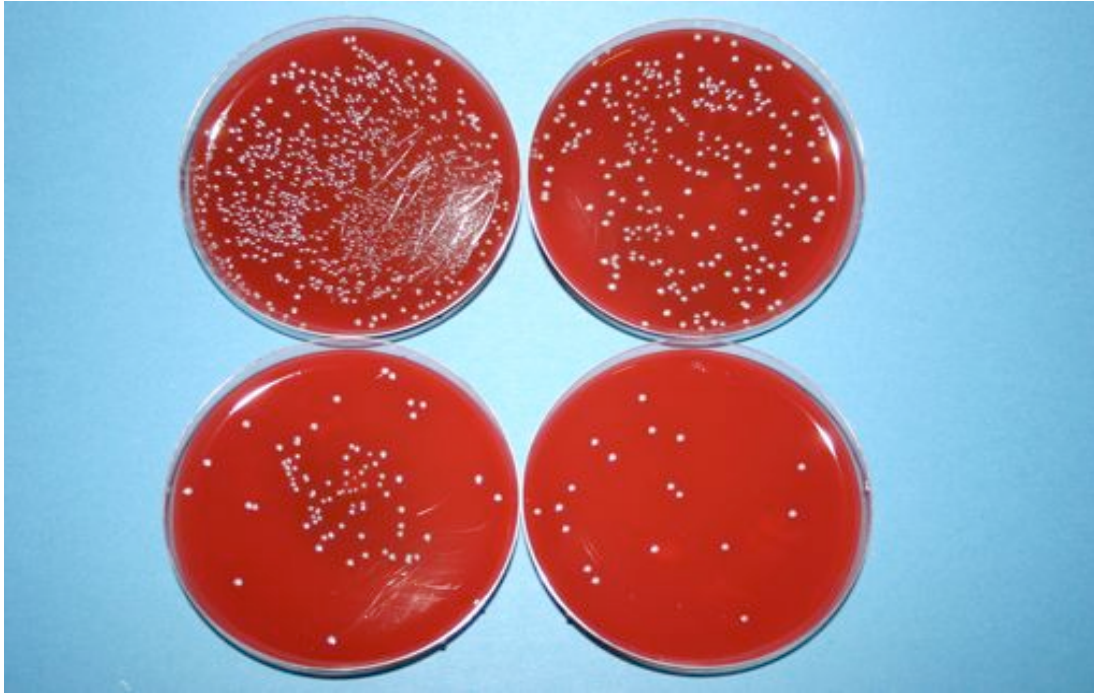
## 4 Ergebnisse

### 4.1 Versuch 1: Kontamination mit *E. faecalis* / Beurteilung der chemischen Wirkung verschiedener Wurzelkanalspülungen

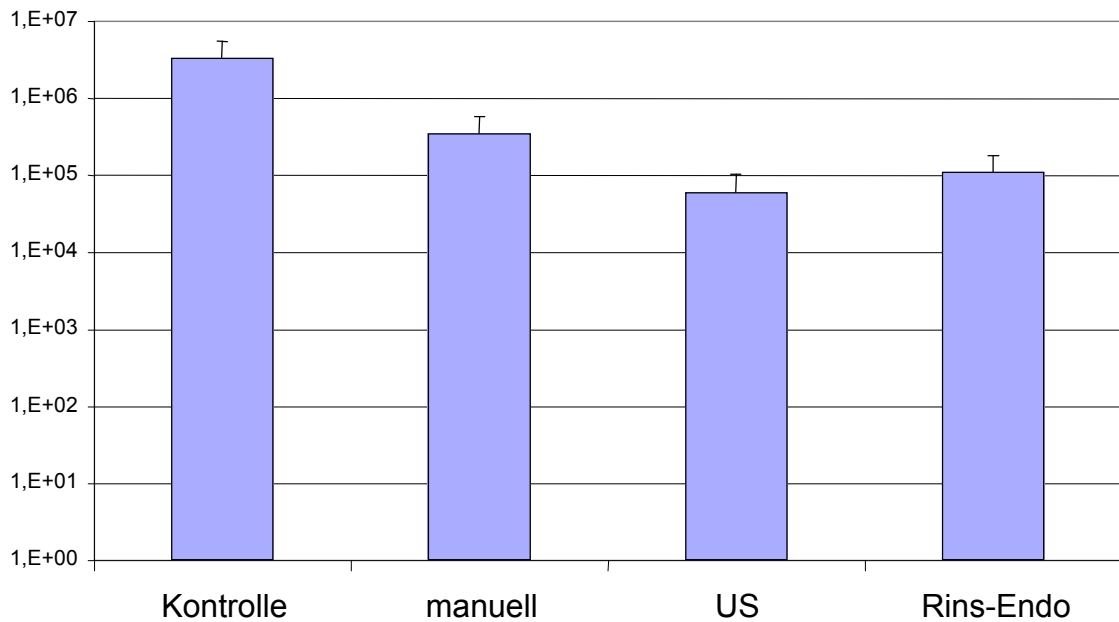
Im ersten Versuchsansatz sollte der mechanische Effekt der verschiedenartigen Wurzelkanalspülmethoden überprüft werden. Hierzu wurden sowohl die manuelle, die hydrodynamische als auch die ultraschallgestützte Methode mit 0,9%iger NaCl-Lösung angewendet, und die Keimbesiedelung des Kanals wurde mit dem Wert vor der Spülung verglichen. Tabelle 11 zeigt die in jeweils 25 Proben ermittelten Anzahlen koloniebildender Einheiten. Alle drei Spülmethoden führten gegenüber der Kontrollgruppe zu deutlich verringerten Keimzahlen (Abbildung 22). Die mittlere Keimzahl der Kontrollgruppe (3.359.360 KBE/ml) war mehr als 10-mal höher als die der übrigen Gruppen (Tabelle 11 und Abbildung 23).

	Kontrolle	manuell	US	RinsEndo®
<b>Mittelwert</b>	3.359.360	353.708	60.560	111.840
<b>Std.abw.</b>	2.083.488	219.267	42.414	86.789
<b>Median</b>	3.048.000	339.500	49.000	100.000

**Tabelle 11** Koloniebildende Einheiten im Wurzelkanal (KBE/ml) nach Wurzelkanalspülung gemäß Versuch 1 (Mittelwert, Standardabweichung und Median)



**Abbildung 22** Mit *E. faecalis* inkubierte Agarplatten: Kontrollgruppe (oben links), manuelle Spülung (oben rechts), hydrodynamische Spülung (unten links), ultraschallgestützte Spülung (unten rechts)



**Abbildung 23** Keimbelastung im Wurzelkanal nach manueller, hydrodynamischer und ultraschallgestützter (US) Wurzelkanalspülung mit 0,9%iger NaCl-Lösung nach Infektion mit *E. faecalis*

Die statistische Auswertung bestätigt, dass zwischen den Keimzahlen der vier Gruppen hochsignifikante Unterschiede bestehen (Kruskal-Wallis-Test,  $p < 0,001$ ). Paarweise Mittelwertvergleiche zeigten im Vergleich sowohl der ultraschallgestützten als auch der hydrodynamischen Wurzelkanalspülung mit der manuellen Wurzelkanalspülung hochsignifikant geringere Keimzahlen der beiden erstgenannten Methoden ( $p < 0,001$ , Mann-Whitney-Test, Tabelle 12). Auch zwischen dem ultraschallgestützten und dem hydrodynamischen System wurden Unterschiede deutlich. Dabei wies die ultraschallgestützte Wurzelkanalspülmethode signifikant geringere Keimzahlen auf als die hydrodynamische Wurzelkanalspülung ( $p=0,011$ ).

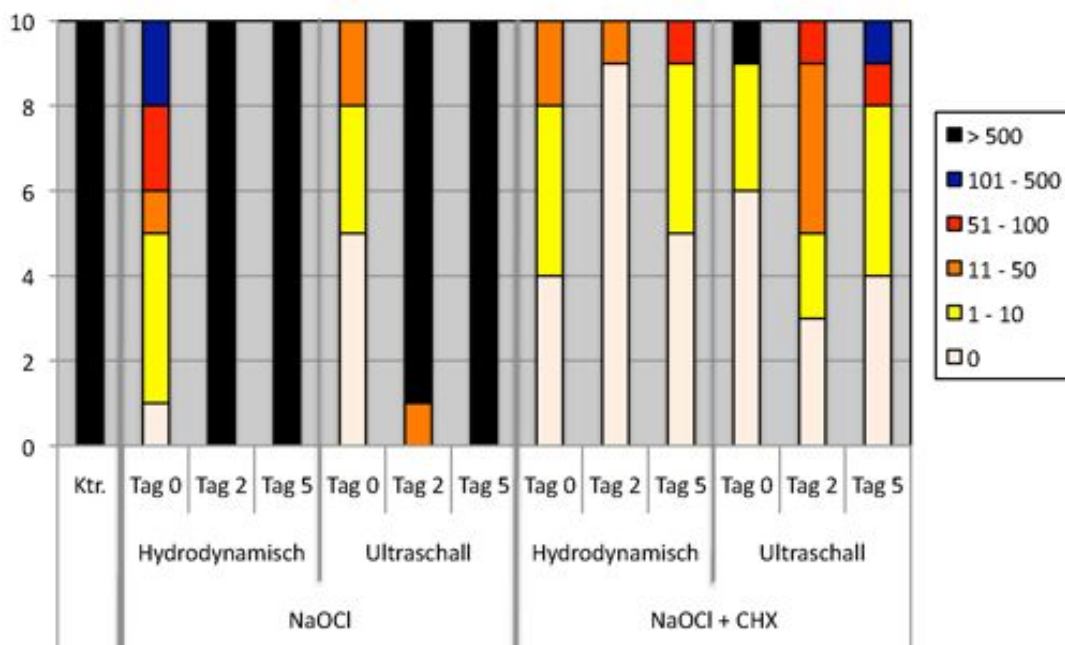
Vergleiche	Kontr-man	Kontr-US	Kontr-RE	man-US	man-RE	US-RE
<b>p-Wert</b>	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,011

**Tabelle 12** p-Werte bei den paarweisen Vergleichen der Mittelwerte der KBE/ml (Kontr: Kontrolle, man: manuell, US: Ultraschall, RE: RinsEndo®)

## 4.2 Versuch 2 - 4: Kontamination mit unterschiedlichen Keimflore / Beurteilung der chemischen Wirkung verschiedener Wurzelkanalspülungen

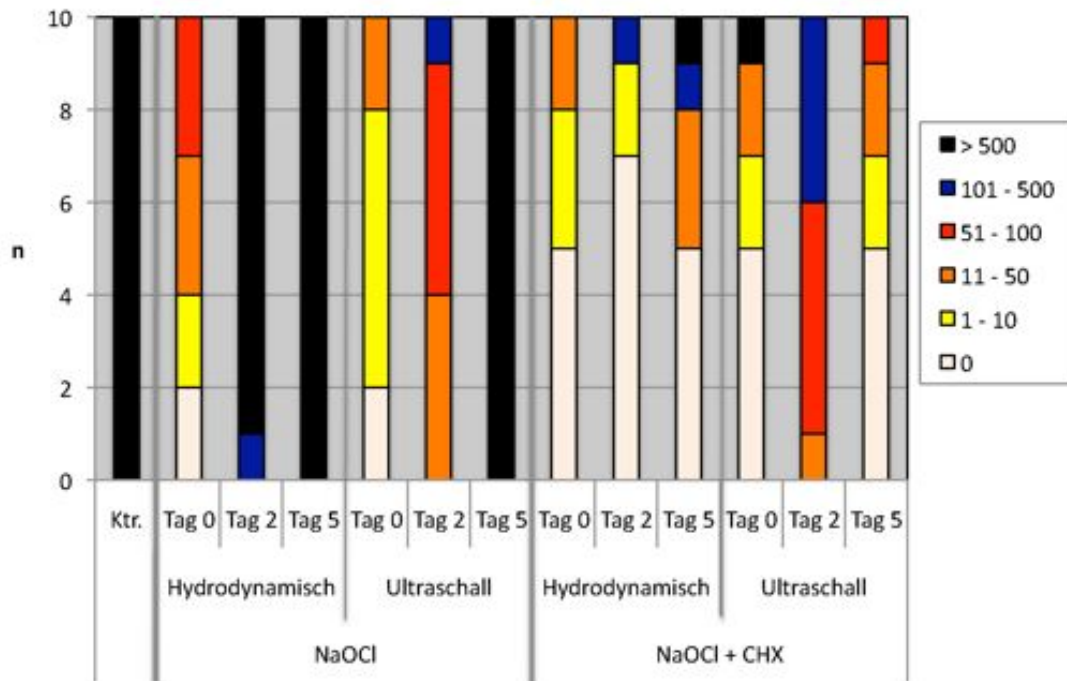
Die Ergebnisse zu diesem Untersuchungsabschnitt sind in den Abbildung 24 - 26 zusammengefasst (die Einzelwerte sind im Anhang in Tabelle 21 aufgeführt). Der Übersichtlichkeit halber sind die Ergebnisse in den drei Abbildungen für die unterschiedlichen Keimflore getrennt dargestellt, obgleich die Varianzanalyse auf den gesamten Datenpool zugreift.

Für jeden der 10 in jeder Konfiguration von Spüllösung, Spülmethode und Untersuchungstag überprüften Wurzelkanäle ist die Keimbesiedelungskategorie farbig dargestellt. In allen Wurzelkanälen der Kontrollgruppe zeigte sich durchgehend ein Bakterienwachstum von mehr als 500 KBE/ml.

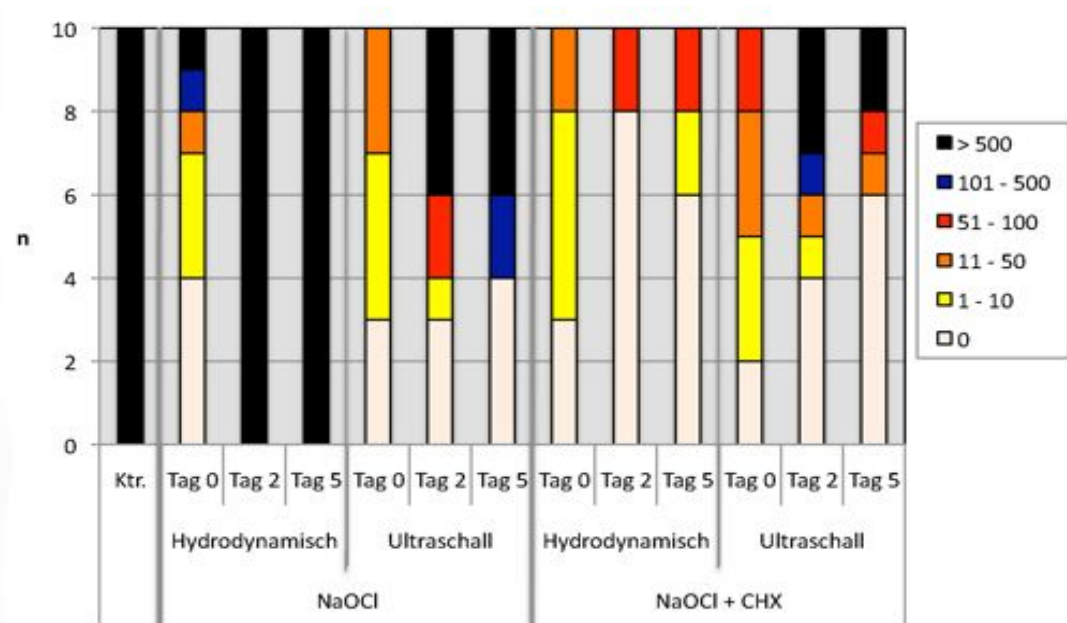


**Abbildung 24** Verteilung der Keimanzahl-Kategorien in zuvor mit *E. faecalis* infizierten Wurzelkanälen nach Anwendung unterschiedlicher Wurzelkanalspülungen (Spülmethoden und Spüllösungen) und differierender Inkubationsdauer





**Abbildung 25** Verteilung der Keimanzahl-Kategorien in zuvor mit einer aeroben Mischkultur infizierten Wurzelkanälen nach Anwendung unterschiedlicher Wurzelkanalspülungen (Spülmethoden und Spüllösungen) und differierender Inkubationsdauer



**Abbildung 26** Verteilung der Keimanzahl-Kategorien in zuvor mit einer anaeroben Mischkultur infizierten Wurzelkanälen nach Anwendung unterschiedlicher Wurzelkanalspülungen (Methoden und Spüllösungen) und differierender Inkubationsdauer

Die grafische Darstellung der Bakterienanzahl-Kategorien verdeutlicht, dass die beiden Verfahren der hydrodynamischen und der ultraschallgestützten Spülung unmittelbar nach der Anwendung zu deutlich geringeren Keimklassen-Kategorien führen. Eine länger andauernde Wirkung ist jedoch in erster Linie unter Anwendung der kombinierten Wurzelkanalspülung von NaOCl und CHX auszumachen.

### **Statistische Auswertung**

Tabelle 13 fasst die statistische Überprüfung der Keimbesiedelung im Wurzelkanal (Häufigkeitsverteilung der Bakterienanzahl-Kategorien) im Vergleich der Untersuchungszeitpunkte (Tag 0 bis Tag 5, Chi-Quadrat-Test) zusammen. Da in der Kontrollgruppe zu jedem Zeitpunkt die maximale Keimzahl-Kategorie 5 gefunden wurde, wurde sie bei diesen Vergleichen nicht berücksichtigt.

<b>Spül- methode</b>	<b>Spül- lösung</b>	<b>Flora</b>	<b>p-Wert Tag 0 vs. Tag 2</b>	<b>p-Wert Tag 2 vs. Tag 5</b>	<b>p-Wert Tag 0 vs. Tag 5</b>
Ultraschall	NaOCl	E.faec.	0,001	0,305	< 0,001
- " -	- " -	aerob	0,005	< 0,001	< 0,001
- " -	- " -	anaerob	0,029	0,273	0,011
- " -	NaOCl + CHX	E.faec.	0,126	0,214	0,471
- " -	- " -	aerob	0,004	0,007	0,736
- " -	- " -	anaerob	0,123	0,608	0,080
RinsEndo®	NaOCl	E.faec.	0,001	nicht mögl.	0,001
- " -	- " -	aerob	< 0,001	0,305	< 0,001
- " -	- " -	anaerob	0,003	nicht mögl.	0,003
- " -	NaOCl + CHX	E.faec.	0,044	0,067	0,375
- " -	- " -	aerob	0,316	0,176	0,267
- " -	- " -	anaerob	0,010	0,319	0,099

**Tabelle 13 Irrtumswahrscheinlichkeiten p (Chi-Quadrat-Test) zum Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Bakterienanzahl-Kategorien zwischen den Untersuchungszeitpunkten Tag 0 bis Tag 5 in Abhängigkeit von Spülmethode, Spüllösung und Keimflora**

Da die Wurzelkanalspülungen gegenüber der Kontrolle zu verringerten Keimzahlen führen, zeigen nicht-signifikante p-Werte der in Tabelle 13 dargestellten longitudinalen Vergleiche eine bis zu 5 Tage nachweisbare Reduktion der Keimzahlen gegenüber den Kontrollen an. Unter diesem Gesichtspunkt fällt insbesondere die Anwendung der Wechselspülung von NaOCl und CHX dadurch auf, dass sich die Häufigkeitsverteilungen der Keimzahl-Kategorien von Tag 0 und Tag 5 nicht signifikant voneinander unterscheiden. Dies gilt für alle Keimspektren und unabhängig von der Spülmethode.

Die folgenden Auswertungen zur Beurteilung des Effektes der Spülmethode, Spüllösungen und Keimflore basieren auf den gemittelten Keimanzahl-Kategorien. In den Tabellen 14 bis 16 sind zunächst diese Mittelwerte aufgeführt:

<b>Methode</b>	<b>Tag 0</b>	<b>Tag 2</b>	<b>Tag 5</b>
Kontrolle (n = 30)	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0
Ultraschall (n = 60)	1,0 ± 1,1	2,8 ± 1,8	2,7 ± 2,3
RinsEndo® (n = 60)	1,3 ± 1,2	2,7 ± 2,4	3,0 ± 2,2

**Tabelle 14 Gemittelte Kolonienanzahl-Kategorien in Abhängigkeit von der Spülmethode (Mittelwert und Standardabweichung)**

<b>Spüllösung</b>	<b>Tag 0</b>	<b>Tag 2</b>	<b>Tag 5</b>
Kontrolle (n = 30)	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0	5,0 ± 0,0
NaOCl (n = 60)	1,3 ± 1,2	4,2 ± 1,5	4,6 ± 1,3
NaOCl + CHX (n = 60)	1,0 ± 1,1	1,4 ± 1,7	1,1 ± 1,5

**Tabelle 15 Gemittelte Kolonienanzahl-Kategorien in Abhängigkeit von der Spüllösung (Mittelwert und Standardabweichung)**

Flora	Tag 0	Tag 2	Tag 5
E.faecalis (n = 50)	1,9 ± 1,9	3,2 ± 2,2	3,4 ± 2,2
aerobe Mischflora (n = 50)	1,9 ± 1,9	3,3 ± 1,8	3,5 ± 2,1
anaerobe Mischflora (n = 50)	2,0 ± 1,9	3,1 ± 2,3	3,0 ± 2,3

**Tabelle 16 Gemittelte Kolonienanzahl-Kategorien in Abhängigkeit von der verwendeten Keimflora (Mittelwert und Standardabweichung)**

Mit diesen Mittelwerten wurden Varianzanalysen mit anschließendem paarweisen Mittelwertvergleich, der einer Korrektur nach Bonferroni unterzogen wurde, durchgeführt. Tabelle 17 fasst das Ergebnis dieser Analyse zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten auf die Spülmethode bezogen zusammen. Es ist aus der Varianzanalyse erkennbar, dass die Methode hochsignifikanten Einfluss auf die Anzahl KBE hat. Allerdings gilt dies im paarweisen Vergleich nur für die Vergleiche gegen die Kontrolle, zwischen den beiden Verfahren der ultraschallgestützten bzw. der hydrodynamischen Wurzelkanalspülung hingegen bestehen keine statistisch signifikanten Unterschiede.

	Tag 0	Tag 2	Tag 5
p (ANOVA)	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Ktrl vs. US *	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Ktrl vs. RE *	< 0,001	< 0,001	< 0,001
US vs. RE *	0,686	> 0,999	> 0,999

\* Post-hoc-Prozedur: Mehrfache Paarvergleiche mit Bonferroni-Korrektur

**Tabelle 17 Irrtumswahrscheinlichkeiten p (ANOVA und paarweiser Mittelwertvergleich) zum Effekt der Spülmethode auf die Keimzahl (gemittelte Bakterienanzahl-Kategorien) im Wurzelkanal (Ktrl: Kontrollgruppe, US: Ultraschall, RE: RinsEndo®)**

Die statistische Überprüfung des Einflusses der Spüllösung auf die im Wurzelkanal anzufindende Keimzahl ist in Tabelle 18 dargestellt.

	Tag 0	Tag 2	Tag 5
<b>p (ANOVA)</b>	<0,001	<0,001	<0,001
Ktrl vs. NaOCl *	<0,001	0,026	0,548
Ktrl vs. NaOCl/CHX *	<0,001	<0,001	<0,001
NaOCl vs. NaOCl/CHX *	0,254	<0,001	<0,001

\* Post-hoc-Prozedur: Mehrfache Paarvergleiche mit Bonferroni-Korrektur

**Tabelle 18 Irrtumswahrscheinlichkeiten p (ANOVA und paarweiser Mittelwertvergleich) zum Effekt der Spüllösung auf die Keimzahl (gemittelte Bakterienanzahl-Kategorien) im Wurzelkanal (Ktrl: Kontrollgruppe, NaOCl: Natriumhypochlorid, NaOCl/CHX: Wechselspülung von Natriumhypochlorid und Chlorhexidin)**

Es ist erkennbar, dass die Spüllösung hochsignifikanten Einfluss auf die Anzahl Koloniebildender Einheiten KBE hat. Insbesondere die Anwendung von NaOCl plus CHX unterscheidet sich über den gesamten Untersuchungszeitraum hochsignifikant von der Kontrolle sowie 2 und 5 Tage nach der Anwendung auch vom Resultat der alleinigen NaOCl-Spülung (Tabelle 18).

Schließlich wurde in entsprechender Weise eine Varianzanalyse zur Bestimmung des Einflusses der unterschiedlichen Keimfloren auf die Anzahl KBE durchgeführt (Tabelle 19). Es wird deutlich, dass die Ergebnisse zu keinem Zeitpunkt von der verwendeten Keimflora abhängen.

	Tag 0	Tag 2	Tag 5
<b>p (ANOVA)</b>	0,965	0,887	0,553
E.faec. vs. aerob *	> 0,999	> 0,999	> 0,999
E.faec. vs. anaerob *	> 0,999	> 0,999	> 0,999
aerob vs. anaerob *	> 0,999	> 0,999	0,884

\* Post-hoc-Prozedur: Mehrfache Paarvergleiche mit Bonferroni-Korrektur

**Tabelle 19 Irrtumswahrscheinlichkeiten p (ANOVA und paarweiser Mittelwertvergleich) zum Effekt der Keimfloren auf die Keimzahl (gemittelte Bakterienanzahl-Kategorien) im Wurzelkanal**

### **4.3 Zusammenfassung und Vertiefung der Ergebnisse**

Die im Versuch 1 erzielten Ergebnisse dokumentieren eine die Bakterienzahl im Wurzelkanal reduzierende Wirksamkeit verschiedener Wurzelkanalspülmethoden in der Rangfolge: 1. Ultraschallsystem, 2. hydrodynamisches System, 3. manuelle Spülung. Dabei führt die ultraschallgestützte Wurzelkanalspülmethode im Vergleich zur hydrodynamischen Wurzelkanalspülung zu signifikant geringeren Keimzahlen.

Die Überlegenheit der hydrodynamischen und der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülmethode gegenüber der Kontrollgruppe lässt sich auch in den Versuchsansätzen 2 – 4 unmittelbar nach derer Anwendung nachweisen. Diese Ergebnisse hängen wie auch die an den Folgetagen erhaltenen Resultate zu keinem Zeitpunkt von der verwendeten Keimflora ab.

Eine länger andauernde Wirkung von 5 Tagen ist nach Anwendung der kombinierten Wurzelkanalspülung von NaOCl und CHX auszumachen. Dies gilt für alle Keimspektren und unabhängig von der Spülmethode und übertrifft das Resultat der alleinigen NaOCl-Spülung deutlich. Lediglich an Testtag 0 wurden beim Vergleich von NaOCl und der Wechselspülung von NaOCl und CHX keine signifikant differierenden Wirkungen nachgewiesen.

Bei übereinstimmendem Nachweis einer Effektivität beider Wurzelkanalspülmethoden gegenüber der Kontrolle sind aus der statistischen Überprüfung von Versuch 1 sowie den Versuchsansätzen 2 – 4 unterschiedliche Resultate über eine differierende Effektivität dieser beiden Methoden abzuleiten. So findet die Überprüfung zu Versuch 1 signifikante Unterschiede, während mit der Varianzanalyse zu den Versuchen 2 – 4 kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Verfahren der ultraschallgestützten bzw. der hydrodynamischen Wurzelkanalspülung nachgewiesen werden kann. Da dies die der Studie

zugrunde liegende Fragestellung berührt, wurden vertiefende statistische Berechnungen angestellt. Hierzu wurden die gemittelten Bakterienanzahl-Kategorien nach Anwendung der beiden Methoden für alle Kombinationen von Spüllösungen und Keimfloren mittels Mann-Whitney-Test miteinander verglichen (Tabelle 20).

Spüllösung	Flora	p-Wert Tag 0	p-Wert Tag 2	p-Wert Tag 5
NaOCl	E.faec.	0,035	0,739	-*
- " -	aerob	0,165	< 0,001	-*
- " -	anaerob	0,971	0,023	0,023
NaOCl + CHX	E.faec.	0,481	0,023	0,579
- " -	aerob	0,796	0,001	0,631
- " -	anaerob	0,218	0,105	0,739

**Tabelle 20 Irrtumswahrscheinlichkeiten p (Mann-Whitney-Test) zum Vergleich der mittleren Bakterienanzahl-Kategorien im Vergleich von ultraschallaktivierter und hydrodynamischer Spülmethode in Abhängigkeit von Spüllösung und Keimflora (\*: nicht berechenbar, da alle Wurzelkanäle die maximale Keimzahl-Kategorie aufwiesen)**

Es ist festzustellen, dass direkt nach der Wurzelkanalspülung beide Verfahren durchweg zu statistisch gleichen Ergebnissen führen. Zwei Tage nach der Spülung kommt es mehrheitlich zu signifikant unterschiedlichen mittleren Keimklassen-Kategorien. Dabei weisen die mit dem Ultraschallsystem gereinigten Kanäle unter Anwendung von NaOCl als Spüllösung signifikant bessere Ergebnisse auf, während unter dem Einfluss der Wechspülung von NaOCl und CHX das hydrodynamische RinsEndo®-System signifikant besser abschneidet. Nach 5 Tagen sind die mit beiden Verfahren gezeigten Ergebnisse bis auf eine Ausnahme hingegen wieder statistisch gleich.

Diese vertiefende Analyse bestätigt, dass die Spülmethode für die Ergebnisse von untergeordneter Bedeutung zu sein scheint.



## **5 Diskussion**

### ***5.1 Diskussion der Methode***

Das Ziel der vorliegenden Studie war, die Effektivität der hydrodynamischen und der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung bei der Desinfektion von Wurzelkanälen zu vergleichen, die zuvor mit *E. faecalis* und aeroben bzw. anaeroben Mischkulturen infiziert worden waren. Die verschiedenen Verfahren der Wurzelkanalspülung wurden nach Wurzelkanalaufbereitung und artifizieller Kontamination auf ihre keimreduzierende Wirksamkeit untersucht und auch der manuellen Spülung gegenüber gestellt.

Bei dem Untersuchungsmaterial handelte es sich um humane, extrahierte Zähne. Sie wurden, um durch ähnliche anatomische Voraussetzungen vergleichbare Ausgangsbedingungen zu schaffen, nach zuvor definierten Kriterien ausgewählt (HAUSER 2006). Alle Zahnwurzeln wurden auf die Länge von 15 mm gekürzt und maschinell auf die ISO-Größe 40 aufbereitet, sodass sowohl das Kanallumen als auch die Arbeitslänge angeglichen wurden.

Die Verwendung menschlichen Untersuchungsmaterials, das durch anatomische Unterschiede gekennzeichnet ist, kann die identische Beschaffenheit der zu untersuchenden Wurzelkanäle trotz einheitlicher Vorbereitung nie ganz gewährleisten. Dies wäre nur bei einem Verzicht auf humane Zähne möglich. Stattdessen können z.B., wie in einer Studie von CHOW (1983), Probekörper aus Glas eingesetzt werden, die die Beschaffenheit natürlicher Wurzelkanäle simulieren sollen. Zu beachten bleibt hierbei, dass die menschliche Zahnwurzel laterale Wurzelkanäle, Dentintubuli und anatomische Besonderheiten wie z.B. Kalzifizierungen aufweisen kann. Diese Voraussetzungen erschweren häufig die Aufbereitung und insbesondere die Desinfektion des Wurzelkanals, denn konventionelle Systeme vermögen häufig nicht die Spüllösung in infizierte

laterale Wurzelkanäle und Dentintubuli zu applizieren. Der Einsatz von künstlichen Wurzelmodellen lässt diese Aspekte unberücksichtigt und muss daher kritisch beurteilt werden (LEE et al. 2004).

Bei der Versuchsdurchführung wurde auf die Anwendung gekrümmter Wurzelkanäle verzichtet, um Ungenauigkeiten aufgrund unterschiedlicher Krümmungsgrade zu verhindern. Trotzdem kann ein Einfluss der Verwendung unterschiedlicher Zahnarten und anatomischer Unregelmäßigkeiten auf die Ergebnisse nicht ganz ausgeschlossen werden. Um eine gute Vergleichbarkeit der Gruppen untereinander zu gewährleisten, wurden die Zähne daher randomisiert auf die Gruppen verteilt. Bei Verwendung palatinaler Wurzeln oberer Molaren wurden die hier erzielten Resultate zunächst gesondert dokumentiert. Da jedoch keine signifikanten Abweichungen gegenüber den Ergebnissen der einwurzeligen Zähne auftraten, konnten die Ergebnisse einheitlich in die Auswertung einfließen, und auf eine getrennte Darstellung bezüglich der Art der verwendeten Zahnwurzel wurde verzichtet.

In Versuch 1 wurden drei unterschiedliche Spülmethode einer Kontrollgruppe, deren Zähne nicht gespült wurden, gegenüber gestellt. Der Fokus dieses Studienteils lag auf der Bewertung des mechanischen Einflusses der Spülmethode. Daher wurde in Abweichung vom klinischen Vorgehen lediglich mit Kochsalzlösung gespült. Zwar entspricht diese Vorgehensweise nicht der praxisüblichen Situation einer Wurzelkanalbehandlung, jedoch kann nur so die rein mechanische Wirksamkeit verschiedener Wurzelkanalspülmethode untersucht werden, ohne dass die Ergebnisse durch den desinfizierenden Einfluss verschiedener Spüllösungen überlagert werden.

Der Wurzelkanal war zuvor mit *E. faecalis* kontaminiert worden. Dieser fakultativ anaerobe Keim wird in der Literatur am häufigsten mit Misserfolgen endodontischer Behandlungen in Verbindung gebracht (BYSTRÖM u. SUNDQVIST 1981, ØRSTAVIK u. HAAPASALO 1990, PATAKY et al.

2002, KLIMM 2003). Dies ist auf seine hohe Resistenz gegenüber desinfizierenden Spüllösungen (HEPPELER u. HÜLSMANN 2006), seine hohe Hitzebeständigkeit (PATAKY et al. 2002) und seine Substantivität zurückzuführen (WALTIMO et al. 2000).

Die Verwendung eines einzelnen Keims zur Simulation der intrakanalären Situation einer Wurzelkanalbehandlung entspricht nicht den In-vivo-Verhältnissen endodontischer Läsionen. Da die Entzündung des endodontalen und periapikalen Gewebes durch eine polymikrobielle Flora gekennzeichnet ist (KANTZ u. HENRY 1974, FABRICIUS et al. 1982, BYSTRÖM u. SUNDQVIST 1983, SUNDQVIST et al. 1989, CARSON et al. 2005), kann diese Situation jedoch nicht exakt rekonstruiert werden. Um eine den klinischen Gegebenheiten näher kommende Situation zu prüfen, wurden in weiteren Versuchen dieser Studie (Versuchsansätze 3 und 4) eine aerobe bzw. eine anaerobe Mischkultur verwendet. Bei diesen bakteriellen Suspensionen handelte es sich um Probenmaterial aus wurzelkanalbehandelten menschlichen Zähnen, bei denen zuvor mit üblichen Spülmethode keine Keimfreiheit erzielt werden konnte. Diese Herangehensweise ermöglichte zudem eine gesonderte Dokumentation der Einflüsse verschiedener Spülmethode auf speziell aerobe bzw. anaerobe Bakterienfloren.

Die Versuchsansätze 2 - 4 wurden unter standardisierten Bedingungen durchgeführt, um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können. Es wurden neben unterschiedlichen Keimen und Mischkulturen verschiedene Spüllösungen verwendet. Da NaOCl die am häufigsten eingesetzte Lösung für die Wurzelkanalspülung ist (BYSTRÖM u. SUNDQVIST 1983, SHABAHANG u. TORABINEJAD 2003, CARSON et al. 2005), wurde die Wirksamkeit hydrodynamischer und ultraschallgestützter Wurzelkanalspülungen zunächst unter Anwendung einer 1,5%igen NaOCl-Lösung untersucht. Eine weitere anerkannte und in der Literatur empfohlene Wurzelkanalspülmethode ist die Wechselfspülung von 1,5%igem NaOCl und 0,2%igem CHX (BECKER u. WOOLLARD 2001, CARSON et al. 2005). Für

die vorliegende Studie wurden diese geringen, in der klinischen Anwendung nicht als zytotoxisch geltenden Konzentrationen (MOORER u. WESSELINK 1982, VELVART 1987, BEER et al. 1988, YESILSOY et al. 1995, HÜLSMANN 2001) angewendet.

Für alle Spülmethoden wurde ein einheitliches Volumen der Spüllösung von 5 ml gewählt. Die Spülzeiten bei den verschiedenen Methoden waren einheitlich auf 1 min festgelegt, denn insbesondere bei der Verwendung von NaOCl- und CHX-Lösungen zur Wurzelkanalspülung könnte eine längere Spüldauer mit einer erhöhten antibakteriellen Wirkung korrelieren (FERREIRA et al. 2004, BARTHEL et al. 2006).

Ein weiterer möglicher Einflussfaktor liegt in der manuellen Versuchsdurchführung. Die exakte Reproduzierbarkeit aller Arbeitsschritte kann bei Verzicht auf maschinelle Versuchsdurchführung nicht gewährleistet werden. Um Abweichungen dennoch möglichst gering zu halten, wurde die Spülzeit mit einer Stoppuhr überprüft und nur ein Behandler führte die Wurzelkanalspülungen durch, um Abweichungen aufgrund von Unterschieden in Spültechniken oder manueller Handhabung zu minimieren.

Für die Kultivierung des Probenmaterials wurden Blut- und Schaedleragarplatten verwendet. Nahezu alle Arbeitsschritte wurden unter einer sterilen Werkbank durchgeführt. Lediglich die Wurzelkanalspülung erfolgte außerhalb der Werkbank unter Anwendung sterilen Instrumentariums. Bei der Auswertung der bebrüteten Agarplatten wurden keine Anzeichen für eine Superinfektion mit Fremdkeimen gefunden.

In den Versuchen 2 – 4 wurden die antimikrobiellen Eigenschaften verschiedener Spülmethoden unter Anwendung der verschiedenen Spüllösungen über einen Zeitraum von 5 Tagen untersucht. Die Wichtigkeit einer längerfristigen Betrachtung der antimikrobiellen

---

Wirksamkeiten ist besonders durch die Eigenschaften von *E. faecalis* zu begründen. Dieser Keim zeichnet sich sowohl durch eine hohe Resistenz gegenüber antimikrobiellen Spüllösungen als auch durch seine Fähigkeit aus, auch bei komplettem Nahrungsentzug mehr als 7 Tage lebensfähig zu sein (ØRSTAVIK u. HAAPASALO 1990). Um die Effektivität verschiedener Wurzelkanalspülmethoden zu beurteilen, eine Reinfektion des Wurzelkanals und somit einen endodontischen Misserfolg hemmen zu können, ist es demnach wichtig, das Bakterienwachstum im Wurzelkanal über mehrere Tage hinweg auszuwerten. Methodisch war es jedoch nicht möglich, eine über den Zeitraum von 5 Untersuchungstagen hinausgehende Untersuchung durchzuführen, da das Risiko einer Superinfektion mit Fremdkeimen mit der Versuchsdauer korreliert. Im Übrigen ermöglicht der Versuchsansatz über mehrere Tage eine Beurteilung des Depoteffektes von CHX.

Die Anzahl koloniebildender Einheiten in den Versuchsansätzen 2 – 4 wurde semiquantitativ erfasst. Der Vorteil gegenüber einer rein qualitativen Beurteilung des Bakterienwachstums liegt in der Möglichkeit, stärkeres und weniger starkes Bakterienwachstum differenziert darstellen zu können. Eine quantitative Auswertung unter Errechnung von Mittelwerten war aufgrund des Materialmehraufwandes, der durch die Notwendigkeit der Durchführung verschiedener Verdünnungsreihen entstanden wäre, nicht zu rechtfertigen.

Die mit der semiquantitativen Auswertung den einzelnen Versuchsansätzen zugewiesenen Keimzahl-Kategorien geben durch ihre ordinale Anordnung in Form einer Ziffer die Anzahl der Kolonien in ursprünglicher Reihung wieder. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die durchgeführte Varianzanalyse, da die Keimzahl-Kategorie hierdurch quasi-stetige Charakteristika erhält. Angesichts der Robustheit der ANOVA können daher auch in derartigen Fällen, in denen keine eigentlichen stetigen Messwerte eingebracht werden, reliable statistische Berechnungen durchgeführt werden. Als Vorteil dieses Vorgehens gilt,

dass - im Gegensatz zur reinen Kreuztabellierung - in einer Prozedur die Wertigkeit mehrerer Ausprägungen einer Variablen beurteilt und verglichen werden kann.

## **5.2 Diskussion der Ergebnisse**

In allen Versuchen zeigte sich bei dem standardisierten Vorgehen unmittelbar nach der Spülung eine hochsignifikante Überlegenheit aller Wurzelkanalspülmethoden gegenüber der Kontrollgruppe. Dies war auch der Fall, wenn abweichend von der klinischen Anwendung lediglich unter Einsatz von 0,9%iger NaCl-Lösung gespült wurde. Indem hierdurch eine desinfizierende Wirkung der Spüllösung ausgeschlossen wurde, ergeben sich Aussagen über die rein mechanisch begründete Effektivität verschiedener Wurzelkanalspülmethoden. Sowohl die manuelle als auch die beiden mechanisch unterstützten Spülmethoden führten gegenüber der Kontrollgruppe zu deutlich verringerten Keimzahlen von mindestens einer Zehnerpotenz.

Der Vergleich der drei Spülmethoden zeigt, dass bei ähnlichem Zeitaufwand eine hochsignifikant erhöhte Wirksamkeit der ultraschallgestützten wie auch der hydrodynamischen Wurzelkanalspülmethoden gegenüber der manuellen Spülung besteht. Es kann also die Empfehlung gefolgert werden, die manuelle Spülung durch mechanische Spülmethoden zu ergänzen bzw. zu ersetzen.

Die weitere statistische Auswertung von Versuch 1 macht zwischen dem ultraschallgestützten und dem hydrodynamischen System signifikante Unterschiede zugunsten der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülmethode deutlich ( $p=0,011$ ). Ob demnach der Einsatz der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung der hydrodynamischen Spülung auch in der Praxis vorzuziehen ist, wenn antibakterielle Spüllösungen angewendet werden, wurde in den Versuchen 2 - 4 über einen Auswertungszeitraum von mehreren Tagen überprüft. Dabei

unterschieden sich diese Versuchsansätze durch die jeweils verwendete Keimflora. Sämtliche statistischen Analysen belegen jedoch, dass die verwendete Keimflora keinerlei Einfluss auf die Ergebnisse aufweist. Daher soll dieser Parameter bei den folgenden Überlegungen nicht weiter berücksichtigt werden.

Die beiden Verfahren der hydrodynamischen und der ultraschallgestützten Spülung führen unmittelbar nach der Anwendung zu deutlich geringeren Keimzahlen im Wurzelkanal. Eine länger andauernde Wirkung ist jedoch in erster Linie unter Anwendung der kombinierten Wurzelkanalspülung von NaOCl und CHX auszumachen sowie ansatzweise bei Anwendung der ultraschallgestützten Spülung. Es fällt insbesondere bei Anwendung der Wechselfpülung von NaOCl und CHX auf, dass sich unabhängig von der Spülmethode eine 5 Tage anhaltende bakterienhemmende Effektivität nachweisen lässt.

Mit längerer Versuchsdauer schneiden die Anwendungen von NaOCl plus CHX gegenüber der Verwendung von alleinigem NaOCl zunehmend besser ab, so dass 2 und 5 Tage nach der Anwendung hochsignifikante Unterschiede erkennbar sind.

Zentrales Anliegen der Untersuchung sollte der Vergleich der Effektivität der angewendeten Spülmethode sein. In der Varianzanalyse wurde gezeigt, dass zwischen den beiden Verfahren der ultraschallgestützten bzw. der hydrodynamischen Wurzelkanalspülung hierzu keine statistisch signifikanten Unterschiede bestehen. Somit kann das im ersten Versuch erhaltene Ergebnis zugunsten der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülmethode bei Anwesenheit einer keimreduzierenden Spüllösung nicht bestätigt werden.

Dies gilt uneingeschränkt unmittelbar nach der Wurzelkanalspülung. Die detaillierteren Analysen, in denen bezüglich der verwendeten Spüllösung unterschieden wurde, zeigen hingegen ein etwas differenziertes Bild. So

weisen beide Verfahren zwei Tage nach der Spülung durchweg signifikant unterschiedliche Keimzahlen auf. Dabei zeigen die mit dem Ultraschallsystem gereinigten Kanäle unter Anwendung von NaOCl als Spüllösung signifikant bessere Ergebnisse, während unter dem Einfluss der Wechspülung von NaOCl und CHX das hydrodynamische RinsEndo®-System signifikant besser abschneidet. Nach 5 Tagen hingegen sind die mit beiden Verfahren gezeigten Ergebnisse durchweg wieder statistisch gleich.

Diese vertiefende Analyse bestätigt jedoch auch, dass die Spülmethode für die Ergebnisse, ganz im Gegensatz zur angewendeten Spüllösung, von untergeordneter Bedeutung ist. Die geringere Effektivität von NaOCl ist dadurch zu begründen, dass es nicht über einen Depoteffekt verfügt und somit seine größte antibakterielle Wirksamkeit nur während und kurz nach der Anwendung entfaltet. Die zwischenzeitlich mit dem Ultraschallsystem gefundenen besseren Ergebnisse können dadurch erklärt werden, dass durch die mechanische Aktivierung die Spülflüssigkeit tief in die Dentintubuli eindringen kann (Huque et al. 1998, HAUSER 2006). Möglicherweise kann dies durch die infolge der hochfrequent schwingenden Feilenspitze auftretende Erwärmung der Spülflüssigkeit unterstützt sein. So wiesen CUNNINGHAM und BALEKJIAN (1980) eine erhöhte Effektivität einer auf 37°C erwärmten NaOCl-Lösung gegenüber NaOCl-Lösung mit Raumtemperatur gleicher Konzentration nach. Bei dem hydrodynamischen RinsEndo®-System ist dieser Effekt nicht vorhanden.

Als weiteres Argument für die Effektivität der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung kann das „microstreaming“ angeführt werden. Auch diese Eigenschaft, mit der die hochfrequent schwingende Feile ein Eindringen der Spüllösung in die feinen Verästelungen des Wurzelkanalsystems und einen besseren Flüssigkeitsaustausch im Kanal bewirkt, mag kurz nach der Anwendung des Systems eine Rolle spielen, nach längerer Zeit hingegen nicht mehr.



Die nach Tag 0 deutlich überlegene Effektivität der Wechselspülung aus NaOCl und CHX lässt sich vor allem durch die Eigenschaften des CHX begründen. CHX verfügt aufgrund hoher Substantivität über einen Depoteffekt, das heißt, dass es seine antimikrobielle Wirkung über einen langen Zeitraum entfalten kann (KLIMM 2003). Die in den vorliegenden Ergebnissen mit längerer Beobachtungsdauer deutliche Überlegenheit der Wechselspülung von NaOCl und CHX bestätigt diesen Effekt.

Der unter Verwendung von NaOCl und CHX mit dem hydrodynamischen System gegenüber dem Ultraschallsystem gesteigerte antimikrobielle Effekt lässt sich durch den Saug-Spül-Effekt von RinsEndo® erklären, durch den Spüllösungen tief in die Dentintubuli befördert werden. HAUSER (2006) untersuchte die zirkuläre Penetrationstiefe einer eingefärbten NaOCl-Lösung in das Wurzelkanalentin bei Spülung mit dem RinsEndo®-System. Die Studie konnte eine deutlich höhere Eindringtiefe gegenüber der manuellen Wurzelkanalspülung sowie einer Kontrollgruppe nachweisen. In Kombination mit einer Wechselspülung aus NaOCl und CHX wird der antibakterielle Effekt verstärkt, da CHX tief in die Dentintubuli befördert wird und dort durch seinen Depoteffekt eine länger andauernde antimikrobielle Wirkung hervorruft.

In einer Gesamtwürdigung der Studienergebnisse treten die in Abhängigkeit von der Spüllösung wechselnden Vorteile der hydrodynamischen bzw. der ultraschallgestützten Spülmethode, deren klinische Relevanz zudem unklar ist, in den Hintergrund. Es bleibt festzuhalten, dass durch die vergleichende Varianzanalyse zwischen diesen Methoden keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden konnten.

Bei der Wahl der Spülmethode in der klinischen Anwendung sind neben der keimreduzierenden Effektivität jedoch auch andere Parameter zu berücksichtigen. So konnte HAUSER (2006) nachweisen, dass bei dem

RinsEndo®-System die Gefahr der apikalen Extrusion der Spülflüssigkeit, besonders bei offenen Apizes, besteht.

### ***Schlussfolgerungen***

Die Studie hat den Vergleich der hydrodynamischen und der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung zum Inhalt und findet letztlich keinen bedeutsamen Unterschied. Dieses Resultat ist von klinischer Bedeutung. Als klinisch ebenso wichtiges Ergebnis ist jedoch zu konstatieren, dass die Wahl der Spüllösung den größten Einfluss auf das Studienergebnis hat. Dies lässt darauf schließen, dass die Wahl der Spüllösung vor der Wahl der Spülmethode den gewichtigeren Einfluss auf Erfolg und Misserfolg in der Endodontie hat.

Da die Keimflora zu keinem Zeitpunkt der Versuchsreihe einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der koloniebildenden Einheiten hat, kann abgeleitet werden, dass diese Schlussfolgerungen der Studie unabhängig von spezifischen Keimfloren im Wurzelkanal getroffen werden können.

Die Arbeitshypothese, dass das hydrodynamische Wurzelkanalspülsystem gegenüber der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung eine höhere keimreduzierende Effektivität aufweise, kann durch die vorgelegte Studie nicht bestätigt werden.

## 6 Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Studie war, die Effektivität der hydrodynamischen und der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung bei der Desinfektion von Wurzelkanälen zu vergleichen. Die Verfahren der Wurzelkanalspülung wurden nach Wurzelkanalaufbereitung und artifizierter Kontamination mit unterschiedlichen Keimfloren (*E. faecalis*, aerobe und anaeroben Mischkulturen) auf ihre keimreduzierende Wirksamkeit untersucht und auch mit der manuellen Spülung verglichen.

Einwurzelige humane, extrahierte Zähne wurden nach Aufbereitung und Desinfektion mit den bakteriellen Suspensionen kontaminiert. Die Zähne wurden dann randomisiert in Gruppen unterteilt und mit verschiedenen Spülverfahren und -flüssigkeiten standardisiert gereinigt. Es wurden jeweils 5 ml der Spüllösung mit einer Spülzeit von einer Minute verwendet.

In Versuch 1 wurde zunächst der mechanische Einfluss der Spülmethode auf die Reduktion von Bakterien im Wurzelkanal überprüft. Daher wurde hier in Abweichung vom klinischen Vorgehen lediglich mit Kochsalzlösung gespült. In den folgenden Versuchen 2 – 4 mit den verschiedenen Keimfloren wurde als Spüllösung NaOCl in 1,5%iger Lösung der Anwendung einer Wechselfspülung von 1,5%igem NaOCl und 0,2%igem CHX gegenüber gestellt.

Aus den Wurzelkanälen gewonnene Proben wurden anschließend auf Agarplatten ausgespatelt, inkubiert und quantitativ bzw. semiquantitativ bezüglich der Anzahl koloniebildender Einheiten ausgewertet. Nach weiteren 2 bzw. 5 Tagen wurden erneut Proben aus dem Wurzelkanal entnommen und kultiviert, um experimentell der hohen Resistenz und langen Überlebensfähigkeit von *E. faecalis* gegenüber antimikrobiellen Spüllösungen gerecht zu werden.

Im ersten Versuch, ohne chemisch wirksame Spüllösung, konnte eine statistisch signifikant überlegene keimreduzierende Wirkung der hydrodynamischen wie auch der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülungen gegenüber der konventionellen manuellen Spülmethode aufgezeigt werden. Somit kann der Einsatz mechanischer Systeme für die Wurzelkanalspülung empfohlen werden.

Der darauf folgende zentrale Teil der Untersuchung zum Vergleich der hydrodynamischen und der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülmethode konnte keine überlegene keimreduzierende Wirkung eines der beiden Systeme nachweisen. Auch wenn detaillierte statistische Analysen zu einzelnen Untersuchungszeitpunkten mit NaOCl oder mit NaOCl plus CHX als Spüllösung jeweils Vorteile für die hydrodynamische oder die ultraschallgestützte Spülmethode aufzeigen konnten, ist als zusammenfassendes Fazit die gleichermaßen keimreduzierende Unterstützung beider Systeme zu konstatieren. Somit lässt sich aus der Studie keine Empfehlung für oder gegen eines der beiden Systeme ableiten.

Unabhängig von dem eingesetzten Spülverfahren wurde die geringste Anzahl koloniebildender Einheiten mit einer Wechselfpülung aus 1,5%iger NaOCl- und 0,2%iger CHX-Lösung erreicht. Diese Wechselfpülung konnte den antimikrobiellen Effekt beider mechanisch unterstützter Wurzelkanalspülmethode erhöhen, und auch bezüglich eines länger andauernden Effekts der desinfizierenden Lösungen erzielte diese Spülmethode die besten Ergebnisse. Die Wahl der Spüllösung hatte unter den getesteten Parametern den größten Einfluss auf das Untersuchungsergebnis.

Die jeweils eingesetzte Keimflora hatte zu keinem Zeitpunkt einen Einfluss auf die Ergebnisse, so dass die Aussagen zur Gleichwertigkeit der

beiden untersuchten Spülsysteme und der Bedeutung der Wechselpülung unabhängig von der verwendeten Keimflora gelten.

---

## 7 Literaturverzeichnis

Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum IA (1987) Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. J Endod 13:93-101

Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Walton AJ (1988) Ultrasonic debridement of root canals: acoustic cavitation and its relevance. J Endod 14:486-493

Andersen M, Lund A, Andreasen JO, Andreasen FM (1992) In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite. Endod Dent Traumatol 8:104-108

Assed S, Ito IY, Leonardo MR, Silva LA, Lopatin DE (1996) Anaerobic microorganisms in root canals of human teeth with chronic apical periodontitis detected by indirect immunofluorescence. Endod Dent Traumatol 12:66-69

Bae KS, Baumgartner JC, Shearer TR, David LL (1997) Occurrence of *Prevotella nigrescens* and *Prevotella intermedia* in infections of endodontic origin. J Endod 23:620-623

Bahcall J, Howard P, Miserendino L, Walia H (1992) Preliminary investigation of the histological effects of laser endodontic treatment on the periradicular tissues in dogs. J Endod 18:47

Baker NA, Eleazer PD, Averbach RE, Seltzer S (1975) Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. J Endod 1:127-135

---

Barthel C, Georgi M, Schäfer E, Petschelt A, Flachsenberg S, Neuber T, Kockapan C, Weiger R, Hülsmann M (2006) Stellungnahme der DGZMK: Die Wurzelkanalspülung. Zahnärztl Mitt 96:50-51

Baumgartner JC, Cuenin PR (1992) Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. J Endod 18:605-612

Baumgartner JC, Falkler WA Jr (1991) Bacteria in the apical 5mm of infected root canals. J Endod 17:380-383

Baumgartner JC, Mader CL (1987) A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. J Endod 13:147-157

Baumgartner JC, Watkins BJ, Bae KS, Xia T (1999) Association of black pigmented bacteria with endodontic infections. J Endod 25:413-415

Becker TD, Woollard GW (2001) Endodontic irrigation. Gen Dent 49:272-276

Beer R, Keitel S, Gängler P, Wutzler P, Pfister W (1988) Biologische und mikrobiologische Prüfung chlorhaltiger Wurzelkanalspülungen. Stomatol DDR 38:513

Blomlof J, Blomlof L, Lindskog S (1997) Effect of different concentrations of EDTA on smear removal and collagen exposure in periodontitis-affected root surfaces. J Clin Periodontol 24:534-537

Brauner AW, Conrads G (1995) Studies into the microbial spectrum of apical periodontitis. Int J Endod 28:244-248

Byström A, Sundquist G (1981) Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. Scand J Dent Res 89:321-328

---

Byström A, Sundqvist G (1983) Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 55:307-312

Byström A, Sundqvist G (1985) The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J* 18:35-40

Byström A, Happonen RP, Sjögren U, Sundqvist G (1987) Healing of periapical lesions of pulpless teeth after endodontic treatment with controlled asepsis. *Endod Dent Traumatol* 3:58-63

Cachovan G, Ahlers MO, Platzer U, Mack D, Sobottka I (2003) Antimikrobielle Empfindlichkeit parodontalpathogener und anderer Keime gegenüber Moxifloxacin und anderen Antibiotika. *Dtsch Zahnärztl Z* 58:298-301

Çalt S, Serper A (2000) Smear layer removal by EGTA. *J Endod* 26:459-461

Cameron JA (1995) The choice of irrigant during hand instrumentation and ultrasonic irrigation of the root canal; a scanning electron microscope study. *Aust Dent J* 40:85-90

Carson KR, Goodell GG, McClanahan SB (2005) Comparison of the antimicrobial activity of six irrigants on primary endodontic pathogens. *J Endod* 31:471-473

Chavez De Paz LE, Dahlen G, Molander A, Moller A, Bergenholtz G (2003) Bacteria recovered from teeth with apical periodontitis after antimicrobial endodontic treatment. *Int Endod J* 36:500-508



---

Chow TW (1983) Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod* 9:475-479

Cunningham WT, Balekjian AY (1980) Effect of temperature on the collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 49:175-177

Cunningham WT, Martin H (1982) A scanning electron microscope evaluation of root canal debridement with the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53:527-531

Cymbler DM, Ardakani P (1994) Sodium hypochlorite injection into periapical tissue. *Dent Update* 21:34-36

Dalton BC, Ørstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M (1998) Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J Endod* 24:763-767

Deutsch AS, Cohen BI, Musikant BL (2004) Temperature change at the root surface when enlarging a root canal with holmium:YAG (HO:YAG) laser, using six different fiber-optic sizes. *Gen Dent* 52:222-227

Diener Weber C, McClanahan SB, Miller GA, Diener-West M, Johnson JD (2003) The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidine or 5,25% sodium hypochlorite irrigant on residual antimicrobial activity in root canals. *J Endod* 29:562-564

Fabricius L, Dahlén G, Holm SE, Möller AJR (1982) Influence of combinations of oral bacteria on periapical tissues of monkeys. *Scand J Dent Res* 90:200-206

Ferriera R, Alfredo E, Porto de Arreda M, Silva Sonsa Y, Sonsa-Neto M (2004) Histological analysis of the cleaning capacity of nickel-titanium

---

rotary instrumentation with ultrasonic irrigation in root canals. *Aust Endod J* 30:56-58

Gomes BPF, Souza SEC, Ferraz CCR, Teixeira FB, Zala AA, Valdrighi L, Souza-Filho FJ (2003) Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine in vitro. *Int Endod J* 36:267-275

Gomes BP, Pinheiro ET, Gade-Neto CR (2004) Microbiological examination of infected dental root canals. *Oral Microbiol Immunol* 19:71-76

Guerisoli DM, Marchesan MA, Walmsley AD, Lumley PJ, Pecora JD (2002) Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic irrigation. *Int Endod J* 35:418-421

Gulabivala K, Stock LJ, Lewsey JD, Ghori S, Ng YL, Spratt DA (2004) Effectiveness of electrochemically activated water as an irrigant in an infected tooth model. *Int Endod J* 37:624-631

Guldener PHA, Langeland K (1993) *Endodontologie: Diagnostik und Therapie*, 3. Aufl., Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York

Guldener P, Rocke H (1987) Mechanische und Ultraschall-betriebene Wurzelkanalaufbereitung. *ZWR* 96:557-564

Gutarts R, Nusstein J, Reader A, Beck M (2005) In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod* 31:166-170

Hand RE, Smith ML, Harrison JW (1978) Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *J Endod* 4:60-64

---

Hata G, Hayami S, Weine FS, Toda T (2001) Effectiveness of oxidative potential water as a root canal irrigant. *Int Endod J* 34:308-317

Hauser V (2006) Reinigung von Wurzelkanälen mit einem neuartigen hydrodynamischen Spülsystem (RinsEndo®). Med. Dissertation, Bonn

Hellwig E, Klimek J, Attin TH (2003) Einführung in die Zahnerhaltung, 3. Aufl., Urban und Fischer: München

Hennessy TD (1973) Some antibacterial properties of chlorhexidine. *J Periodontol Res* 8 (Suppl12):61-67

Heppeler J, Hülsmann M (2006) Enterococcus faecalis – ein Problemkeim. *Endodontie* 15:137-44

Hülsmann M (2004) Die Anwendung elektro-physikalisch-chemischer Methoden in der Endodontie. *ZWR* 3:85-96

Hülsmann M (2002) Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten. Quintessenz, Berlin

Hülsmann M, Schade M, Schafers F (2001) A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary NiTi-instruments. *Int Endod J* 34:538-546

Huque J, Kota K, Yamaga M, Iwaku M, Hoshino E (1998) Bacterial eradication from root dentine by ultrasonic irrigation with sodium hypochlorite. *Int Endod J* 31:242-250

Ingle JJ, Beveridge EE, Glick DH, Weichman JA (1994) Modern endodontic therapy. In: Ingle JJ, Bakland LK (Hrsg.) : *Endodontics*, 4. Aufl. Lea & Febinger, Philadelphia

---

Jeansonne M, White RR (1994) A comparison of 2.0% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants. J Endod 20:276-278

Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK (1999) Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. J Endod 25:735-738

Jousimies-Somer HP, Summanen P, Citron DM, Baron EJ, Wexler HM, Finegold SM (2002) Wadsworth-KTL Anaerobic bacteriology manual. 6<sup>th</sup> edition, Star Publ, Belmont, CA

Kantz WE, Henry CA (1974) Isolation and classification of anaerobic bacteria from intact pulp chambers of non-vital teeth in man. Arch Oral Biol 19:91-96

Khabbaz MG, Makropoulou MI, Serafetinides AA, Papadopoulos D, Papagiacomou E (2004) Q-switched versus free-running ER:YAG laser efficacy on the root canal walls of human teeth: a SEM study. J Endod 30:585-588

Klimm W (2003) Endodontologie: Grundlagen und Praxis. Dtsch Ärzteverlag, Köln

Klimm W, Pfister W, Eick S, Koch R (2001) Antimicrobial effect of low concentrations of chlorhexidine and sodium hypochlorite. J Dent Res 80 (Spec Iss); 722 (Abstr. 1565)

Klinke T, Pöschmann M, Klimm W (1999) Tiefenkontamination von Wurzelkanalwanddentin mit Nd:YAG-Laserlicht. Dtsch Zahnärztl Z 54:253-257

---

Lee SJ, Strittmatter EJ, Lee SC (1991) An in vitro comparison of root canal content extrusion using ultrasonic and hand instrumentation. *Endod Dent Traumatol* 7:65-68

Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR (2004) The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonic to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J* 37:672-678

Lehmann J, Bell WA, Gerstein H (1981) Sodium lauryl sulfate as an endodontic irrigant. *J Endod* 7:381-384

Levy G (1992) Cleaning and shaping the root canal with Nd:YAG laser beam: a comparative study. *J Endod* 18:123

Love RM (2001) *Enterococcus faecalis*: a mechanism for its role in endodontic failure. *Int Endod J* 34:399-405

Love RM, Jenkinson HF (2002) Invasion of dentinal tubules by oral bacteria. *Crit Rev in Oral Biology & Medicine* 13:171-183

Lumely PJ, Walmsley AD, Laird WR (1991) Streaming patterns produced around endosonic files. *Int Endod J* 24:290-297

Lynne RE, Liewehr FR, West LA, Patton WR, Buxton TB, McPherson JC. (2003) In vitro antimicrobial activity of various medication preparations on *E. faecalis* in root canal dentin. *J Endod* 29:187-190

Marais JT (2000) Cleaning efficacy of a new root canal irrigation solution: a preliminary evaluation. *Int Endod J* 33:320-325

Martin H (1976) Ultrasonic disinfection of the root canal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 42:92-99

---

Martin H, Cunningham W (1985) Endosonics - the ultrasonic synergistic system of endodontics. *Endod Dent Traumatol* 1:201-206

Moore WEC (1987) Microbiology of periodontal disease. *J Periodontol Res* 22:335-341

Moorer WR, Wesselink PR (1982) Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J* 15:187

Murray PB, Baron EJ, Jorgensen JH (2003) *Manual of clinical microbiology*. 8<sup>th</sup> edition, ASM Press, Washington, DC

Nair PNR, Cano V, Vera J (2005) Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after „one-visit“ endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 99:231-52

Nisengard RJ, Goodman AD, Schein B (1994) Periapical infections. In: Nisengard RJ, Newman MG (ed.) *Oral Microbiology and Immunology*. 2<sup>nd</sup> edition, Saunders, Philadelphia

Nolden (1994) *Zahnerhaltungskunde*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Ørstavik D, Haapasalo M (1990) Desinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endod Dent Traumatol* 6:142-149

Pataky L, Iványi I, Grigár Á, Fazekas Á (2002) Antimicrobial efficacy of root canal preparation techniques: An in vitro comparative study. *J Endod* 28:603-605

---

Piccolomini R, D'Arcangelo C, D'Ercole S, Catamo G, Schiaffino G, Fazio P (2002) Bacteriologic evaluation of the effect of Nd:YAG laser irradiation in experimental infected root canals. *J Endod* 28:276-278

Pitt Ford TR (2004) Harty's endodontics in clinical practice. 5th edition, Wright, Edinburgh

Pong-Ying Ng R (2004) Sterilization in root canal treatment: current advances. *Hong Kong Dent J* 1:52-57

Richman MJ (1957) Use of ultrasonics in root canal therapy and root resection. *J Dent Med* 12:12-18

Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW (2003) A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod* 29:674-678

Schäfer E, Hickel R, Geurtsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Raab W (2000) Wurzelkanalaufbereitungen. Gemeinsame Stellungnahme DGZMK/ DGZ. *Dtsch Zahnärztl Z* 55:719-721

Schilder H (1974) Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 18:269-296

Schoop U, Moritz A, Kluger W, Patruta S, Goharkhay K, Sperr W, Wernisch J, Gattringer R, Mrass P, Georgopoulos A (2002) The Er:YAG laser in endodontics: results of an in vitro study. *Lasers Surg Med* 30:360-364

Shabahang S, Torabinejad M (2003) Effect of MTAD on *Enterococcus faecalis*-contaminated root canals of extracted human teeth. *J Endod* 29:576-579

---

Shuping GB, Ørstavik D, Sigurdsson A, Trope M (2000) Reduction of intracanal bacteria using Nickel-Titanium rotary instrumentation and various medicaments. *J Endod* 26:751-755

Siquiera JF jr, Rôças IN, Souto R, Uzeda de M, Colombo AP (2002) Actinomyces species, Streptococci, and Enterococcus faecalis in primary root canal infections. *J Endod* 28:168-172

Sobottka I, Cachovan G, Stürenburg E, Ahlers MO, Platzer U, Mack D (2002) In vitro activity of Moxifloxacin against bacteria isolated in odontogenic abscesses. *Antimicrob Agents Chemother* 46:4019-4021

Solovyeva AM, Dummer PMH (2000) Cleaning effectiveness of root canal irrigation with electrochemically activated anolyte and catholyte solutions: a pilot study. *Int Endod J* 33:494-504

Stamos DE, Sadeglie EM, Haasch GC, Gerstein H (1987) An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic and ultrasonic instrumentation. *J Endod* 13:434-440

Sundqvist G (1983) Endodontische Mikrobiologie. In: Guldener PHA, Langeland K (Hrsg) Endodontologie. Thieme, Stuttgart, S.93-118

Sundqvist G, Johansson E, Sjögren U (1989) Prevalence of black-pigmented Bacteroides species in root canal infections. *J Endod* 15:18-19

Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjögren U (1998) Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 85:86-93



---

Türkün M, Cengiz T (1997) The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness. *Int Endod J* 30:335-342

Tulus G, Schulz-Bongert U (2004) Die ultraschallaktivierte Wurzelkanalspülung - drei Fallberichte. *Endodontie* 13:147-155

Van der Sluis LWM, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR (2006) The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J* 39:472-476

Velvart P (1987) Effektivität der Wurzelkanalaufbereitung mit Ultraschall und unter Anwendung verschiedener Spülmittel. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 97:78-95

Waltimo TMT, Ørstavik D, Sirén EK, Haapasalo MPP (2000) In vitro yeast infection of human dentin. *J Endod* 26:207-209

Yesilsoy C, Whitaker E, Cleveland D, Phillips E, Trope M (1995) Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants. *J Endod* 21:513-515

Zaccaro Scelza MF, Antoniazzi JH, Scelza P (2000) Efficacy of final irrigation - A scanning electron microscopic evaluation. *J Endod* 26:355-358



K	5	5	5	5	5	5	5	5	5
K	5	5	5	5	5	5	5	5	5
K	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ReNaOCl	3	5	5	0	5	5	0	5	5
ReNaOCl	3	5	5	1	5	5	5	5	5
ReNaOCl	4	5	5	2	4	5	1	5	5
ReNaOCl	0	5	5	3	5	5	0	5	5
ReNaOCl	1	5	5	3	5	5	2	5	5
ReNaOCl	4	5	5	1	5	5	4	5	5
ReNaOCl	2	5	5	2	5	5	0	5	5
ReNaOCl	1	5	5	3	5	5	1	5	5
ReNaOCl	1	5	5	0	5	5	1	5	5
ReNaOCl	1	5	5	2	5	5	0	5	5
ReCHX	1	0	1	1	0	0	1	3	0
ReCHX	0	0	3	1	1	0	0	0	1
ReCHX	0	0	1	0	0	0	0	0	0
ReCHX	1	0	1	0	0	2	0	0	1
ReCHX	0	0	0	0	0	0	1	0	0
ReCHX	1	0	1	2	1	4	2	3	3
ReCHX	2	0	0	1	0	2	1	0	0
ReCHX	2	2	0	2	0	2	1	0	0
ReCHX	1	0	0	0	0	0	1	0	0
ReCHX	0	0	0	0	4	5	2	0	3
UNaOCl	1	5	5	2	2	5	2	0	0
UNaOCl	2	5	5	1	3	5	0	5	5
UNaOCl	0	5	5	1	3	5	1	3	4
UNaOCl	0	2	5	2	3	5	0	0	0
UNaOCl	0	5	5	1	4	5	1	0	0
UNaOCl	2	5	5	1	2	5	2	5	0
UNaOCl	1	5	5	1	2	5	1	3	5
UNaOCl	1	5	5	1	3	5	2	5	5
UNaOCl	0	5	5	0	3	5	0	5	5
UNaOCl	0	5	5	0	2	5	1	1	4
UCHX	1	0	0	5	4	2	2	5	2
UCHX	0	0	1	2	3	0	0	4	3
UCHX	0	0	3	2	4	2	1	0	0
UCHX	0	2	1	0	3	0	0	0	0
UCHX	0	2	1	0	3	3	1	5	5
UCHX	1	1	0	1	4	1	3	0	0
UCHX	1	2	1	1	3	1	1	1	0
UCHX	0	2	4	0	4	0	2	0	0
UCHX	0	3	0	0	2	0	3	5	5
UCHX	5	1	0	0	3	0	2	2	0

**Tabelle 22 Semiquantitative Auswertung der Versuche 2 – 4**

**Legende:****Semiquantitative Angabe der Kolonienanzahl:**

Zahlenangabe 0 bis 5 entsprechend Tabelle 8

**Unterteilung nach verwendeten Mikroorganismen:**

E.F.: Enterococcus faecalis (Versuch 2)

Mischaerob: aerobe Mischkultur (Versuch 3)

Mischanerob: Anaerobe Mischkultur (Versuch 4)

**Unterscheidung der Versuchstage:**

d0 bis d5

**Angabe der angewendeten Spülmethode:**

K: Kontrollgruppe

ReNaOCl: RinsEndo® in Kombination mit NaOCl-Lösung

ReCHX: RinsEndo® in Kombination mit einer Wechselfspülung aus NaOCl- und CHX-Lösung

UNaOCl: Ultraschallgestützte Wurzelkanalspülung mit NaOCl-Lösung

UCHX: Ultraschallgestützte Wurzelkanalspülung mit NaOCl- und CHX-Lösung

## 9 Danksagung

Diese Dissertation ist das Resultat der freundlichen Unterstützung zahlreicher Personen unterschiedlicher Universitäten und Städte in Deutschland. Ich möchte mich bei all diesen Personen bedanken, auch bei jenen, deren Namen nicht explizit genannt sind.

Ganz besonders möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Ulrich Schiffner für die persönliche Betreuung und die tatkräftige Unterstützung danken.

Dr. Georg Cachovan danke ich für seine freundliche und unermüdliche Unterstützung und dafür, dass er mir bei der Erstellung dieser Arbeit immer wieder beratend zur Seite gestanden hat.

Dr. Andreas Schult möchte ich herzlich für sein großes Engagement bei der Organisation von Materialien und der Vorbereitung meines Versuchsablaufes in seiner Praxis danken.

Mein besonderer Dank gilt Frau PD Dr. Sigrun Eick für die Anleitung und unermüdliche Hilfe bei der Durchführung meiner Versuche an der Universität Jena. Durch ihre Gastfreundschaft hat sie mir den Aufenthalt in Jena sehr verschönert.

Ich bedanke mich bei Prof. Dr. Wolfgang Pfister, dem Direktor des mikrobiologischen Instituts der Universität Jena, für die Ermöglichung der Durchführung meiner Versuche an seinem Institut.

Des Weiteren danke ich ganz herzlich Dr. Arndt Güntsch für die freundliche Bereitstellung seiner Behandlungseinheit, sowie den Mitarbeiter/innen des mikrobiologischen Instituts in Jena.

Mein Dank gilt Prof. Dr. Karl Wegscheider und Herrn Gerhard Schön, Institut für Medizinische Biometrie und Epidemiologie der Universität Hamburg, für die statistische Beratung.

Ich bedanke mich besonders bei meinen Eltern, meinen Geschwistern und meiner Großmutter für ihre liebevolle Unterstützung im Berufs- wie im Privatleben und ihr unermüdliches Vertrauen in meine Person.

## 10 Lebenslauf

### Person

Name	Saskia Altenhof
Geburtsdatum	02.07.1982
Geburtsort	Wuppertal
Staatsangehörigkeit	Deutsch

### Schulbildung

08/1988 – 07/1992	Besuch der Grundschule am Baum in Velbert
08/1992 – 07/2001	Besuch des Nikolaus-Ehlen-Gymnasiums in Velbert (Abschluss: Abitur)

### Hochschulausbildung

10/2001 – 06/2006	Studium der Zahnmedizin an der Universität Hamburg
07/2006 – 12/2006	Staatsexamen Zahnmedizin an der Universität Hamburg
01/2007 – 09/2008	Verfassen einer Dissertation zu dem Thema „Die Effektivität der hydrodynamischen und der ultraschallgestützten Wurzelkanalspülung im In-vitro-Vergleich“

### Beruflicher Werdegang

08/2007 – 01/2008	Zahnärztliche Entwicklungshilfe in Peru (Deutsches Rotes Kreuz)
02/2008 – 01/2009	Vorbereitungsassistentenzahnärztin in einer Zahnarztpraxis in Hamburg
Seit 02/2009	Ausbildung zum Facharzt für Oralchirurgie in der MKG-Abteilung der Asklepiosklinik in Hamburg

## Zusatzqualifikationen

04/2004 – 06/2005

Auslandsstudienjahr (Zahnmedizin)  
an der Universität Victor Segalen,  
Bordeaux II, Frankreich

07/2005 – 09/2005

Zahnärztliche Entwicklungshilfe in  
Recife, Brasilien  
(Zahnärztliches Hilfsprojekt  
Brasilien, e.V.)

## **11 Erklärung**

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Hamburg, den 13.06.2009

Saskia Altenhof