

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. R. Hickel

**Einfluss von frequenten Wechselstromimpulsen im  
Wurzelkanal auf das periapikale Gewebe – eine in vivo  
Untersuchung im Tierversuch**

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

vorgelegt von

Jana Dolinaj

aus

Alt Pasua

2007

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Ch. Benz

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. M. Dellian

Mitbetreuung durch den  
Promovierten Mitarbeiter: Dr. C. Haffner

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 26.04.2007

Meinen Eltern gewidmet

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT.....</b>	<b>5</b>
2.1	Das Endodontium .....	5
2.2	Der Periapex .....	7
2.3	Die Arbeitslängenbestimmung .....	9
2.3.1	Radiographie .....	9
2.3.2	Endometrie .....	11
2.4	Die Wurzelkanalaufbereitung .....	13
2.4.1	Mechanische Wurzelkanalaufbereitung .....	14
2.4.1.1	Manuelles Instrumentarium .....	14
2.4.1.2	Aufbereitungsprinzipien .....	15
2.4.1.3	Aufbereitung gekrümmter Kanäle .....	16
2.4.1.4	Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung .....	17
2.4.1.5	Ultraschall- und Schallvibrationssysteme .....	18
2.4.2	Chemische Wurzelkanalaufbereitung .....	19
2.4.3	Nicht instrumentelle Arten der Wurzelkanalaufbereitung .....	21
2.4.4	Einfluss auf das periapikale Gewebe .....	22
2.5	Die Wurzelkanalfüllung .....	24
2.6	Problemstellung .....	28
<b>3.</b>	<b>MATERIAL UND METHODE .....</b>	<b>30</b>
3.1	Das Endox-Endodontiesystem .....	30
3.1.1	Betrieb .....	30
3.2	Versuchsaufbau .....	32
3.3	Tierhaltung und Gesundheitskontrolle .....	34
3.4	Intraorale Untersuchung des Rattengebisses und Gewebsentnahme .....	34
3.5	Histologische Untersuchung .....	35
3.6	Statistische Auswertung .....	37
3.7	Legende zu den Diagrammen .....	38

<b>4.</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>39</b>
4.1	Gesundheitskontrolle .....	39
4.2	Intraorale Untersuchung .....	45
4.2.1	Graphische Darstellung .....	46
4.3	Histologische Untersuchung .....	47
4.3.1	Graphische Darstellung .....	49
4.3.2	Histologie .....	50
4.4	Statistische Auswertung .....	56
4.4.1	Zusammenhang zwischen intraoraler und histologischer Untersuchung ....	57
<b>5.</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>60</b>
5.1	Allgemeines .....	60
5.2	Versuchsaufbau .....	60
5.2.1	Impulsabgabe .....	61
5.2.2	Füllungsmaterial .....	63
5.3	Gesundheitskontrolle .....	64
5.4	Intraorale Untersuchung .....	64
5.5	Histologische Untersuchung .....	64
5.6	Schlussfolgerung .....	66
<b>6.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>68</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>91</b>
8.1	Abkürzungsverzeichnis .....	91
8.2	Danksagung .....	92
8.3	Lebenslauf .....	93

# 1. EINLEITUNG

Bis etwa zur Mitte des 19. Jahrhunderts befasste sich die Zahnmedizin vor allem mit der Bekämpfung von Schmerzen, wobei verantwortliche Zähne meist entfernt wurden. Den für den Patienten damit einhergehenden ästhetischen und kaufunktionellen Problemen konnten kaum begegnet werden. Erst mit dem Beginn einer wissenschaftlichen Zahnmedizin gewannen Aspekte der Zahnerhaltung an Bedeutung. In diesem Zusammenhang ist insbesondere auch die Entwicklungen des Fachbereichs der Endodontologie zu sehen. Heutzutage ist gerade hier die Erwartungshaltung der Patienten bezüglich des Behandlungserfolges hoch. Daher besteht in der endodontischen Forschung Bedarf nach neuen technischen Hilfsmitteln zur zeitsparenden und effektiven Aufbereitung und Reinigung des Wurzelkanals.

Bereits in vorchristlicher Zeit wurden Versuche zur Therapie des Endodonts unternommen (Milas 1987). Erste Beschreibungen der Pulpabehandlung mit dem Brenneisen zum „Austrocknen des Schleims“ (die Pulpa war damals noch nicht bekannt) gehen auf Hippokrates im 5. Jahrhundert v. Chr. zurück (Hoffmann-Axthelm 1985).

Celsus beschreibt eine Schmerzbehandlung mittels einer in heißes Öl getauchten Sonde (Lilley 1976).

Nach Überlieferungen von Galenus empfahl um 100 n. Chr. der hoch angesehene Chirurg Archigenes die Trepanation des Zahnes. Diese Überlieferung über den Einsatz des ersten Zahnbohrers in Form eines Drillbohrers wird als eine Sternstunde in der Zahnheilkunde betrachtet (Kraus 1953; Lilley 1976; Hoffmann-Axthelm 1985).

Erste Hinweise auf eine sich bis in die Wurzelkanäle erstreckende Therapie findet man bei Falcucci (1357 – 1411), der ein narkotisierendes Medikament mit Nadeln in die Kanäle bringt (Wolter 1955).

Im Paris des 17. Jahrhunderts behandelte Dupont schmerzende Zähne indem er sie luxierte und nach Abriss des Gefäß-Nerven-Bündels replantierte. Erst 1843 sprach sich Desirabode gegen diese Methode aus. Dieser bevorzugte, ebenso wie Linderer 1851 (Driak und

Schönbauer 1960) und Nessel 1856, das Brenneisen, das „cauterium actuale“ (Hoffmann-Axthelm 1985).

Dieses „cauterium actuale“ wurde zu Beginn des 19. Jahrhunderts durch das „cauterium potentiale“, eine Devitalisierung mittels chemischer Substanzen, in den Hintergrund gedrängt (Hülsmann 1996). Auch Hunter (1728-1793), dem besondere Erkenntnisse über die Anatomie der Zähne zustehen, empfahl schon den Einsatz eines Ätzmittels, welches man bis in die Wurzelspitzen einbringen sollte, um die Weichgewebe, in denen der Schmerz sitzt, zu beseitigen (Kraus 1953; Lässig und Müller 1983; Hoffmann-Axthelm 1985). Das bereits in chinesischen Schriften 4000 v. Chr. zur Schmerzlinderung erwähnte Arsen fand erst 1833 bei Wood in Form von Scherbenkobalt und 1836 bei Spooner im Arsentrioxid seine weitere Verbreitung bei der Behandlung von Pulpaerkrankungen (Strübig 1989).

Fauchard war einer der ersten, der in seinem 1782 erschienen Werk „Le chirurgien dentiste“ über Instrumente zur Trepanation, zur Aufbereitung der Wurzelkanäle und zum Kauterisieren berichtete (Wolter 1955; Milas 1987). Doch das Verdienst, das erste aus einer feinen Uhrfeder konstruierte Aufbereitungsinstrument entwickelt zu haben, wird Edward Meynard (1838) zugeschrieben (Grossmann 1976; Belizzi und Cruse 1980; Strübig 1989). Bedmore beschrieb 1786 bereits die Erweiterung des Wurzelkanals (Wolter 1955). Mills (1883) und Richmond (1884) entfernten die Pulpa dagegen mit Orangenholz- oder Hickorystäbchen (Curson 1965; Grossmann 1971; Cruse und Belizzi 1980; Milas 1987).

Nach bereits im 18. Jahrhundert (1756) von Pfaff durchgeführten Experimenten zur Abdeckung der Pulpa mit Goldkappchen wurde die Technik der Pulpaüberkappung als Alternative zur Extirpation und Devitalisation durch Koeckers um 1920 wieder in die Diskussion eingeführt (Anthony und Grossmann 1945; Wolter 1955; Strübig 1989). Barbarisch klingt hingegen die 1893 von Schreier beschriebene Technik der Wurzelkanalaufbereitung, wobei metallisches Natrium und Kalium in den Wurzelkanal eingebracht werden und mit Luft auf das Heftigste oxidieren (Greve 1952; Grossmann 1971; Milas 1987).

Die Abwendung von der Zahnwurm-Theorie als Ursache der Pulpanekrose und das Erkennen der bakteriellen pulpalen Infektion markieren den Übergang zur Ära der Antiseptika in der Wurzelbehandlung. Das Hauptaugenmerk war nun die Desinfektion des Wurzelkanals

(Hülsmann 1996). Die Grundlage hierfür schuf die Einführung des Kofferdam durch Barnum im Jahre 1864 (Milas 1987). Es wurden unterschiedliche Substanzen und Mixturen ausprobiert, darunter das 1882 von Walkhoff eingeführte Chlorphenol und das von Gysi 1894 verwendete Wasserstoffperoxid sowie Trikesolformalin (Wolter 1955; Grossmann 1987). Nur wenige Jahre nach der Entwicklung des Penizillins wurde auf Anregung von Grossman auch der Wurzelkanal mit Antibiotika behandelt (Belizzi und Cruse 1980; Grossman 1987). Ostby stellte 1957 das EDTA als unterstützendes Medium zur mechanischen Aufbereitung vor (Grossmann 1987).

1885 wird der erste Gates-Glidden-Bohrer zur Erweiterung der Kanäle beschrieben (Szep 1995). Als Erfinder des ersten speziellen Endodontie-Winkelstücks gilt Rollins (1899). Er benutzte eine Nadel, die in ein speziell konstruiertes Winkelstück eingesetzt wurde, dessen Umdrehungszahl reduziert war, um die Fraktur der feinen Instrumente zu verhindern (Milas 1987). Obwohl sich in einzelnen Lehrbüchern auch zuvor schon Abbildungen von maschinell betriebenen Aufbereitungssystemen finden, kann erst ab Ende der 50er Jahre, mit der Einführung des Racer-Feilkopfes 1958 durch Binder und mit der Vorstellung des Giromatic-Winkelstücks 1964, von einer Ära der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung gesprochen werden. Mit der Entwicklung des Canal-Finder-Systems im Jahre 1984 stand erstmals ein maschinelles Aufbereitungssystem mit modifiziertem, nicht vollständig starrem Bewegungsablauf zur Verfügung (Hülsmann 1996).

Das erste Ultraschallgerät kam erst 1980 auf den Markt, obwohl dessen Anwendung bereits 1957 von Richman beschrieben wurde (Wickmann 1994). Ingle ging davon aus, dass dieses neue System bisher anerkannte Methoden ersetzen könnte (Ingle und Taintor 1985), doch fand diese Ansicht in der Literatur geteilte Zustimmung (Loushine et al. 1989). Das erste Schallvibrationssystem folgte 1984 (Wickmann 1994).

Seit Mitte der 60er Jahre werden Laser in der Zahnheilkunde eingesetzt. Gutknecht berichtet 1991 über den vollständigen Verschluss von Dentintubuli nach Behandlung mit Laserstrahlen, die mittels Quarzfasern mit einem Durchmesser von 200 µm in kleinste und gekrümmte Wurzelkanäle geleitet werden. Eine genaue Einschätzung, insbesondere der Langzeitwirkung, ist jedoch noch nicht möglich (Sievert 1998).



Erste Versuche zur Anwendung der Elektrizität bei der Pulpaextirpation unternahmen Spence (1818-1882) und Hall (1790-1857) (Wolter 1955). 1883 stellt Cohn eine Methode der Sterilisation im Wurzelkanal mittels elektrischer Verfahren vor (Prinz 1917). Auch Knappwost entdeckte im Jahre 1951 den elektrischen Strom für die Zahnheilkunde und wandte die Technik der Ionophorese auf die Endodontie an (Knappwost 1953). Sunada entwickelte ein Endometer zur Bestimmung der Zahnlänge, welches mit Hilfe der Strommessung unter Annahme eines konstanten Widerstands arbeitet (Sunada 1961).

Das Endox-Endodontiesystem (Lysis srL Mailand/Italien) kombiniert die Endometrie mit der Elektrosterilisation und präsentiert somit ein völlig neuartiges Behandlungskonzept. Unter endometrischer Kontrolle wird eine Stahlnadel in den Wurzelkanal eingeführt und hochfrequente Wechselspannung appliziert. Die kurzfristige Temperaturerhöhung soll zu einer Verdampfung von erkranktem Gewebe der Pulpa sowie zu einer Reduktion von Keimen im Wurzelkanalsystem führen. Die anschließende geringgradige Aufbereitung des Wurzelkanals dient ausschließlich einer gesicherten Obturation. Die vorliegende Untersuchung konzentriert sich auf den Einfluss der Stromapplikation auf das pulpaale und periapikale Gewebe und die dabei auftretenden Veränderungen.

## 2. LITERATURÜBERSICHT

### 2.1 Das Endodontium

Als Endodontium wird die Einheit aus Pulpa samt ihren Odontoblastenfortsätzen und dem Dentin bezeichnet (Borssen und Sundqvist 1981; Van Velzen et al. 1988). Die Kenntnis der Zahnanatomie ist eine Voraussetzung für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung (Wheeler 1976). Die Form der Wurzelkanäle mit der darin enthaltenen Wurzelpulpa ist vielgestaltig. Zumeist liegen bizarr geformte Wurzelkanäle mit zahlreichen Ausbuchtungen und Verästelungen (Ramifikationen) sowie unterschiedlich gestaltete Wurzelquerschnitte vor (Fischer 1901; Hess 1917; Meyer und Scheele 1954; Eifinger 1970; Baumann 1995). Allein in den letzten 10 Jahren wurden zahlreiche Studien zur Wurzelkanalanatomie durchgeführt (Carlsen und Alexandersen 1997; Imura et al. 1998; Maggiore et al. 1998; Stropko 1999; al Shalabi et al. 2000; Artal und Gani 2000; Mortman und Ahn 2000; Peters et al. 2000; Tam und Yu 2002; Teixeira et al. 2003; Oi et al. 2004; Jung et al. 2005). Aufgrund dessen wird heutzutage vom Wurzelkanalsystem gesprochen.

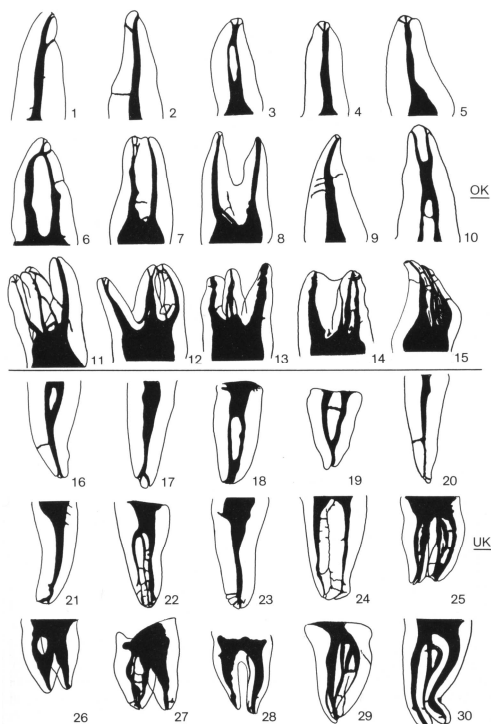


Abbildung 1: Wurzelkanalsystem.  
(Schroeder 1992)

Es ist nicht nur wichtig zu wissen, wie viele Wurzeln und Kanäle jeder Zahn besitzt, wie lang die einzelnen Zähne im Durchschnitt sind und wie ausgeprägt Wurzelkrümmungen sein

können, sondern auch Kenntnis von der mikroskopischen Anatomie des Endodontiums zu haben.

Die Pulpa besteht hauptsächlich aus lockerem Bindegewebe, kollagenen Fasern, Gefäßen, Nerven, sowie verschiedenen Zellen. Bei letzteren sind Fibroblasten, Odontoblasten und Abwehrzellen zu unterscheiden. Die einlagige Odontoblastenzellschicht befindet sich in der Peripherie der Pulpa, unmittelbar am Prädentin gelegen. Jeder Odontoblast besitzt einen Zellfortsatz, der sich in dem zugehörigen Dentinkanälchen befindet (Schroeder 1992). Pulpawärts schließt sich dem einschichtigen Odontoblastensaum eine zellarme Weil-Zone an, gefolgt von einer zellreichen Zone (Heidemann 2001).

In der Wurzelpulpa finden sich Blut- und Lymphgefäße sowie Nervenbündel, die sich allesamt in der Kronenpulpa zu einem fein verästelten Netzwerk verzweigen (Heidemann 2001). Die Verteilung der Blutgefäße ist im koronalen Bereich der Pulpa etwa doppelt so hoch wie im apikalen Bereich (Seltzer und Bender 1984). Neben den Blut- und Lymphgefäßen treten auch Nervenfasern am Foramen apicale in die Pulpa ein. Die Nerven zur Versorgung der Zahnpulpa stammen aus dem N. trigeminus sowie aus dem autonomen Nervensystem. In der Peripherie der Kronenpulpa fächern sich die Pulpanerven baumartig auf und bilden unterhalb der Odontoblasten den subodontoblastischen Raschkow-Nervenplexus (Eifinger 1970).

Die mineralisierte Hartschubstanz Dentin bildet die Hauptmasse des Zahnes, vermittelt dem einzelnen Zahn seine spezifische Gestalt, wird koronal von Schmelz und im Wurzelbereich von Zement überzogen und beherbergt die Pulpa (Schroeder 1992). Dentin besteht zu 70 Gew.% aus anorganischem und zu 20 Gew.% aus organischem Material (Hellwig et al. 1999). Den Rest bildet Wasser. Der größte Teil des organischen Anteils sind kollagenartige Verbindungen (91-92%). Der mineralische Anteil (Hydroxylapatitkristalle) besteht hauptsächlich aus Phosphat und Kalzium und enthält verschiedene Spurenelemente (Schroeder 1992).

Dentin wird von Odontoblasten gebildet, dessen Zellfortsätze (Tomes'sche Fasern) in den Dentinkanälchen liegen und das gesamte Dentin bis zur Schmelz-Dentin- und Schmelz-Zement-Grenze durchziehen. Die Dentinkanälchen sind im koronalen Bereich S-förmig gekrümmt, im Wurzelbereich verlaufen sie geradlinig nach außen (Schroeder 1992). Außer

den Tomes'schen Fasern enthalten sie auch Gewebsflüssigkeit, organische Strukturen und eventuell Endäste sensibler Nerven (Beer und Baumann 1997). Ungefähr 80% des Gesamtquerschnitts des Dentins bestehen pulpanah aus dem Lumen der Dentinkanälchen. Peripher beträgt dieser Wert etwa 4% (Hellwig et al. 1999).

## 2.2 Der Periapex

Das apikale Parodontium ist der Teil des Parodontiums, der die Wurzelspitze umgibt. Es enthält drei verschiedene Gewebearten - das Zement, das Desmodont und den Alveolarknochen (Hellwig et al. 1999).

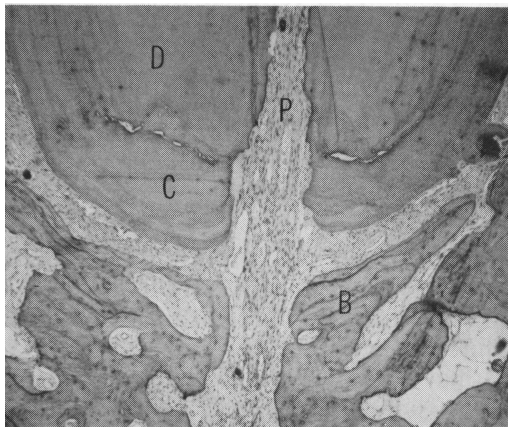


Abbildung 2: Der Periapex (Seltzer 1988)

- D - Dentin
- P - Pulpa
- C - Zement
- B - Alveolarknochen

Der Wurzelzement ist ein mineralisiertes aber uneinheitliches Bindegewebe, das die äußere Oberfläche der Zahnwurzel bedeckt. Es verankert die desmodontalen Kollagenfaserbündel (Sharpey Fasern) mit der Wurzeloberfläche und ist diejenige Zahnhartsubstanz, die in ihrer Struktur und Härte dem menschlichen Knochen am meiste ähnelt, jedoch nicht vaskularisiert ist. Sein Mineralgehalt beträgt ungefähr 61 Gew.% und besteht vornehmlich aus Kalzium und Phosphat in Form von Apatitkristalliten oder amorphem Kalziumphosphat. Die organische Komponente macht in etwa 27 Gew.% aus und besteht zu 90% aus Kollagenen vom Typ I. Den Rest bildet Wasser (Schroeder 1992).

Nach dem Vorkommen von Fasersystemen im Zement und der Verteilung von Zementozyten unterscheidet man verschiedene Zementarten, deren Verteilung und Dicke unter anderem auch funktionellen Reizen unterliegt. Koronal, in Richtung der Schmelz-Zement-Grenze,

befindet sich azelluläres, fibrilläres Zement, während man apikal und im Bereich der Bi- und Trifurkation zelluläres Faserzement findet (Schuhmacher et al. 1990).

Das Desmodont ist zwischen der Wurzeloberfläche des Zahnes und dem Alveolarknochen lokalisiert und stellt ein faserreiches, derbes Bindegewebe dar. Die desmodontalen Fasern gewährleisten eine gelenkartige Verbindung zwischen den beiden Zahnhartsubstanzen (Heidemann 2001). Ihre Anzahl wird mit 28000/mm<sup>2</sup> Zementoberfläche angegeben, wobei die Zahl der kollagenen Fasern pro Faserbündel zunimmt, sobald der Zahn in Okklusion tritt (Hellwig et al. 1999). Neben den Sharpey'schen Fasern enthält das desmodontale Gewebe verschiedenartige Zellen (u. a. Fibro-, Osteoblasten, Osteoklasten, Histiozyten, Malassez'schen Epithelreste), Grundsubstanz (Proteoglykane, Glykoproteine und Lipide), Gefäße und Nerven. Im Vergleich zu anderen Bindegewebe ist das desmodontale Bindegewebe sehr stark vaskularisiert. Das dichte, anastomosierende Blutgefäßnetz bildet apikal und intraradikulär die so genannten Wedl'schen Gefäßknäuel, welche das Stauchungsreservoir des Desmodonts bei Belastung darstellen (Hellwig et al. 1999; Heidemann 2001). Die Innervation des Desmodonts erfolgt über Fasern des N. trigeminus und enthält Fasergruppen des sensorischen und autonomen Systems, welche im Regelkreis der Okklusion eine wichtige Rolle spielen (Schuhmacher et al. 1990).

Am physiologischen Apex des Zahnes geht das Pulpagewebe in das desmodontale Gewebe über und wird teilweise als apikales Mischgewebe gesondert genannt. Unter funktionellen, pathologischen als auch therapeutischen Aspekten sollte das Pulpagewebe und das apikale Desmodont stets gemeinsam betrachtet werden (Heidemann 2001).

Der Alveolarknochen ist Teil des Alveolarfortsatzes der mit dem Zahndurchbruch entsteht, einer ständigen Remodellation unterliegt und sich nach Zahnverlust zurückbildet. Die Zahnalveolen sind mit einer dünnen, stark durchlöcherten Alveolarinnenkortikalis (Lamina cribrosa) ausgekleidet, die vestibulär und oral in eine unterschiedlich dicke, von Periost bedeckte Außenkortikalis übergeht. Dazwischen befindet sich Spongiosa (Schroeder 1992). Die Struktur der Kortikalis und der Knochenbälkchen der Spongiosa besteht aus Haver'schen System (Osteonen) und interstitiellen Lamellen, entspricht also generell derjenigen anderer Knochen (MacMillen 1924). Die Kortikalis ist im Unterkiefer stärker ausgebildet als im Oberkiefer und oral generell dicker als vestibulär (Schroeder 1992).

## **2.3 Die Arbeitslängenbestimmung**

Voraussetzung für den Erfolg in der Wurzelkanalbehandlung ist die exakte Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge. Als Arbeitslänge bezeichnet man die Distanz zwischen koronalem (Schneidekante, Höckerspitze) und apikalen Referenzpunkt (Foramen physiologicum). Ohne Kenntnis der Wurzelkanallänge kommt es unvermeidlich zu Fehlinstrumentation, die den Erfolg der eingeleiteten Therapie in Frage stellen kann. Durch eine Überinstrumentierung wird das periapikale Gewebe traumatisiert. Die Gefahren einer Unterinstrumentierung sind nekrotisches oder infiziertes Gewebe im Kanal zu belassen und den Kanal unvollständig abzufüllen: ein periapikales entzündliches Geschehen kann geschaffen oder unterhalten werden (Hülsmann 1991).

Das pulpoparodontale Mischgewebe zwischen Foramen physiologicum und Foramen apicale sollte bei der Aufbereitung nicht tangiert werden (Guldener und Langeland 1987). Die durchschnittliche Entfernung des physiologischen Foramen zum röntgenologischen Apex beträgt 1,1 mm, zum anatomischen Apex 0,8 mm (Vande Voorde und Bjorndahl 1969).

Aus den verschiedenen Methoden zur Bestimmung der Arbeitslänge haben sich die Röntgenmessmethode und die elektrische Längenmessung (Endometrie) als die zwei bedeutendsten herausgestellt (Stoll et al. 2001).

### **2.3.1 Radiographie**

Mit der Einführung der Röntgentechnik 1895 wurde den Zahnärzten erstmalig eine Methode gegeben die Arbeitslänge annähernd korrekt zu bestimmen (Hülsmann und Rödiger 2001). Die Röntgenmessaufnahme stellt seitdem die gebräuchteste, bewährteste und auch lange Zeit die einzig vernünftige Technik zur Bestimmung der Arbeitslänge dar (Damaschke und Ott 1997).

Da sich weder das Foramen physiologicum noch das Foramen apicale anhand der Röntgenaufnahme direkt ermitteln lässt, ist die Arbeitslänge grundsätzlich 1mm kürzer als die Zahnlänge bis zum radiologischen Apex zu wählen (Guldener und Langeland 1987).

Von den zahlreichen Möglichkeiten die radiologische Arbeitslänge zu bestimmen, ist die von J. Ingle am weitesten verbreitet. Dabei wird ein röntgenopakes Aufbereitungsinstrument in den Wurzelkanal eingebracht und eine Röntgenaufnahme angefertigt. Die Länge des Aufbereitungsinstruments richtet sich entweder nach der Diagnoseaufnahme oder nach der Durchschnittslänge des zu behandelnden Zahnes. Die Distanz der Instrumentenspitze zum gewünschten apikalen Aufbereitungspunkt wird ausgemessen und nach der Formel zur Berechnung der Arbeitslänge entsprechend korrigiert (Ingle 1975; Hülsmann und Rödiger 2001).

**Röntgenologische Zahnlangenbestimmung**

$$TLZ = \frac{RLZ \times TLI}{RLI}$$

RLZ = Röntgenologische Länge des Zahnes  
 TLI = Tatsächliche Länge des Instrumentes  
 RLI = Röntgenologische Länge de Instrumentes  
 TLZ = Tatsächliche Länge des Zahnes

$$AL = TLZ - 1\text{mm}$$

AL = Aufbereitungslänge

Abbildung 3: Formel zur Berechnung der Arbeitslänge

Die Festlegung eines reproduzierbaren koronalen Referenzpunktes und seine Darstellung auf der Röntgenmessaufnahme sind für die Bestimmung der Arbeitslänge unabdingbar (Hülsmann 1991).

Mit den seit 1987 auf dem Markt verfügbaren digitalen Röntgensystemen kann man filmlos Röntgenbilder aufnehmen und direkt digital weiterverarbeiten (Benz und Mouyen 1989; Nelvig et al. 1992). Hierzu werden entweder CCD-Bildaufnahmesensoren (Charge Coupled Device) oder Speicherfolien verwendet. In einem Sensor wird die Röntgenstrahlung durch eine Verstärkerfolie in sichtbare Strahlung umgewandelt und dem CCD-Chip zugeführt. Diese Signale digitalisiert eine Auswertelektronik in Graustufen, die auf dem Computer darstellbar sind (Benz und Mouyen 1989; Benz et al. 1990). Auf den Speicherfolien werden Informationen zwischengespeichert und mit einem Laserscanner ausgelesen. Vorteile der digitalen Radiographie sind die schnelle Verfügbarkeit der Bildinformationen, das Entfallen der Kosten für Entwicklungsautomaten und vor allem eine deutlich geringere

Strahlungsmenge. Nachteilig sind die relativ hohen Anschaffungskosten und die steifen, kleinen und nur im Rechtwinkelhalter anzuwendenden Sensoren (Stoll et al. 2001).

Neben der Längenangabe liefert die endodontische Radiographie zahlreiche weitere therapierelevante Informationen: Man gewinnt Kenntnis über Ausmaß, Art und Lage der Kanalkrümmung, zusätzliche Wurzelkanäle, Ausmaß periapikaler Veränderungen, noch nicht entferntes Wurzelfüllmaterial in Revisionsfällen oder Aufbereitungsfehler. Limitationen ergeben sich aus der zweidimensionalen Wiedergabe eines dreidimensionalen Objektes. Die Röntgenmessmethode ist also immer eine arbiträre Bestimmung der Lage des physiologischen Foramens. Darüber hinaus wird die Bildanalyse immer von Routine, Kenntnissen und Konzentration des Auswerters beeinflusst (Hülsmann und Rödiger 2001).

Da die Radiographie eine nicht absolut perfekte Methode zur endodontischen Längenbestimmung darstellt, ist die Kombination mit der elektrischen Längenbestimmung (Endometrie) zu empfehlen (Hülsmann 1991; Hülsmann und Rödiger 2001).

### **2.3.2 Endometrie**

Anfang des 20. Jahrhunderts gab es erste Überlegungen über die Anwendung elektrischer Hilfsmittel zur Kanallängenbestimmung (Hülsmann 1991). 1942 bewies Suzuki in Experimenten an Hundezähnen, dass der Widerstand zwischen Mundschleimhaut und apikalem Desmodont konstant ist (Suzuki 1942). Basierend auf dieser Feststellung entwickelte Sunada 1961 ein erstes Endometer zur Bestimmung der Arbeitslänge (Sunada 1961). Es handelte sich um ein einfaches Widerstandsmessgerät, welches mit einer Gleichstromquelle ausgestattet war. Über mehrere Zwischenstufen wurden diese ersten Apexlokalisatoren, die noch ungenaue Messergebnisse lieferten und nur in absolut trockenen Wurzelkanälen verwendet werden konnten, durch moderne Wechselstromsysteme verdrängt, die auf dem Prinzip der Impedanzquotientenmessung (Berechnung der Länge anhand der Messung von Wechselstromwiderständen zwischen Mundschleimhaut und Desmodont bei zwei unterschiedlichen Frequenzen) basieren (Hör und Attin 2001). Bei diesen Geräten der sogenannten vierten Generation kann der elektrolytische Einfluss von Flüssigkeiten (Natriumhypochlorit, Blut, Pus, Lokalanästhetika) im Wurzelkanal auf die endometrische Längenbestimmung vernachlässigt werden (Saito und Yamashita 1990). Die früher



beschriebenen Messungengenauigkeiten bei Zähnen mit entzündlichen apikalen Veränderungen, weitem Foramen apicale beziehungsweise noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum wirken sich heute ebenfalls nicht mehr aus (Hülsmann und Pieper 1989; Fouad et al. 1993; Katz et al. 1996).

Für die neuesten Geräte wird eine Messgenauigkeit von ca. 90% bei der Bestimmung des Foramen apicale angegeben (Pagavino et al. 1995; Vajrabhaya und Tempmongkol 1997; Dunlap et al. 1998). Darüber hinaus hat die endometrische Längenbestimmung viele Vorzüge (Guldener und Langeland 1987):

- Messung erfordert nur geringen Zeitaufwand,
- während der Behandlung ist diese stets wiederholbar,
- Messung auch mit ISO 6-10, die im Röntgenbild kaum sichtbar sind, möglich,
- Einsatz zur erweiterten Diagnostik bei fraglicher Perforation von Kavität oder Kanal,
- keine Strahlenbelastung: wichtig bei der Behandlung von Kindern und Schwangeren,
- relativ sichere Ermittlung des Foramen physiologicum / apicale.

Der Beitrag der Endometrie zur Bestimmung der Arbeitslänge ist von unschätzbarem Wert. Ihr Einsatz kann jedoch die Röntgenaufnahme nicht ersetzen. Daher wird von den meisten Autoren empfohlen die Endometrie mit der Radiologie zu kombinieren, um auf diese Art und Weise zu einer größeren Präzision zu gelangen (Guldener und Langeland 1987).

## 2.4 Die Wurzelkanalaufbereitung

Erfolg und Misserfolg der Wurzelkanalbehandlung hängt maßgeblich von der Aufbereitung, dem „cleaning and shaping“ des dreidimensionalen, komplexen Wurzelkanalsystems ab (Schilder 1974). Die Anforderungen an die Wurzelkanalaufbereitung sind heute unumstritten. Es wird eine gleichmäßige Erweiterung des anatomisch vorgegebenen Wurzelkanals gefordert. Diese ist so durchzuführen, dass eine sich nach apikal gleichmäßig verjüngende, konische Präparationsform resultiert, deren größter Durchmesser am Kanaleingang und der kleinste im Bereich des physiologischen Foramens liegt (Cohen und Burns 1991; Weine 1996). Die Präparationsform muss die ursprüngliche Kanalform weitestgehend respektieren und den Kanal zumindest im apikalen Drittel nicht begradigen (Weine et al. 1975; Weine et al. 1976; Van Velzen et al. 1988; Tronstad 1991; Saunders und Saunders 1992; Walton 1992; Stock et al. 1997).

Neben der Schaffung der Konizität für die Obturation des Wurzelkanals werden folgende Anforderungen an die Wurzelkanalaufbereitung gestellt (Heidemann 2001):

- Reduktion der Keimanzahl und deren Stoffwechselprodukte,
- Entfernung von *Debris* bzw. infiziertem Dentin,
- Entfernung des gesamten Pulpagewebes und dessen Zerfallsprodukten,
- und die in jüngster Zeit kontrovers diskutierte Entfernung des *Smearlayers*.

Als *Debris* bezeichnet man lockere, schollenförmige Ablagerungen aus abgeschabtem Dentin, welche sich nach einer instrumentellen Aufbereitung an der Kanalwand wiederfinden. Bei Belassen könnten sie von den Aufbereitungsinstrumenten nach apikal gestoßen werden und die Apikalregion verholzen („apical plug“) oder sogar über das Foramen physiologicum gepresst werden und dort eine Entzündungsreaktion hervorrufen (Heidemann 2001).

Der *Smearlayer* ist ein aus organischen und anorganischen Bestandteilen zusammengesetzter Belag bestehend aus Resten des Pulpagewebes, Prädentin und Odeontoblastenfortsätzen, zermahlenem Dentinabrieb. Bei infizierter Pulpa enthält er auch Bakterien. Diese oberflächliche Schicht, welche die Kanalwand bedeckt, wird bei der Wurzelkanalaufbereitung 4-50 µm in die Dentintubuli gepresst. Der Smearlayer stellt eine Barriere für Spülflüssigkeiten und antibakteriell wirksame Pharmaka dar. Darüber hinaus verringert der Smearlayer die

Haftung von Füllmaterialien auf der Dentinoberfläche und führt zu einer reduzierten Dichtigkeit der Wurzelfüllung (Kockapan 1995; Sen et al. 1995). In letzter Zeit wird diskutiert, ob die Entfernung des Smearlayers und die Offenlegung der Dentintubuli nicht eher nachteilig sind: es wird befürchtet, dass bei koronaler Undichtigkeit die nicht verbolzten Dentintubuli reinfiziert werden könnten (Peters 1993; Kockapan 1995; Sen et al. 1995).

Im Falle einer infizierten Papanekrose kann man Bakterien bis zu einer Tiefe des Dentins von 1,2 mm nachweisen. In diesem Falle scheint eine vollständige Keimeliminierung mit rein instrumentellen Methoden nicht möglich. Diese kann bestenfalls in Kombination mit einer chemischen (und eventuell auch medikamentösen oder elektrischen) Desinfektion erreicht werden (Bystroem und Sundquist 1981).

## **2.4.1 Mechanische Wurzelkanalaufbereitung**

### **2.4.1.1 Manuelles Instrumentarium**

Für die manuelle Ausschachtung des Wurzelkanallumens steht heute ein umfangreiches Sortiment unterschiedlichster Instrumente zur Verfügung. Hier sollen die drei wichtigsten Instrumententypen vorgestellt werden: *Reamer*, *Hedstroem-Feile* und *K-Feile*.

*Reamer* sind verwundene Drei- oder Vierkantstähle, die am effektivsten bei leichter Drehbewegung arbeiten. Sie sind geeignet zur Erschließung des Wurzelkanals und gelten als sehr bruchstabil. *Hedstroem-Feilen* sind gefräste Rundstähle, die, wie der Name es schon vermuten lässt, mit feilenden Bewegungen eingesetzt werden. Sie haben einen kleinen Kern und sind aufgrund dessen stärker frakturgefährdet als Reamer oder K-Feilen aber weisen auch die größte Schneidleistung auf. Hedstroem-Feilen sind geeignet zum lateralen Materialabtrag in bereits gängigen Kanälen. *K-Feilen* sind Drei- oder Vierkantstähle, die deutlich stärker verwunden sind als Reamer. Sie können mit Dreh- und Zugbewegung eingesetzt werden und nehmen eine Zwischenstellung zwischen den Reamern und Hedstroem-Feilen ein. Damit vereinen diese Instrumente die Vorteile von Reamern und Hedstroem-Feilen, das Gleiche gilt auch für die jeweiligen Nachteile (Schäfer 1998).

Die Neuerungen auf dem manuellen Instrumentensektor betreffen vor allem die Instrumentengeometrie und die zur Instrumentenherstellung verwendeten Materialien. Die

wichtigsten neuartigen Instrumente sind Edelstahlinstrumente mit erhöhter Flexibilität, hochflexible Instrumente aus Nickel-Titan oder Instrumente mit nichtschneidender (Batt-) Spitze. Die besten Ergebnisse in Bezug auf Schneidleistung, Beibehaltung der Kanalform bei Aufbereitung gekrümmter Kanäle und Frakturresistenz erzielen die flexiblen Edelstahlinstrumente mit nichtschneidender Spitze (Schäfer et al. 1995; Tepel et al. 1995; Tepel et al. 1997).

#### **2.4.1.2 Aufbereitungsprinzipien**

In der endodontischen Literatur finden sich zahlreiche Aufbereitungstechniken, die man vor allem in apikal-koronale und koronal-apikale Aufbereitungstechniken unterscheidet (Beer und Baumann 1997). In der jüngsten Zeit geht der Trend zu den Letztgenannten (Heidemann 2001; Carrotte 2004).

Die *standardisierte Technik* ist eine apikal-koronale Präparationsform und wurde zum ersten Mal 1961 von Ingle vorgestellt. Sie eignet sich zur Aufbereitung gerader Kanäle und anschließender Füllmethode mit einem einzelnen Zentralstift, oder früher Silberstiften. Die Präparationsform des Kanals entspricht der Konizität des zuletzt verwendeten Instruments (Ingle 1961). Nachteilig sind die häufige apikale Begradigung der Kanäle und Schwierigkeit einer gezielten Apikalpräparation (Heidemann 2001).

Die *Step-back-Technik* (Mullaney 1979) stellt eine Modifikation der standardisierten Aufbereitungsmethode dar. Bei dieser Technik ergibt sich eine zunehmende Konizität des Kanals nach koronal, die das Abfüllen deutlich erleichtert und den Verschluss mit der lateralen Kondensationstechnik ermöglicht. Das Risiko von Stufenbildung und Perforationen wird reduziert (Walton 1992).

Die *Step-down-Technik*, als koronal-apikale Aufbereitungsmethode wurde von Goerig et al. ausführlich beschrieben (Goerig et al. 1982). Es folgten andere, ähnliche Techniken wie die *Crown-down-pressureless-* (Morgan und Montgomery 1984) oder *Double-flared-Technik* (Fava 1983). Das gemeinsame Prinzip dieser Techniken ist, dass der koronale Anteil des Kanals vor dem apikalem gereinigt und erweitert wird. Die Vorteile gegenüber der Step-back-Technik sind folgende (Heidemann 2001; Carrotte 2004):

- der Zugang zum apikalen Kanalanteil wird erleichtert durch die frühe Elimination von Dentinüberhängen,
- das Risiko nekrotisches Material über den Apex zu schieben wird minimiert,
- Penetration von Spülflüssigkeiten wird erleichtert,
- und die Häufigkeit einer Kanalverbolzung durch Debris nimmt ab.

Für die *Balanced-force-Technik* werden spezielle flexible Feilen mit nichtschneidender Spitze benötigt. Diese werden auf Arbeitslänge eingebracht, mit leichtem Druck nach apikal abwechselnd im und gegen den Uhrzeigersinn rotiert und aus dem Kanal herausgezogen. Diese Vorgehensweise erfordert Fingerspitzengefühl und ermöglicht eine apikale Präparation bis zu Größen von ISO 45-80. Dabei werden weitestgehend präparationsbedingte Abweichungen verhindert (Roane et al. 1985).

#### **2.4.1.3 Aufbereitungen gekrümmter Kanäle**

Die Mehrzahl der Wurzelkanäle weist eine mehr oder weniger starke Krümmung auf, die sich in vielen Fällen nicht in der röntgenologisch darstellbaren mesio-distalen Ebene erstreckt, sondern in bucco-palatinaler bzw. –lingueller Richtung verläuft.

Eine Kategorisierung der Kanalkrümmung beschrieb Schneider. Neben dem Grad der Krümmung müssen weitere Parameter beachtet werden, wie die Lage der Krümmung, der Krümmungsradius und die Tatsache, dass alle Krümmungen dreidimensional verlaufen (Schneider 1971).

Die Gefahren bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle sind eine übermäßige Begradigung des Wurzelkanals, die im schlimmsten Fall bis zur Perforation im Bereich der kleinen Krümmung führen kann, Stufenbildung, ungleichmäßiger Substanzabtrag und somit Verbleib von Bakterien und Gewebe im Wurzelkanal, und schließlich die Ausbildung des so genannten *Zip-Elbow-Effekts* (Guldener und Langeland 1987; Weine 1996; Beer und Baumann 1997; Heidemann 2001). Der letztere beschreibt eine kolben- oder trichterförmige Ausdehnung des apikalen Wurzelkanalabschnitts, welche durch die zunehmende Unflexibilität der im Wurzelkanal rotierten Feilen entsteht (Weine et al. 1975). Daher muss bei der Präparation gekrümmter Wurzelkanäle das Vorgehen modifiziert werden.

Es empfiehlt sich die Verwendung vorgebogener, flexibler Feilen, die nicht rotierend eingesetzt werden dürfen. Durch das Kürzen der Instrumentenspitze um 1mm kann man Zwischengrößen herstellen (ISO 12, 17, 22 usw.) und noch zusätzlich mit einer diamantierten Feile die zur Außenseite der Krümmung zeigende Schneiden abrunden (Weine et al. 1970). Die Verwendung von rotierenden Instrumenten (Gates-Glidden-Bohrer) zur Erweiterung des koronalen und mittleren Kanalabschnitts vor der Apikalpräparation reduziert die Friktion während der apikalen Instrumentierung (Taylor 1984).

#### **2.4.1.4 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitungen**

Um dem Behandler das zeitaufwendige und mühsame Verfahren der Wurzelkanalaufbereitung zu erleichtern und somit die Effektivität zu steigern werden seit den 50-er Jahren maschinelle Hilfen zur Wurzelkanalaufbereitung angeboten. Der heutige Markt bietet eine Vielzahl solcher Systeme.

Die ersten konventionellen Endodontie-Winkelstücke, die einen höheren Bekanntheitsgrad erlangten, waren das Racer-Winkelstück (Cardex) und das Giromatic-System (MicroMega). Diese Winkelstücke sowie deren Nachfolger (Endolift, Endocursor) hielten weitestgehend am Prinzip des starren Bewegungsablaufes fest. In der Literatur wurden wesentliche Vorbehalte gegenüber diesen Systemen geäußert: mangelhafte Reinigung, Längenverlust und vor allem die hohe Frakturgefahr (Hülsmann 1993; Hülsmann und Stryga 1993; Hülsmann 2000).

Neuere Endodontie-Winkelstücke zeichnen sich durch flexible und zum Teil völlig neuartige Antriebssysteme aus, die komplizierte Bewegungsabläufe ausführen (Heidemann 2001). Das Canal-Finder-System (SET) (Levy 1985) bewies, dass es zur Erschließung sehr enger und stark gekrümmter Wurzelkanäle besser geeignet ist als Handinstrumente. Angaben zur Sauberkeit und Formgebung des Kanals variieren, während die Frakturgefahr minimiert wurde (Tronstad und Niemczyk 1986; Hülsmann 1993; Hülsmann und Stryga 1993; Hülsmann 2000).

Die Entwicklung der Nickel-Titan-Instrumente hat die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung revolutioniert (Carrotte 2004). Nickel-Titan Legierungen wurden in der amerikanischen U-Boot-Forschung entwickelt und in der Endodontie zuerst vor 15 Jahren eingesetzt. Die Flexibilität dieser Instrumente ist im Vergleich zu konventionellen Stahlinstrumenten erheblich erhöht (Heidemann 2001; Baumann 2004). Anfängliche Probleme wie die hohe

Frakturnrate und initiale Anwendungsschwierigkeiten wurden behoben (Bergmans et al. 2001; Baumann 2004). Fest steht, dass Nickel-Titan-Systeme sehr gut die Kanalkrümmung erhalten können. Die Querschnittsform ist im Anschluss an die Präparation nahezu rund (Heidemann 2001). Aktuelle Ergebnisse zeigen, dass die apikale Präparation besser durchführbar ist, und dadurch eine bessere Spülung und Obturation des Wurzelkanals möglich werden (Peters 2004). Die Verwendung von rotierenden Nickel-Titan-Systemen ist nicht nur für erfahrenen Behandler geeignet, auch Unerfahrene erzielen sehr große Erfolge (Baumann und Roth 1999; Sonntag et al. 2003). Eine Senkung der Frakturnrate und leichte Erhöhung der Taktilität erfolgte durch Entwicklung von speziellen drehmomentbegrenzten Endomotoren (Gambarini 2000; Gambarini 2001).

An der Optimierung der Nickel-Titan-Systeme wird ununterbrochen gearbeitet. Die Kombination von anatomischen, biologischen und pathophysiologischen Wissen mit der Verwendung von Nickel-Titan-Instrumenten ist ein großer Schritt in Richtung einer Qualitätsoptimierung der Wurzelkanalbehandlung (Baumann 2004).

#### **2.4.1.5 Ultraschall- und Schallvibrationssysteme**

Martin und Cunningham prägten den Begriff „endosonics“ und führten mit ihren Studien die Ultraschallaufbereitung in die Endodontie ein (Martin und Cunningham 1984; Martin und Cunningham 1985). Es gibt Geräte die entweder mit piezoelektrischen Effekten oder auf Basis der Magnetostriktion arbeiten. Die Frequenz der erzeugten Schwingungen liegt bei 25-40 kHz. Ultraschallsysteme bestechen vor allem durch ihre hervorragende antibakterielle Wirkung (Barnett et al. 1985; Sjogren und Sundqvist 1987; Velvart 1987; Ahmad et al. 1990) und gute Ergebnisse in Bezug auf Entfernung des Smearlayer (Prati et al. 1994). Während in früheren Studien die Reinigungswirkung vor allem auf den Kavitationseffekt zurückgeführt wurde, bewiesen neuere Studien, dass hierfür primär akustische Strömungsphänomene verantwortlich sind (Stock 1991). Die Aufbereitungsfehler wie Begradigung, Zip-Elbow-Präparation, Verlust der Arbeitslänge oder das Überpressen von Dentinspänen kommen jedoch häufiger vor als bei der manuellen Präparation (Heidemann 2001).

Schallvibrationssysteme arbeiten im Frequenzbereich von 1500-4000 Hz und haben somit eine größere Amplitude an der Instrumentenspitze. Sie sollen den Ultraschallsystemen hinsichtlich der Arbeitssicherheit überlegen sein (Heidemann 2001). Fragen zur Formgebung oder Effektivität des Materialabtrages im Vergleich zu Ultraschallsystemen, manueller oder

maschineller Aufbereitung sind auf Grund der divergierenden Untersuchungsergebnisse schlecht zu beurteilen (Langeland et al. 1985; Martin und Cunningham 1985; Stock 1991; Hülsmann 1993; Jensen et al. 1999; Cherukara et al. 2002; Sabins et al. 2003).

#### **2.4.2 Chemische Wurzelkanalaufbereitung**

Die alleinige mechanische Aufbereitung kann das Wurzelkanalsystem nicht optimal reinigen, egal ob maschinell oder manuell gearbeitet wird. Die Präparation des Wurzelkanals muss immer durch eine geeignete Spülung unterstützt werden (Guldener und Langeland 1987; Heidemann 2001). Ein geeignetes Spülmittel sollte folgende Eigenschaften aufweisen (Guldener und Langeland 1987):

- Auflösung vitalen und nekrotischen Gewebes,
- antimikrobielle Effizienz und Dekontamination von Endotoxinen (Zehnder et al. 2003),
- Abtransport von Dentinspänen und Entfernung des Smearlayer,
- geringe Toxizität,
- Gleitmittel für die Aufbereitungsinstrumente (Heidemann 2001),
- Bleichwirkung.

Aufgrund der Vielfalt der sich auf dem Markt befindlichen Spüllösungen sollen hier nur die gängigsten vorgestellt werden.

Das *Natriumhypochlorit* ( $NaOCl$ ) ist eine meist farblose und wenig beständige Flüssigkeit mit einem pH-Wert von etwa 11. In der internationalen endodontischen Literatur wird  $NaOCl$  als Standardspülmittel angegeben (Harrison 1984; Grossman et al. 1988; Van Velzen et al. 1988; Petschelt 1989; Weine 1996). Über die optimale Konzentration schwanken die Empfehlungen zwischen 0,5% und 5,25% (Guldener und Langeland 1987; Grossman et al. 1988), wobei die gewebssauflösende Wirkung erst ab 1% gegeben ist (Spangberg et al. 1973; Baumgartner und Cuenin 1992). Das  $NaOCl$  schafft die effizienteste Auflösung von pulpalem Gewebe (Grossman und Meiman 1941; Svec und Harrison 1977).



Das starke Zellgift *Wasserstoffperoxid* ( $H_2O_2$ ) wird in der Zahnmedizin zum Bleichen von Zähnen und als Wurzelkanalspülung eingesetzt. Die verwendete Konzentration liegt bei 3%-5%. Der freiwerdende Sauerstoff des  $H_2O_2$  ist in der Lage Gewebereste und Dentinspäne aus dem Wurzelkanal herauszuschäumen.  $H_2O_2$  kann anaerobe Mikroorganismen zerstören (Hülsmann 1997), aber es besitzt keine gewebsauflösende Wirkung (Guldener und Langeland 1987). Einige Autoren empfehlen eine Wechselspülung mit NaOCl und  $H_2O_2$  um die Reinigungswirkung zu erhöhen. Andere können keinen signifikanten Unterschied zwischen einer reinen NaOCl-Spülung und der Wechselspülung feststellen (Guldener und Langeland 1987; Hülsmann 1997).

Das *EDTA* (*Ethylendiamintetraessigsäure*) ist der bekannteste Chelator (Nygaard-Ostby 1957). Chelatoren sind chemische Substanzen, die an die Kalziumionen des Dentins binden und somit die Zahnhartsubstanz erweichen können (Seidberg und Schilder 1974; Ram 1980). In der Endodontie wird die Verwendung einer 15%-igen EDTA-Lösung mit einem pH-Wert von 7,3 empfohlen (Guldener und Langeland 1987). EDTA hat keine Wirkung auf Pulpagewebe oder organische Substanzen (Koskinen et al. 1980), doch eine intensive Abschlusspülung des Wurzelkanals reduziert deutlich den Smearlayer (Goldberg und Abramovich 1977; Koskinen et al. 1980).

*Zitronensäure* (40-50%) wirkt ähnlich effektiv auf anaerobe Bakterien wie NaOCl (Nikolaus et al. 1988), und bewirkt eine gute Entfernung des Smearlayer (Baumgartner et al. 1984; Petschelt und Oberschachtsiek 1985).

Die Wirkung von *Chlorhexidin* kann mit der von NaOCl verglichen werden (Seichter und van der Schelling 1987), aber das Verhältnis von antibakterieller Wirkung zu Zytotoxizität fällt sehr ungünstig aus (Spangberg et al. 1973). Die Kombination von NaOCl und Chlorhexidin erzielt den maximalen antimikrobiellen Effekt (Heling und Chandler 1998; Becker und Woollard 2001).

Die Wirkung von *physiologischer Kochsalzlösung* beruht allein auf dem Spüleffekt. Da es die gewebefreundlichste aller Spüllösungen ist, empfehlen sie einige Autoren als Abschlusspülung (Heling und Chandler 1998; Becker und Woollard 2001).

Die Effektivität der Wurzelkanalspülung kann durch die so genannte *aktivierte Spülung* gesteigert werden. Dazu werden Ultraschall- und Schallvibrationssysteme verwendet. Bei Verwendung von NaOCl ergibt sich eine Steigerung der gewebsauflösenden Wirkung (Martin 1976; Cunningham et al. 1982; Moorers und Wesselink 1982). Der gesteigerte antibakterielle Effekt ist unumstritten (Sjogren und Sundqvist 1987; Cheung und Stock 1993).

### **2.4.3 Nicht instrumentelle Arten der Wurzelkanalaufbereitung**

1993 stellten Lussi und Mitarbeiter eine neue Methode zur Wurzelkanalaufbereitung vor. Die *nicht-instrumentelle Aufbereitungstechnik (NIT)* arbeitet im Unterdruckbereich mit schnell wechselnden Druckschwankungen. Sie bedient sich des Phänomens der Kavitation und bewirkt die Auflösung des Pulpagewebes bis in die Seitenkanälchen hinein (Lussi et al. 1993). In vivo zeigt die Studie noch mangelhafte Ergebnisse (Attin et al. 2002), doch in vitro werden vergleichbare oder bessere Reinigungseffekte bei geringerem Zeitaufwand im Vergleich zur konventionellen Wurzelkanalaufbereitung erreicht (Lussi et al. 2004).

Die von Knappwost propagierte *Depotphorese* versucht mithilfe von Kupfer-Kalziumhydroxid den Wurzelkanal zu desinfizieren. Der Großteil des wissenschaftlichen Materials stammt aus der Zeit Ende der 50er- und Anfang der 60er-Jahre. Es sind keine wissenschaftlichen Nachweise für die propagierte Wirkungsweise der alkalischen Proteolyse von Geweberesten und Bakterien zu finden (Hülsmann 2004). Die DGZMK befindet in ihrer Stellungnahme aus dem Jahre 2000 folgendes: „Die Depotphorese kann daher nicht als wissenschaftlich gesicherte endodontische Behandlungstechnik angesehen werden. Ihre Anwendung widerspricht den Grundsätzen zeitgemäßer endodontischer Therapie. Die Aufführung derartiger, wissenschaftlich nicht abgesicherter Methoden in zahnärztlichen Gebührenordnungen darf nicht als Legitimation ihrer Anwendung verstanden werden.“(DGZMK 2000)

*Laser* wurden für verschiedene Zwecke in der Endodontie untersucht. Übereinstimmend bestätigt man die gute Desinfektionswirkung einiger Lasertypen. In der Literatur wird auch die Möglichkeit der Wurzelkanalaufbereitung besprochen. Es ist aber zweifelhaft ob diese Verfahren klinisch anwendbar sind, da die Effektivität der Reinigung gering ist. Folgende Probleme sind noch nicht hinreichend gelöst:

- Laser sind in der Lage Dentin zu einer porzellanähnlichen Substanz zu verschmelzen, aber es können Haarrisse in der Zahnhartsubstanz entstehen.
- Die Eindringtiefe in den Kanal ist schwer zu kontrollieren, was zu Verletzungen des Periapex führen kann.
- Folgen der Laseranwendung können periapikale Resorptionen, Entzündungen und Ankylosen sein.
- Die gleichmäßige Wurzelkanalbearbeitung wurde bislang noch nicht nachgewiesen.
- Die Faseroptiken der Laser sind im Kanal frakturgefährdet.

Derzeit haben Laser noch keine Praxisreife erlangt. Es sollten noch weitere klinische Untersuchungen abgewartet werden (Heidemann 2001; Hülsmann 2004; Stabholz et al. 2004).

#### **2.4.4 Einfluss auf das periapikale Gewebe**

Nach Extirpation der Pulpa entsteht eine unvermeidbare Wunde. Der anfänglichen Blutung folgt die Bildung eines Gerinnsels und eine Entzündungsreaktion wird hervorgerufen. Generell ist der Schweregrad der Entzündungsreaktion proportional zum Ausmaß der Weichteilverletzung. Einige Tage nach der Extirpation werden die Fasern des Desmodonts durch ein Ödem und die alveoläre Knochenresorption geweitet und durch Granulationsgewebe ersetzt. Auch der Wurzelzement wird zum Teil resorbiert. Bei günstigem Verlauf beginnt die Regeneration des Gewebes zugleich mit der Entzündungsreaktion. Histologisch ist die Regeneration nach 6 Monaten beendet (Seltzer 1988).

Durch zu kurze Instrumentierung des Wurzelkanals kann eine periapikale Reaktion erfolgen, die eine Heilung verzögert oder gar unmöglich macht. Eine chronische Entzündung kann durch folgende Faktoren entstehen: Verbleib von Bakterien oder deren Endotoxinen in den nicht instrumentierten Bereichen des Wurzelkanals, Infektion und Nekrose des verbliebenen Gewebes mit permanenter Irritation des Periapex und biologische Variationen in Bezug auf die immunologische Abwehrreaktion (Seltzer 1988; Heidemann 2001).

Eine Überinstrumentierung des Wurzelkanals verursacht sogar noch größere Irritationen des Periapex als die zu kurze Instrumentierung (Seltzer et al. 2004). Neben der mechanischen Irritation kann es zum Überstopfen von möglicherweise infiziertem Gewebe in den Bereich

des Periapex kommen. Darüber hinaus können Spülflüssigkeiten das periapikale Parodont schädigen. Die Bandbreite der Komplikationen erstreckt sich von zeitlich begrenzten Entzündungs- und Schmerzreaktionen bis zum Emphysem oder akutem Alveolarabszess (Seltzer 1988; Heidemann 2001).

Um eine Über- oder Unterinstrumentierung zu verhindern, ist die Definition des apikalen Stopps besonders wichtig. Die Definition desselben wird aber in der Literatur immer noch kontrovers diskutiert (Hasselgren 1994; Gutmann und Witherspoon 1998). Aufbereitungsfehler die zum Verlust der Arbeitslänge führen sind unbedingt zu vermeiden (Heidemann 2001).

Bei Zähnen mit einem offenen Apex oder bei umfangreichen apikalen Läsionen und bei Überinstrumentierung wird zwangsläufig Spülflüssigkeit in das periapikale Gewebe extrudiert. Durch Natriumhypochlorit können ernste Komplikationen wie Schmerzen, Schwellung, Nekrose oder sogar Abszesse und Parästhesien entstehen (Reeh und Messer 1989; Becking 1991; Ehrich et al. 1993). Wasserstoffperoxid im periapikalen Gewebe kann Emphyse verursachen (Bhat 1974). EDTA hemmt die Funktion von Makrophagen und setzt somit die Abwehrreaktion herab (Koulaouzidou et al. 1999). Konzentrationen von Chlorhexidin, die bakterizid wirken, haben auch eine starke zytotoxische Wirkung (Sanchez et al. 1988; Tatnall et al. 1990). In der Literatur wurde von akuter Überempfindlichkeit und anaphylaktischen Reaktionen nach Behandlung mit Chlorhexidin berichtet (Bergqvist-Karlsson 1988; Lauerma 2001). Somit sollte man Chlorhexidin nur in Ausnahmefällen verwenden, z. B. bei Patienten die auf Natriumhypochlorit allergisch sind (Hauman und Love 2003).

Um die Gefahr der Extrusion der Spülflüssigkeit über das Foramen physiologicum zu minimieren sollten folgende Maßnahmen beachtet werden: den exzessiven Druck auf den Stempel der Spritze verhindern, nie die Kanüle im Kanal verkeilen, die Kanüle mit einem Tiefenmarkierungsstopp versehen, bevor sie in den Kanal eingeführt wird und wenn möglich, die Konzentration der Spülflüssigkeit herabsetzen. Die Verwendung von Kofferdam ist immer angezeigt (Becker und Woollard 2001).

## 2.5 Die Wurzelkanalfüllung

Nur nach einem erfolgreichen „cleaning and shaping“ des Wurzelkanals ist die abschließende Obturation des Wurzelkanals angezeigt. Ziele der Wurzelkanalfüllung sind einen biokompatiblen, gegen Flüssigkeiten und Bakterien undurchlässigen und dauerhaften Verschluss des Wurzelkanalsystems bis zum apikalen Endpunkt zu schaffen und unbedingt mit einem dichten koronalen Verschluss zu kombinieren (Guldener und Langeland 1987; Heidemann 2001; Gutmann und Witherspoon 2002). Bei einer erfolgreichen Wurzelkanaltherapie wird dem koronalen Verschluss und der Abwehrreaktion des Immunsystems die Schlüsselrolle zugeschrieben (Gutmann und Witherspoon 2002).

Es gibt heute an die 500 verschiedenen Wurzelfüllmaterialien (Sauerwein 1985). Die Anforderungen an ein ideales Wurzelfüllmaterial sind folgende (Grossman 1981):

- ein dichter lateraler und vertikaler Verschluss des Kanals,
- keine Reizausübung auf das periapikale Gewebe,
- keine Schrumpfung,
- kein Durchlass von Feuchtigkeit,
- bakteriostatisch sein bzw. das Bakterienwachstum nicht begünstigen,
- sterilisierbar,
- leicht in den Kanal einführbar (und evtl. entfernbar),
- den Zahn nicht verfärben,
- Radioopazität.

Bis heute ist es nicht gelungen ein Wurzelfüllmaterial zu finden, welches allen Anforderungen entspricht. International werden die Wurzelfüllmaterialien in solide und semisoliden Materialien eingeteilt. In der Vergangenheit wurden vielfach semisoliden Materialien, wie Pasten und Zemente, zur alleinigen Wurzelkanalfüllung verwendet. Dies wird in der aktuellen Literatur wegen der überwiegenden Nachteile (Lufteinschlüsse, Inhomogenitäten, Schrumpfung) nicht empfohlen (Guldener und Langeland 1987; Heidemann 2001).

Solide Materialien können durch ihre Steifigkeit leicht im Wurzelkanal platziert werden und zugleich ist eine Längenkontrolle möglich. Metallstifte, deren Einsatz in der Vergangenheit

propagiert wurde (Hülsmann 1995) weisen Nachteile wie Korrosionserscheinungen, Zytotoxizität oder geringe Abdichtungsmöglichkeiten auf (Heidemann 2001).

Das heute am häufigsten verwendete solide Wurzelfüllmaterial ist *Guttapercha* (Weine 1996; Gutmann und Witherspoon 2002). Die Vorteile von Guttapercha sind die gute Biokompatibilität, Unempfindlichkeit für Feuchtigkeit, antibakterielle Wirkung, leicht einbring- und entfernbar, die Radioopazität und geringe allergene Wirkung. Wenige Nachteile stehen dem gegenüber: Guttapercha lässt sich schlecht sterilisieren, es kann als genormter Stift nicht die komplexen Verästelungen des Wurzelkanalsystems nachempfinden, die Form des Stiftes kann nicht verändert werden, da sich das Gefüge von Guttapercha nicht komprimieren lässt (Heidemann 2001; Gutmann und Witherspoon 2002). Die Zusammensetzung der Guttaperchastifte variiert stark. Ein Stift enthält 19%-22% Guttapercha, 59%-75% Zinkoxid, der Rest besteht aus verschiedenen Wachsen, Farbstoffen, Antioxidantien und Metallsalzen (Friedman et al. 1975).

Die Verwendung eines *Sealers* ist essentiell für den Erfolg der Wurzelkanalfüllung. Der Sealer ist ein Zement, der das solide Wurzelfüllmaterial umgibt und die Unregelmäßigkeiten der Wurzelkanalwand ausgleicht, leicht antibakterielle Eigenschaften aufweist und die Haftung des Kernmaterials an der Wurzelkanalwand verbessern soll (Gutmann und Witherspoon 2002). Präparate aus der Zinkoxid-Eugenol-Gruppe haben gute versiegelnde Eigenschaften und verhindern somit die Penetration von Speichel oder Bakterien. Kalziumhydroxide sollen die Hartgewebsbildung anregen und somit die Ausheilung apikaler Parodontiden unterstützen. Resine sind nur gering wasserlöslich, adhären am Dentin und sollen eine Abbindeexpansion mit sich bringen. Glasionomerezemente wirken antibakteriell (Orstavik 1988). Oft sind Sealer Kombinationen aus mehreren Komponenten (z. B. Sealapex von Kerr) (Gutmann und Witherspoon 2002). Das Problem stellt die Biokompatibilität der Sealer dar. Die meisten Sealer sind frisch angemischt, aber auch in abgebundener Form toxisch und rufen Gewebsirritationen hervor (Spangberg und Langeland 1973). Wichtig für jeden Kliniker ist die genaue Indikationsstellung für die Verwendung eines bestimmten Sealers unter Beachtung der Herstellerangaben bezüglich Materialeigenschaften und Verarbeitung (Gutmann und Witherspoon 2002).

Unter den Wurzelkanalfülltechniken mit Guttapercha unterscheidet man Kalt- und Warmtechniken. Zu den Kalttechniken gehören die Zentralstifttechnik und die laterale

Kondensation. Die besten Ergebnisse werden erzielt wenn das Verhältnis von 95% Guttapercha zu 5% Sealer erreicht wird (Beer und Baumann 1997). Bei der *Zentralstifttechnik* wird nur ein, mit Sealer beschickter (Wiemann und Wilcox 1991), Guttaperchastift (Masterpoint) in den Kanal eingeführt. Diese Methode eignet sich zum Abfüllen von exakt runden Kanälen. Da es nahezu keine exakt runden Kanäle gibt (Kerekes und Tronstad 1977; Kerekes und Tronstad 1977; Kerekes und Tronstad 1977) und der Zementanteil äußerst hoch ist, wird diese Methode als nicht mehr zeitgemäß und akzeptabel bewertet (Heidemann 2001).

Die *laterale Kondensation* ist die Methode der Wahl bei Kaltstifttechniken. Unter Zuhilfenahme von Finger-Spreadern werden zum Masterpoint zusätzliche, dünnere Guttaperchastifte in den Wurzelkanal eingeführt. Somit kann das Verhältnis von Guttapercha zu Zement günstig beeinflusst werden und Kanäle entsprechend ihrem Lumen abgefüllt werden. Die Zuhilfenahme von Finger-Spreadern aus Nickel-Titan-Legierungen verbessert die Qualität der Wurzelfüllung in gekrümmten Kanälen (Guldener und Langeland 1987; Heidemann 2001; Gutmann und Witherspoon 2002).

Die erste Warmtechnik, die weite Verbreitung erfuhr, ist die *vertikale Kondensation* nach SCHILDER (Schilder 1967). Der mit Sealer beschickte Mastercone wird auf ein bis zwei mm vor den Apex in den Wurzelkanal eingebracht und das koronale Ende abgeschmolzen. Dann wird mit einem erhitztem Kompaktor (Plugger) der Guttaperchastift Richtung Foramen apicale kompaktiert. Diese Methode bringt großen zeitlichen, instrumentellen und radiologischen Aufwand mit sich. Nachteile sind, dass Zement und Guttapercha ins apikale Parodontalgewebe überpresst werden können, was eine Fremdkörperreaktion auslöst (Guldener und Langeland 1987; Heidemann 2001).

Seit Schilder wurden viele Warmtechniken entwickelt. Warme Guttapercha kann mit *Injektionsverfahren* in den Wurzelkanal eingebracht werden (Obtura I und II, Obtura Spartan; Ultrafil, Hygenic). Durch diese Technik können Unregelmäßigkeiten des Wurzelkanallumens sehr gut ausgeglichen werden und teilweise auch Seitenkanälchen gefüllt werden. Die Nachteile bestehen in der Gefahr des Überpressens von Material über das apikale Foramen und der Schrumpfung des dünnfließenden Materials (Heidemann 2001). Eine weitere Neuerung der thermoplastischen Guttapercha-Verwendung sind die *Trägersysteme*. Guttapercha wird im Werk auf einem Stift (Kunststoff, Titan) aufgebracht und vor der

Obturation in speziellen Öfen erhitzt. Diese Methode ist zeitsparend und weist in neueren Untersuchungen gute Abdichtungs- und Handhabungseigenschaften auf (Gutmann et al. 1993; Saunders et al. 1993).

Im Zusammenhang mit der nicht-instrumentellen Aufbereitungstechnik (NIT) stellten Lussi und Mitarbeiter die *Vakuumbturationsmethode* vor (Lussi et al. 1997). Das Wurzelfüllmaterial (AH plus, Dentsply DeTrey) wird nach Aufbau des Vakuums durch einen Schlauch in das Wurzelkanalsystem appliziert. Um einen erneuten Zugang zu erleichtern, wird ein Guttaperchastift bis zur Arbeitslänge hinzugefügt. Die Methode erreicht signifikant bessere Ergebnisse als die laterale Kondensation und ist sehr zeitsparend (Portmann und Lussi 1994; Lussi et al. 2000; Lussi et al. 2002; Portmann et al. 2005).



## 2.6 Problemstellung

Der Bedarf an Wurzelkanalbehandlungen ist in den letzten Jahren deutlich gestiegen. Die Zahl der Extraktionen dagegen ist rückläufig (KZBV 2004).

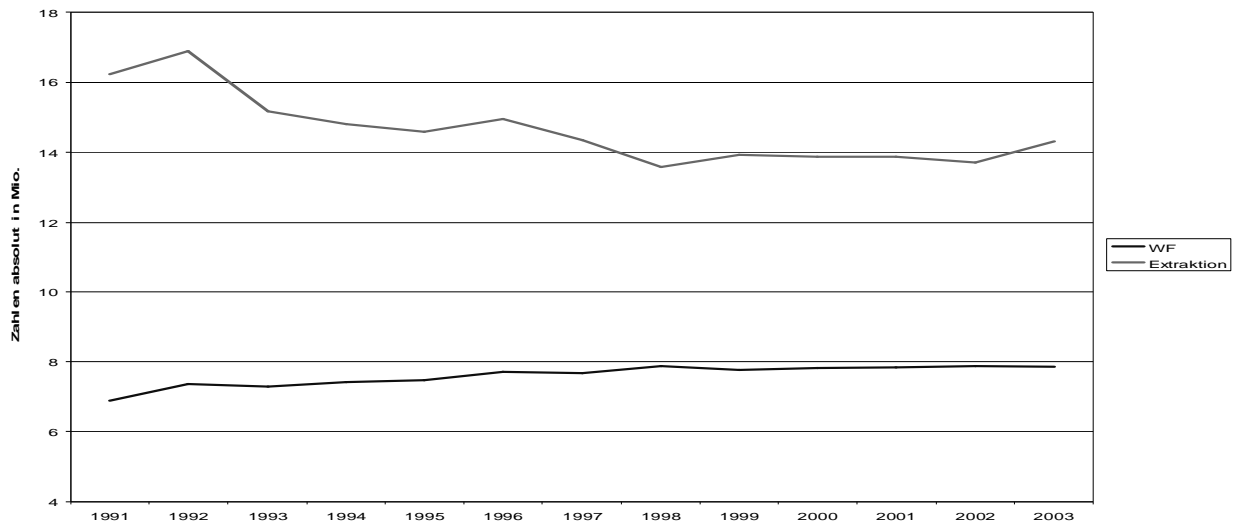


Diagramm 2.6: Über die KZVauen mit den Primär- und Ersatzkassen abgerechnete Wurzelkanalfüllungen und Extraktionen 1991-2003 (KZBV 2004)

Damit geht der höhere Bedarf an hochwertigen und erfolgreichen Wurzelkanalaufbereitungs- und Fülltechniken einher. Hinzu kommt der steigende ästhetische Anspruch des Patienten, welcher sichere Prognosen vor Beginn einer Wurzelkanalbehandlung erwartet. Der Patient wünscht schnelle und erfolgreiche Schmerzbekämpfung und ist interessiert an neuesten Materialien und Methoden (Keiser 2003).

Einer der wichtigsten Punkte, der über den Erfolg oder Misserfolg einer Wurzelkanalbehandlung entscheidet, ist die vollständige Entfernung der Bakterien und Gewebereste aus dem Wurzelkanal (Cheung 1996). Diese Aufgabe ist bei komplizierter Wurzelkanalanatomie und bei Pulpanekrosen, bei denen die Infektion bis tief in das Dentin reicht, besonders schwer zu bewältigen. Das Endox-Endodontiesystem (Lysis srL Mailand/Italien) verspricht die Elektrosterilisation des Wurzelkanals durch Verkochung von Gewebe und Bakterien. Die Entfernung der Bakterien soll bis in die Tiefen der Seiten- und Dentinkanälchen erfolgen und somit allen herkömmlichen Methoden überlegen sein.

Bisherige Studien befassten sich mit Temperaturentwicklung im Bereich der Wurzelkanaloberfläche und des Periapex, beurteilten die quantitative Bakterienreduktion oder untersuchten den Zustand der Kanalwand nach Wechselstromapplikation. Die Temperaturentwicklung in vitro ist am größten an der Nadelspitze und ist abhängig von Menge und Beschaffenheit des Pulpagewebes (Haffner et al. 1999). Zur Reduktionsrate von Mikroorganismen bietet die Literatur gegenläufige Ergebnisse: eine Studie von Haffner et al. (1999) zeigt eine Bakterienreduktion in vitro von 99,99%, Eder et al. sprechen von Keimreduktion um nur eine Zehnerpotenz (von  $10^6$  nach  $10^5$ ) (Eder et al. 2004). Die Wurzelkanalwand ist nach Behandlung mit Hochfrequenz frei von Gewebe oder Smearlayer, auch die tieferen Bereiche der Dentintubuli zeigen keine Rückstände von Gewebe oder Pulpa (Haffner et al. 1997; Haffner et al. 1999). Die wenigen Verdampfungsreste können am effektivsten durch ultraschallaktivierte Spülung mit NaOCl beseitigt werden. Lendini et al. sprechen sich für die Verwendung des Endox-Endodontiesystems nach einer mechanischen Aufbereitung des Wurzelkanals, um Smearlayer bzw. restliches Gewebe und Bakterien aus dem Wurzelkanalsystem zu entfernen (Lendini et al. 2005). Die Genauigkeit der elektronischen Längenmessung entspricht der von Geräten der dritten Generation. Klinische Erfahrungen mit dem Endox-Endodontiesystem im Bezug auf Patientenakzeptanz zeigen gute Ergebnisse (Haffner et al. 1999).

Die bisherigen Studien befassen sich vor allem mit der Auswirkung der Wechselstromapplikation in vitro. Die vorliegende Arbeit soll klären, wie die Anwendung der Hochfrequenz im Wurzelkanal das periapikale Gewebe in vivo beeinflusst.

Der Tierversuch soll folgende Fragen klären:

- Ist es möglich das pulpale Gewebe in vivo durch die hochfrequente Wechselfspannung zu entfernen?
- Welche Auswirkungen hat die Wechselstromapplikation auf das periapikale Gewebe im Tierversuch?

### **3. MATERIAL UND METHODE**

#### **3.1. Das Endox-Endodontiesystem**

Beim Endox-Endodontiesystem (Lysis srL Mailand/Italien) handelt es sich um ein System zur Devitalisierung von Pulpagewebe, welches Mitte der 90er Jahre CE-zertifiziert wurde. Mit diesem Gerät wird unter endometrischer Längenkontrolle ein hochfrequenter Wechselstromimpuls im Wurzelkanal appliziert. Die Endometrie beruht auf der Messung von absoluten Impedanzen. Der Hochfrequenzstrom-Puls breitet sich tropfenförmig, mit einem Radius von ca. 2mm um die Spitze der aktiven Elektrode aus (Haffner 2000). Das Endox-Endodontiesystem besteht aus dem Hauptgerät mit Netzteil und Fußschalter, Elektrodenhandstück mit den zugehörigen Elektroden (isolierter und nicht isolierter Edelstahl, Länge 24 bzw. 30 mm, Durchmesser 0,15 bzw. 0,20 mm) und Handelektrode (Neutralelektrode). Die Leistung des Geräts im Stand-by-Modus beträgt 28 VA bei 230 V AC und 8 VA bei 110 V AC, die Betriebsfrequenz liegt bei 312,5 Hz. Die maximale Leistung beträgt 360 VA bei 230 V AC und 250 VA bei 110 V AC. Die Applikation des hochfrequenten Wechselstroms erfolgt bei einem angenommenen Widerstand von 1 k $\Omega$  mit 110 W für 140 ms.

##### **3.1.1 Betrieb**

Nach dem das Gerät ordnungsgemäß in Betrieb genommen ist, wählt man den zu behandelnden Zahn (Tasten „TOOTH SELECTOR“). Die Auswahl wird durch das Aufleuchten der Kontrollleuchte „DEVITALISATION“ über der jeweiligen Taste angezeigt. Anschließend umgreift der Patient die Handelektrode. Vor dem Einführen der aktiven Elektrode in den Wurzelkanal erscheint auf dem Digitaldisplay („APICAL DISTANCE“) ein Dezimalpunkt. Die Messstromstärke beträgt 9 $\mu$ A. Nachdem die Nadel in den Wurzelkanal eingeführt wird und elektrische Anbindung besteht, wird ein Signalton mit kurzen Pausenzeiten hörbar. Gleichzeitig zeigt das Display den geschätzten Abstand zum ENDOX-Apex-Punkt. Während sich die Nadel im Wurzelkanal befindet, kann durch einmaliges Betätigen des Fußschalters in den ENDOX-Impuls-Modus umgeschaltet werden. Die „READY“-Kontrolle leuchtet. Ein erneutes Betätigen des Fußschalters löst den ENDOX-Stromimpuls aus. Das Gerät schaltet automatisch wieder in den Endometrie-Modus um. Ist

der Apex erreicht, erscheint auf dem Display die Anzeige „-0“, gefolgt von einem Signalton mit längerer Pausenzeit. Die Kontrollleuchte „APEX“ blinkt. In der beschriebenen Weise können mehrere Impulse in einem Wurzelkanal abgegeben werden.

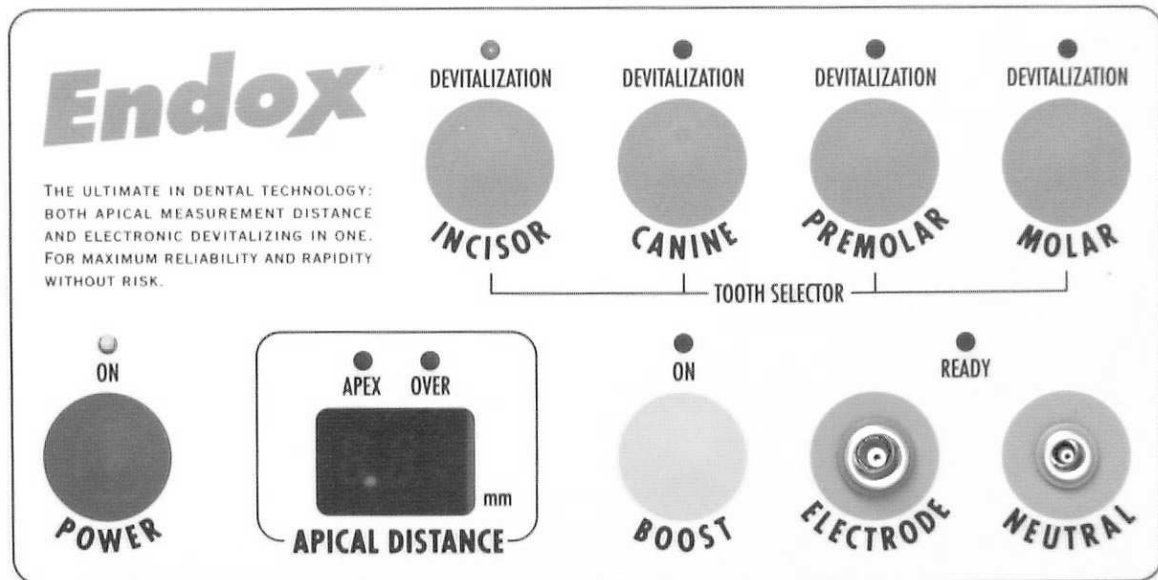


Abbildung 3.1.1: Endox-Display

Wird im Endometrie-Modus die aktive Elektrode über den ENDOX-Apex-Punkt hinaus geschoben, entsteht ein Dauerton und auf dem Display erscheint die Anzeige „-E“. Zusätzlich zur blinkenden „APEX“-Leuchte leuchtet die „OVER“-Kontrollleuchte. Ist der Wurzelkanal mit Flüssigkeiten wie Pus, Blut oder Speichel gefüllt, zeigt das ENDOX-Endodontiesystem ebenfalls Überinstrumentierung an. In den genannten Fällen kann der Impuls-Modus durch die eingebaute Sicherheitssperre nicht aktiviert werden.

Das ENDOX-Gerät ist mit einer Taste zur Leistungsverstärkung („BOOST“-Taste) ausgestattet. Diese kann z. B. in nekrotischen Kanälen eingeschaltet werden. Die Leistungsabgabe mit „BOOST“ ist um 6,7% - 13,6% stärker als die jeweilige Standardeinstellung.

Flüssigkeiten, feuchte Karies, Zahnfrakturen und metallische Restaurationen können die endometrische Messung des ENDOX-Endodontiesystems negativ beeinflussen. Grundsätzlich wird die Nutzung von Kofferdam empfohlen. Der Zahn sollte trocken und kariesfrei sein.

Der ENDOX-Apex-Punkt liegt ca. 1,5mm vor dem Foramen physiologicum, um eine Temperaturentwicklung im Desmodontalbereich zu vermeiden. Das ENDOX-Endodontiesystem darf nicht an oder von Personen verwendet werden, die einen Herzschrittmacher tragen.

### **3.2 Versuchsaufbau**

Der erste und zweite Molar der Oberkieferbezaahnung von insgesamt 24 Versuchstieren (weibliche *Wistar*-Ratten) gehen in die Untersuchung mit ein.

Bei der *Wistar*-Ratte (*Rattus norvegicus*) finden sich pro Kieferquadrant jeweils ein Schneidezahn (Incisivus) und drei Backenzähne (Molares). Eckzähne (Canini) und die vorderen Backenzähne (Praemolares) sind nicht angelegt. Die Bezaahnung der Ratte umfasst also insgesamt 16 ein- sowie mehrwurzelige Zähne.

Am ersten und zweiten Molar des jeweils ersten Quadranten eines Versuchstieres werden die Wechselstromimpulse appliziert (Endox-Endodontiesystem, Lysis srL Mailand/Italien). Der zweite Quadrant dient als Kontrollgruppe, die Zähne werden hier nicht behandelt. Mögliche Veränderungen im Wurzelkanal sowie im periapikalen Gewebe des zweiten Quadranten sind also nicht zurückzuführen auf eine Behandlung mit Wechselspannung im ersten Quadranten.

#### 1) Narkose des Versuchstieres

Die Narkose erfolgt mit XYLAPAM® (Wirkstoff: Xylazin, 1-2 mg/kg Körpergewicht) und NARKETAN® (Wirkstoff: Ketamin, 40-50 mg/kg Körpergewicht). Das Versuchstier wird vorab gewogen, das Gewicht dokumentiert (Kap. 3.3) und die Narkoseflüssigkeit mittels einer Injektion entsprechend dem Körpergewicht i. p. verabreicht. Das Versuchstier unterliegt ständiger Aufsicht. Die Narkose dauert etwa eine Stunde und 30 min (+/- 10 min).

#### 2) Einbringen in die Versuchsanordnung

Das Versuchstier wird auf einem speziellen Präpariertisch aufgespannt (Prof. Dr. Dr. Reichl, Institut für Pharmakologie, LMU München). Die Überstreckung des Nackens ermöglicht eine bessere Übersicht der Mundhöhle. Zur Kieferöffnung werden zwei Gummizüge an den oberen

und unteren Schneidezähnen angebracht und in entgegen gesetzte Richtung gespannt, um einen direkten und ungehinderten Zugang zu den Versuchszähnen zu haben.

### 3) Trepanation der Molaren

Die Eröffnung der Pulpenkammer erfolgt mittels roten Winkelstücks und Diamanten (Form: Kugel, Körnung: Rotring, ISO-Größe 8). Mindestens ein Wurzelkanaleingang wird dargestellt. Die Blutung wird mit Wasserstoff-Peroxid-Lösung (3%, Otto-Fischer-GmbH&Co. KG) gestillt.

### 4) Wurzelkanalbehandlung mit ENDOX®

Die Wurzelkanal muss bis zur ISO-Größe 15 aufbereitet werden (Kerr-Reamer, ISO 8, 10, 15), damit man die aktive Elektrode der ISO-Größe 15 (rote Markierung) des ENDOX-Gerätes einführen kann. Die Abgabe der Impulse erfolgt mit minimaler Leistung (Einstellung „Devitalisation, Incisor“) in einen der Kanäle. Diese Leistung ist entsprechend der Kanallänge (2-4mm) sowie dem Kanaldurchmesser (ISO 15) gewählt. Auf eine vorausgehende elektronische Bestimmung der Kanallänge wird verzichtet, da die Wurzellänge des Rattenzahnes von etwa 3mm (+/- 1mm) dazu ungeeignet ist.

### 5) Verschluss der Kavität

Die Blutung aus den restlichen Wurzelkanälen wird gegebenenfalls mit der oben genannten Wasserstoff-Peroxid-Lösung gestillt. Zum Verschluss der Kavität wird schnellhärtender Harvard-Zement (Zinkphosphatzement von Richter&Hoffmann, Dental Gesellschaft Berlin West) verwendet. Die Bisshöhe wird beim Modellieren der Füllung der noch verbliebenen Kronenhöhe angeglichen.

### 6) Narkoseausleitung

Das Versuchstier wacht unter Aufsicht auf und wird bis zum Versuchende in einem Einzelkäfig aufbewahrt.

## Gruppeneinteilung

Gruppe 1: Sechs Versuchstiere.

Entnahme der Gewebe nach einem Tag (24 Stunden).

Jeweils zwei Versuchstiere werden mit einem, drei oder fünf Impulsen behandelt.

Gruppe 2: Sechs Versuchstiere.

Entnahme der Gewebe nach 90 Tagen.

Jeweils zwei Versuchstiere werden mit 1 bzw. 3 bzw. 5 Impulsen behandelt.

Gruppe 3: Neun Versuchstiere.

Entnahme der Gewebe nach 180 Tagen.

Jeweils drei Versuchstiere werden mit 1 bzw. 3 bzw. 5 Impulsen behandelt.

Gruppe 4: Drei Versuchstiere.

Entnahme der Gewebe nach 180 Tagen.

Die Versuchstiere werden nur narkotisiert aber nicht behandelt.

### **3.3 Tierhaltung und Gesundheitskontrolle**

Die Tiere wurden nach standardisierten Bedingungen entsprechend den Empfehlungen der FELASA (Federation of European Laboratory Animal Science Associations) gehalten. Der Tag-Nacht-Rhythmus war 12h/12h und die Fütterung erfolgte ad libitum (Ratten- und Maushaltungsfutter, Fa. Ssniff V1534-000). Die Tiere hatten freien Zugang zum Wasser, das täglich erneuert wurde. Sie wurden einzeln in Typ IV Standardkäfigen (Fa. Ehret) gehalten.

Um die Gesundheit der Tiere zu überprüfen wurde deren Körpergewicht in der Zeit zwischen dem Eingriff und der Gewebentnahme wöchentlich mithilfe einer Tierwaage ermittelt und dokumentiert.

### **3.4 Intraorale Untersuchung des Rattengebisses und Gewebentnahme**

Die intraorale Untersuchung wird am Tag der Gewebentnahme durchgeführt. Das Tier wird ein letztes Mal gewogen und entsprechend dem Gewicht die oben genannten Narkoselösungen i.p. verabreicht. Um eine gute Sicht auf das Operationsgebiet zu ermöglichen, folgt das Einbringen in die Versuchsanordnung wie in Kap. 3.2 beschrieben.

Der Zahn- bzw. Füllungszustand und die Gingivabeschaffenheit in beiden Oberkieferquadranten des Versuchstieres werden dokumentiert.



Abbildung 3.4.1: Oberkiefermolaren der Ratte

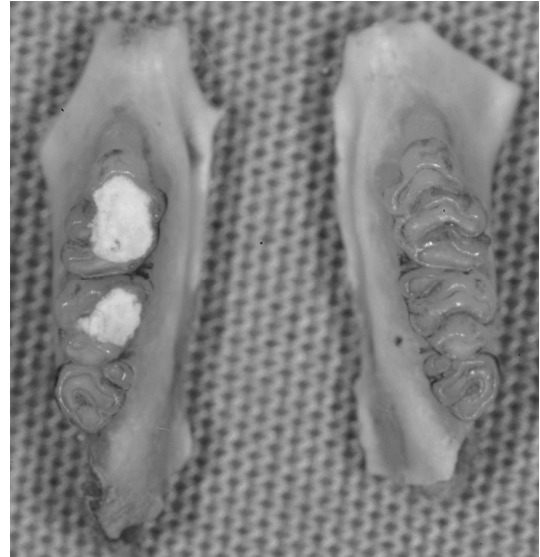


Abbildung 3.4.2: Entnommenes Gewebe aus dem ersten und zweiten Quadranten

Das zu untersuchende Gewebe besteht aus zwei Knochenblöcken des Os maxillare samt den jeweiligen Molaren des ersten bzw. zweiten Quadranten. Zur Entnahme wird das Os maxillare an der Gaumennaht durchtrennt und die beiden Hälften desselben entnommen. Dazu werden die benötigte Gewebstücke mit einem Skalpell und einer Luer-Zange herauspräpariert. Die Gingiva und das Periost werden gleich nach der Entnahme mit einem Raspatorium entfernt und die Proben in Gefäßen mit EDTA-Lösung (EDTA – 4Na, 20%-Zironensäure, pH 7.1, Apotheke Klinikum Innenstadt) bis zur histologischen Untersuchung aufbewahrt.

Der Tod des Tieres erfolgt durch Entbluten nach Gewebsentnahme.

### **3.5 Histologische Untersuchung**

Die entnommenen Gewebe werden in der oben genannten EDTA-Lösung aufbewahrt und dabei die anorganischen Bestandteile aus Knochen und Zahn herausgelöst. Dies beansprucht in etwa 35 Tage. Die EDTA-Lösung wird dreimal in der Woche ausgewechselt. Nach Weichwerden der Proben werden diese eine Stunde gewässert und anschließend in 70%, 95% und 100%iger Alkohollösung entwässert. Danach erfolgt die Behandlung mit 100%igem Chloroform und 100%igem Paraffin bis jede Probe in eine Paraffinform gegossen wird. Anschließend werden die Proben an einem Schlittenmikrotom (Fa. Jung) geschnitten, wobei der erste Schnitt immer von apikal angefertigt wird. Die Schnitte sind 1µm dick. Nach drei



Schnitten werden 10µm verworfen, um danach wieder drei Schnitte für die histologische Untersuchung auf jeweils einen Objektträger anzubringen. Auf diese Art werden ca. 16 Präparate pro entnommene Gewebeprobe angefertigt.

Um die periapikale Reaktion ausreichend beurteilen zu können, werden die Präparate mit vier verschiedenen Methoden angefärbt: Hämatoxilin-Eosin-Färbung, van Gieson-Färbung, Giemsa-Färbung und Berlinerblau-Reaktion.

Bei der Hämatoxilin-Eosin-Färbung (HE-Färbung) wird das Präparat zunächst in absteigender Alkoholreihe gewässert, um es zu entparaffinieren. Man lässt das Hämalan nach Mayer (Romeis 1989) fünf Minuten wirken, bevor das Bläuen unter fließendem Leitungswasser für 15 Minuten erfolgt. Die darauf folgende Wirkungsdauer des 1%igen Eosins beträgt drei Minuten. Nach kurzem Auswaschen in destilliertem Wasser, wird das Präparat nun in aufsteigender Alkoholreihe entwässert, drei Minuten in Xylol eingelegt und anschließend mit Eukitt eingedeckt. Bei dieser Färbung zeigen sich Zellkerne, Kalk, saurer Schleim und grampositive Bakterien blau, alles andere weist verschiedene Rotabstufungen auf.

Für die van Gieson-Färbung wird das Präparat analog zur HE-Färbung entparaffiniert und in Wasser gelegt. Es folgt die Färbung mit Weigerts Eisenhämatoxilinlösung A + B (Romeis 1989) für ein bis zwei Minuten. Danach wird das Präparat in fließendem Leitungswasser gespült und mit Filterpapier getrocknet. Sofort wird Pikrofuchsinlösung (Romeis 1989) aufgetropft. Die Wirkungsdauer beträgt eine Minute. Die Farblösung wird abgeschleudert und das Präparat mit glattem Filterpapier erneut getrocknet. Es folgt das Entwässern, Einlegen in Xylol und Eindecken mit Eukitt wie bei der HE-Färbung. Durch diese Färbung werden Zellkerne schwarzbraun, kollagene Fasern leuchtend rot und Muskulatur und Zytoplasma gelb gefärbt.

Die Giemsa-Färbung eignet sich als Übersichtsfärbung des hämatopoetischen Systems. Das Präparat wird entparaffiniert und in Wasser gebracht. Es wird für 60 Minuten in verdünnte Giemsa Lösung (Fa. Merck 1.09204, Verdünnung 1:4) gelegt. Unter Sichtkontrolle folgt das Differenzieren in Eisessigwasser (vier Tropfen Eisessig auf 100ml destilliertes Wasser). Anschließend wird einmal mit 96%igem Äthylalkohol und dreimal mit 100%igem Isopropylalkohol gespült. Zum Schluss wird das Präparat in Xylol eingelegt und mit Eukitt

eingedeckt. Mineralisierte Hartgewebematrix ist zartrosa oder bleibt ungefärbt. Knochen- und Weichgewebszellen, Kollagenfibrillen und Osteoid färben sich unterschiedlich blau. Mastzellgranula, basophile Granulierung und Knorpelgrundsubstanz werden rotviolett. Eosinophile Granula (z.B. in Granulozyten) werden rot.

Die Berlinerblau-Reaktion eignet sich zum Eisennachweis. Das Präparat wird entparaffiniert und in Wasser gelegt. Es wird für 20 bis 30 Minuten in die frisch angesetzte Reagenzlösung (2%ige wässrige Kaliumferrocyanid-Lösung und 2%ige Salzsäure im Verhältnis 1:1) eingelegt. Danach erfolgt Ausspülen mit destilliertem Wasser und die 10minütige Gegenfärbung mit Kernechtrot. Nach erneuter Spülung mit destilliertem Wasser folgt die aufsteigende Alkoholreihe, Xylol und Eukitt. Eisenhaltige Granula und Zellen sind leuchtend blau, Kerne sind dunkelrot, Zytoplasma, mineralisierte Matrix und Weichgewebe hellrot dargestellt.

Die Auswertung erfolgte unter Verwendung eines inversen Lichtmikroskops (Axiolab, Fa. Zeiss) unter 32-, 100- und 200facher Vergrößerung.

### **3.6 Statistische Auswertung**

Entsprechend dem orientierenden Charakter der Untersuchung wurde das Signifikanz-Niveau auf  $\alpha=0.05$  festgesetzt. Man akzeptiert, sich in 5 von 100 Tests mit der Testaussage zu irren.

In der vorliegenden Untersuchung wurde für die Sicherung von Unterschieden zwischen 2 Stichproben bei Daten mit metrischem Skalenniveau der t-Test benutzt, falls die Voraussetzungen für seine Anwendung gegeben waren. D.h. es wurde überprüft, ob die Daten der untersuchten Variable eine Gauss'sche Normalverteilung aufweisen (Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest,  $p=0.05$ ) und ob Varianz-Homogenität herrscht (Barlett-Test,  $p=0.05$ ). Falls die Varianzen inhomogen waren, wurde der p-Wert entsprechend korrigiert. Auf diese Weise wurde sichergestellt, dass das Ergebnis valide ist. War eine dieser Voraussetzungen nicht erfüllt, so wurde ersatzweise als sog. nicht-parametrischer Test der Wilcoxon-Test benutzt, welcher für Daten mit ordinalem bzw. metrischem Skalenniveau indiziert ist.

Für die Sicherung von Unterschieden zwischen mehr als 2 unabhängigen Stichproben wurde bei Daten mit metrischem Zahlenniveau (ebenfalls nach Prüfung der Test-Voraussetzungen, d.h. Gauss'sche Normalverteilung für jede Stichprobe und Varianzhomogenität zwischen den Stichproben) die Einweg-Varianzanalyse (ANOVA) benutzt.

Die Korrelation zwischen den beiden Zielvariablen wurde mittels Kendalls Tau ermittelt. Dieser Rangkorrelationskoeffizient ist ein parameterfreies Maß für die Korrelation, das heißt, er misst wie gut eine beliebige monotone Funktion den Zusammenhang zwischen zwei Variablen beschreiben kann, ohne irgendwelche Annahmen über die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Variablen zu machen. Besonders geeignet ist Kendalls Tau ( $\tau$ ), wenn die Daten nicht normal verteilt sind, die Skalen ungleiche Teilungen aufweisen und bei sehr kleinen Stichprobengrößen.

### 3.7 Legende zu den Diagrammen

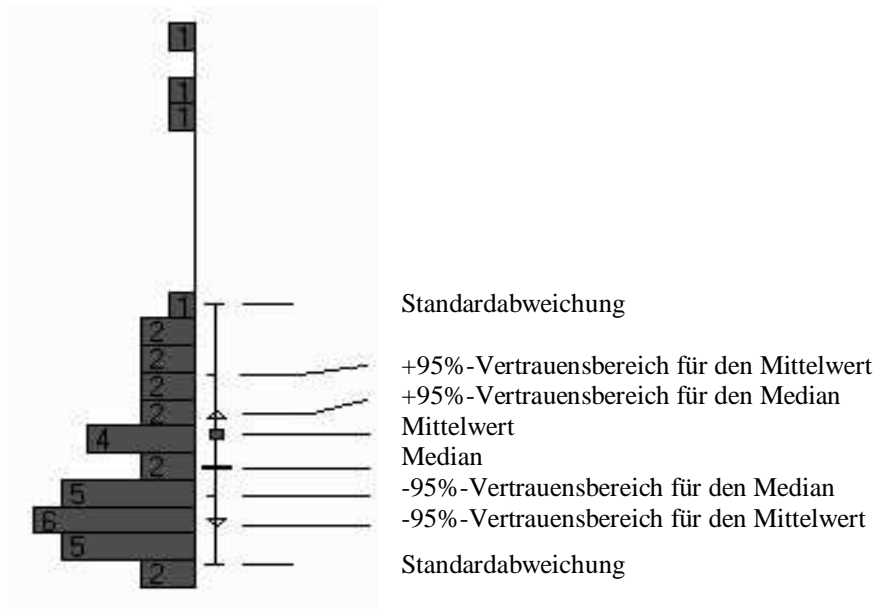


Abbildung 8.1: Legende zu den verwendeten Verteilungsdiagrammen

## 4. ERGEBNISSE

### 4.1 Gesundheitskontrolle

Die Nahrungsaufnahme bzw. Gewichtsänderung der Tiere während des Versuches wurde als Parameter für deren Gesundheit herangezogen.

#### Gruppe 1

Bei der ersten Versuchsgruppe konnte kein Gewichtsunterschied zwischen dem Behandlungs- und Entnahmetag festgestellt werden. Alle Versuchstiere hielten ihr Gewicht vom Vortag.

Da die Zeitspanne von 24 Stunden für eine merkliche Gewichtsänderung zu klein ist, kann in dieser Versuchsgruppe nicht festgestellt werden, ob die Tiere ungestört Nahrung aufnehmen konnten.

#### Gruppe 2

Bei der zweiten Versuchsgruppe konnte sieben Tage nach Impulsabgabe bei allen Versuchstieren eine Gewichtsabnahme festgestellt werden. Danach nahmen fast alle Tiere kontinuierlich an Gewicht zu. Am Entnahmetag blieb lediglich Ratte 3 unter dem Ausgangsgewicht. Die anderen Tiere konnten entweder ihr Ausgangsgewicht halten oder steigern. Der nichtparametrische Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben zeigt eine signifikante Gewichtsabnahme nach sieben Tagen ( $p=0.027$ ) aber keinen signifikanten Gewichtsanstieg am 90sten Tag ( $p=0,102$ ).

Aus dem Gewichtabfall in der ersten Woche nach der Impulsabgabe ist zu schließen, dass die Nahrungsaufnahme der Tiere beeinträchtigt war. Dies kann durch Stress, Narkose, Schmerzen oder Okklusionsstörungen im behandelten Quadranten entstanden sein.

Da man keine signifikante Gewichtssteigerung am Entnahmetag feststellen konnte, kann nicht ausgeschlossen werden, dass keine dauerhafte Gesundheitsbeeinträchtigung durch die Behandlung mit Endox® eingetreten ist.

Zeit [d]	Gewicht [g]					
	Ratte 1	Ratte 2	Ratte 3	Ratte 4	Ratte 5	Ratte 6
<b>1</b> (Ausgangsgewicht)	700	650	750	780	690	680
7	670	645	730	765	680	670
14	680	640	730	770	680	680
21	700	640	730	770	685	670
28	700	640	740	770	680	680
35	705	645	745	770	680	675
42	710	650	750	770	685	680
49	715	650	745	760	695	680
56	720	660	735	770	695	680
63	715	665	745	760	695	690
70	720	665	750	775	695	690
77	720	665	745	780	685	685
84	725	650	750	775	695	695
<b>90</b> (Entnahme)	720	665	745	780	695	695

Tabelle 4.1.1: Gewichtentwicklung der Versuchsgruppe 2

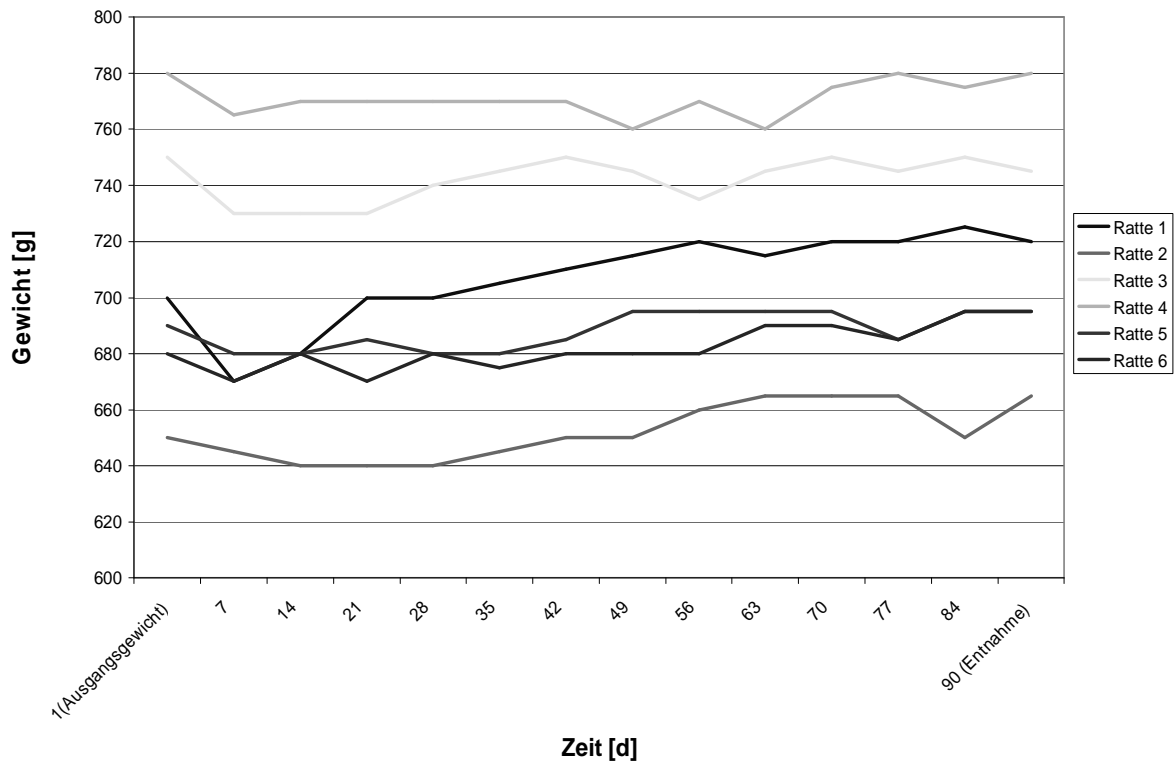


Diagramm 4.1.1: Gewichtentwicklung der Versuchsgruppe 2

### Gruppe 3

Ähnlich wie bei Versuchsgruppe 2 finden wir in dieser Versuchsgruppe sieben Tage nach Impulsabgabe eine Gewichtsabnahme bei allen Tieren. Bereits nach 21 Tagen haben über 50% der Versuchstiere ihr Ausgangsgewicht wieder erreicht. Nach 42 Tagen wiegen nahezu alle Versuchstiere mehr als zu Versuchsbeginn. Alle Versuchstiere können ihr Gewicht bis zum Ende des Versuches steigern. Der nichtparametrische Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben zeigt eine signifikante Gewichtsabnahme nach sieben Tagen ( $p=0.011$ ). Schon nach 42 Tagen zeigt sich in dieser Versuchsgruppe ein signifikanter Gewichtsanstieg ( $p=0,028$ ) der nach 180 Tagen hochsignifikant ist ( $p=0,008$ ).

Auch in dieser Versuchsgruppe ist durch die eingeschränkte Nahrungsaufnahme nach sieben Tagen darauf zu schließen, dass die Ratten Stress, Narkosenachwirkungen, Schmerzen und/oder Okklusionsstörungen hatten.

Von einer dauerhaften Gesundheitsbeeinträchtigung durch die Behandlung mit Endox® ist in Versuchsgruppe 3 nicht auszugehen.

Zeit [d]	Gewicht [g]								
	Ratte 1	Ratte 2	Ratte 3	Ratte 4	Ratte 5	Ratte 6	Ratte 7	Ratte 8	Ratte 9
<b>1 (Ausgangsgewicht)</b>	620	700	620	760	650	580	670	700	510
7	610	660	600	710	610	560	650	690	510
14	600	670	610	740	610	560	630	700	510
21	620	700	630	750	650	530	630	700	510
28	630	690	630	750	640	580	620	690	520
35	640	690	630	765	650	585	640	685	530
42	650	710	650	785	670	600	650	710	545
49	660	710	650	790	680	600	650	730	550
56	675	720	650	800	680	610	660	740	540
63	680	715	660	820	685	610	665	740	550
70	685	710	665	815	700	620	670	750	550
77	690	715	670	810	710	625	670	760	550
84	700	725	670	835	710	630	650	770	550
91	710	730	680	860	660	640	660	770	550
98	715	735	680	870	695	645	660	775	555
105	705	740	685	870	705	650	665	745	560
112	710	690	685	870	720	635	665	760	555
119	725	725	695	885	725	645	675	775	565
126	730	730	700	890	730	650	680	780	560
133	740	730	710	900	735	660	685	790	560
140	755	735	720	905	740	665	685	800	570
147	765	740	725	910	745	670	700	805	570
154	775	735	730	915	750	675	700	810	575
161	785	740	725	920	765	675	700	820	570
168	790	745	730	930	770	675	705	825	580
175	790	755	745	935	770	680	710	830	590
<b>180 (Entnahme)</b>	790	760	750	940	770	685	720	840	575

Tabelle 4.1.2: Gewichtsentwicklung der Versuchsgruppe 3

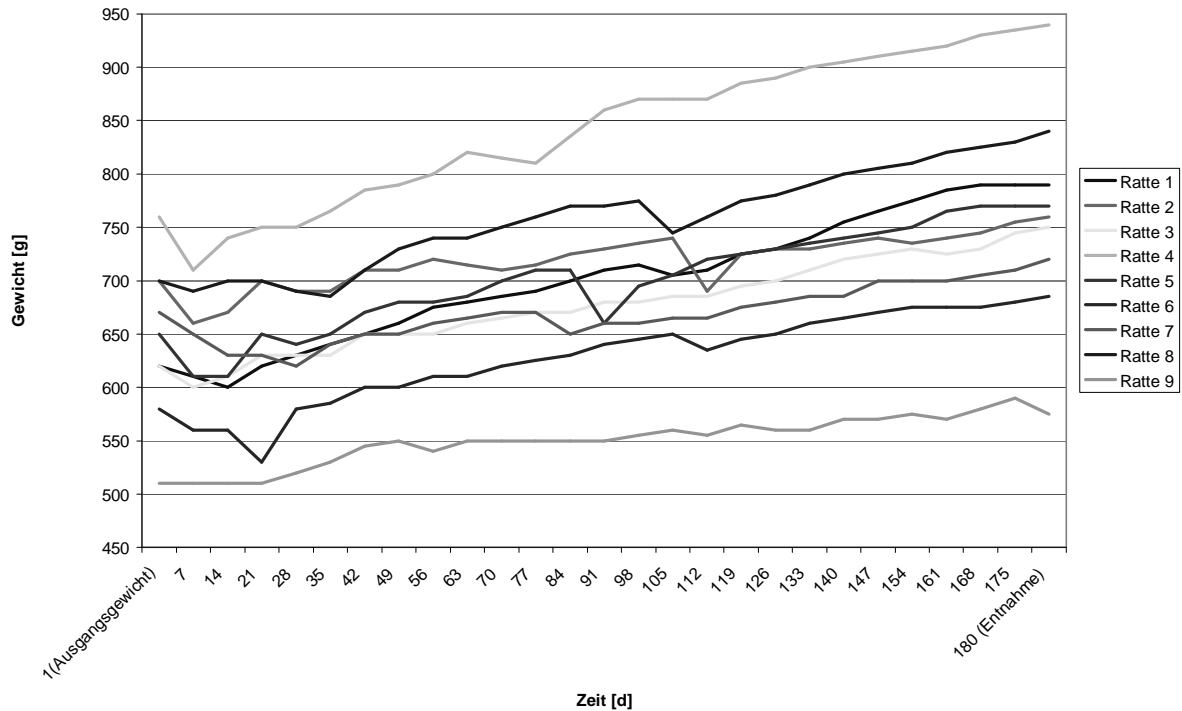


Diagramm 4.1.2: Gewichtentwicklung der Versuchsgruppe 3

#### Gruppe 4

In Versuchsgruppe 4 gab es nahezu keine Gewichtsabnahme. Lediglich Ratte 1 wog sieben Tage nach der Narkose 10g weniger als am Versuchsanfang. Alle Ratten wogen am Versuchsende mehr als am Anfang. In dieser Gruppe ergeben sich aus dem nichtparametrischen Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben weder nach 7 Tagen ( $p=0,414$ ) noch nach 180 Tagen ( $p=0,109$ ) signifikante Unterschiede. Dies ist auf den geringen Stichprobenumfang zurückzuführen.

Trotz des nicht signifikanten aber klinisch eindeutigen Gewichtsanstiegs kann aus der Versuchsgruppe 4 der Schluss gezogen werden, dass die Narkosenachwirkung bzw. der mit der Narkose verbundene Stress der Tiere nicht maßgeblich an der Gewichtsabnahme nach sieben Tagen aus den Versuchsgruppen 2 und 3 beteiligt sein kann.



Zeit [d]	Gewicht [g]		
	Ratte 1	Ratte 2	Ratte 3
<b>1 (Ausgangsgewicht)</b>	600	500	620
7	590	530	630
14	600	540	630
21	600	550	648
28	615	575	660
35	620	590	660
42	610	600	650
49	620	610	660
56	625	605	665
63	630	610	660
70	630	590	660
77	640	600	660
84	640	615	655
91	645	610	655
98	645	640	660
105	650	650	670
112	660	650	670
119	665	660	675
126	670	665	670
133	670	670	675
140	665	675	680
147	670	680	685
154	670	690	685
161	665	695	680
168	670	710	685
175	675	710	680
<b>180 (Entnahme)</b>	675	720	685

Tabelle 4.1.3: Gewichtsentwicklung der Versuchsgruppe 4

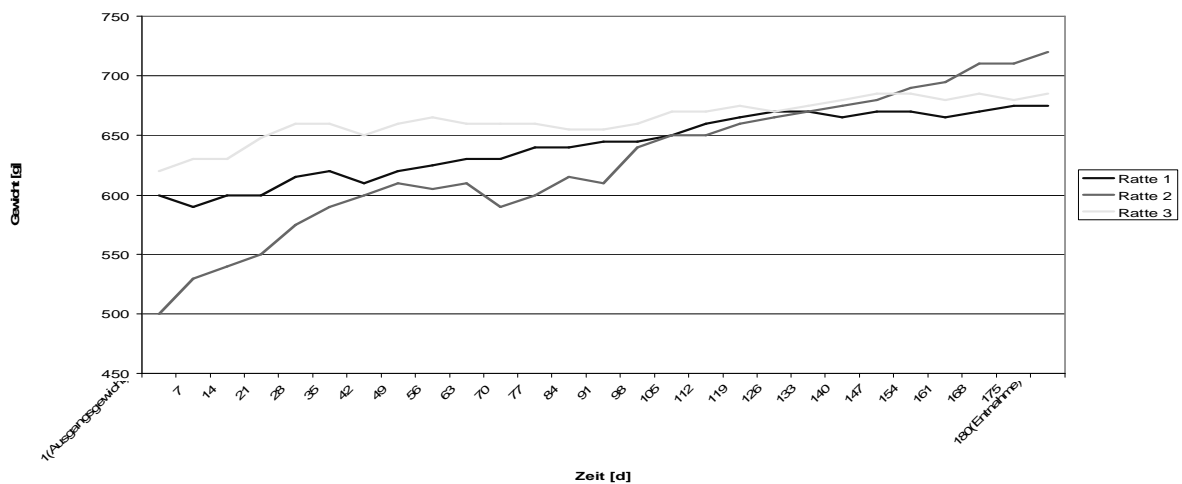


Diagramm 4.1.3: Gewichtsentwicklung der Versuchsgruppe 4

## 4.2 Intraorale Untersuchung

Bei der intraoralen Untersuchung wurde der Füllungszustand im ersten und zweiten Quadranten desselben Tieres beurteilt und die Differenz des Füllungszustandes als Zielvariable festgelegt. Es handelt sich um eine Parallelstichprobe im Maul jeweils eines Versuchstieres. Die Kontrollgruppe fließt somit in die Variable „Diff.Full.“ mit ein.

Es wurden folgende Parameter festgelegt:

Füll. Q1: Füllungszustand im ersten Quadranten.

Füll. Q2: Füllungszustand im zweiten Quadranten.

Diff. Füll.: Unterschied des Füllungszustandes zwischen dem ersten und dem zweiten Quadranten.

### Füllungszustand:

Grad 0: Klinische Kronen intakt (ohne Füllung).

Grad 1: Beide Füllungen intakt bzw. okklusaler Verschluss dicht.

Grad 2: Zähne und Füllungen abradiert aber okklusaler Verschluss dicht.

Grad 3: Eine Füllung verloren gegangen, andere Füllung dicht.

Grad 4: Beide Füllungen verloren gegangen, Zähne kaum abradiert.

Grad 5: Beide Füllungen verloren gegangen und Zähne mäßig bis stark abradiert.

Da in Versuchsgruppe 4 keine Füllung gelegt wurde, fand diese bei der Auswertung keine Berücksichtigung.

#### 4.2.1 Graphische Darstellung

Anz.Imp.	Zeitp.	Füll. Q1	Füll. Q2	Diff. Füll.
1	1	3	0	3
1	1	1	0	1
3	1	1	0	1
3	1	2	0	2
5	1	1	0	1
5	1	1	0	1
1	90	5	0	5
1	90	5	0	5
3	90	5	0	5
3	90	5	0	5
5	90	5	0	5
5	90	4	0	4
1	180	5	0	5
1	180	5	0	5
1	180	5	0	5
3	180	5	0	5
3	180	5	0	5
3	180	5	0	5
5	180	4	0	4
5	180	5	0	5
5	180	5	0	5

Tabelle 4.2.1: Füllungszustand

Der erste Quadrant der 1-Tages-Versuchsgruppe wies bei vier von sechs Tieren den Füllungsgrad 1 auf. Jeweils bei einem Tier wurde der Füllungsgrad 2 bzw. 3 festgestellt. Bei der 90-Tage-Versuchsgruppe weist nur eines von sechs Tieren den Füllungsgrad 4 auf. Alle anderen Tiere wurden mit Grad 5 bewertet. In der 180-Tage-Versuchsgruppe wurde eines von 9 Tieren mit Füllungsgrad 4 bewertet. Die anderen Tiere erhielten Grad 5. Zusammenfassend bedeutet dies, dass in der 1-Tages-Versuchsgruppe keine Füllung verloren gegangen ist während in den anderen beiden Gruppen bei allen Tieren mindestens eine Füllung verloren ging, was auf eine okklusale Reinfektion des Wurzelkanals schließen lässt.

Im zweiten Quadranten wurde keine Füllung gelegt. Somit wurde der zweite Quadrant bei allen Versuchstieren mit Grad 0 bewertet.

### 4.3 Histologische Untersuchung

Für die histologische Untersuchung wird analog zur klinischen Untersuchung der Entzündungsgrad im ersten und zweiten Quadranten beurteilt und die Differenz des Entzündungsgrades als Zielvariable festgelegt. Auch hier handelt es sich um eine Parallelstichprobe im Maul jeweils eines Versuchstieres bei der die Kontrollgruppe in die Variable „Diff.Entzünd.“ einfließt.

Es wurden folgende Parameter festgelegt:

Entzünd. Q1: Entzündungsgrad im ersten Quadranten.

Entzünd. Q2: Entzündungsgrad im zweiten Quadranten.

Diff. Entzünd.: Unterschied der Entzündungsgrade zwischen dem ersten und dem zweiten Quadranten.

#### Entzündungsgrade:

Grad 1: Keine Entzündungszeichen oder Zeichen der thermischen Irritation sichtbar.

Grad 2: Zeichen thermischer Alteration im Bereich der Pulpa und des Desmodonts sind zu erkennen (Zellen sind zum homogenen Brei verschmolzen, es sind keine Zellkerne erkennbar). Keine Entzündungsreaktion sichtbar.

Grad 3: Grad 2 und beginnende Entzündungsreaktion mit einer moderaten Ansammlung von Lymphozyten und einigen Plasmazellen. Erhöhte Gefäßproliferation und damit erhöhte Vaskularität, Gefäßerweiterung wird sichtbar bzw. Ödeme breiten sich aus.

Grad 4: Akute Entzündungsreaktion (*akute apikale Parodontitis*) mit einer Überschwemmung des entzündeten Gewebes von neutrophilen Granulozyten, einigen Makrophagen und deren zellulären Exsudats zusätzlich zur Gefäßerweiterung. Leicht osteoklastisch erweiterter Desmodontalspalt und angrenzende Knochenmarksräume.

Grad 5: Akut abszedierende Entzündungsreaktion (*akuter periapikaler Abszess*): zentrale Nekrose mit Eiter (enzymatische Gewebseinschmelzung) mit zahlreichen Osteoklasten

und Resorptionslakunen und einem Wall von neutrophilen Granulozyten und deren zellulären Exsudats, der von akut entzündetem Gewebe umgeben ist (extravasale neutrophile Granulozyten, Monozyten/Makrophagen, Gefäßreaktionen).

Grad 6: Chronische Entzündungsreaktion (*chronische apikale Parodontitis / apikales Granulom*): Diese besteht aus einer von Lymphozyten und Plasmazellen dominierten Infiltration des entzündeten Gewebes. Das „apikale Granulom“ ist häufig dynamisch gemischt. Es können Zonen mit Granulationsgewebe, fibrösem Narbengewebe oder akute Entzündung vorherrschen. Der Knochen um den Periapex ist stark abgebaut.

Grad 7: Chronische abszedierende Entzündungsreaktion (*chronische apikale Parodontitis*): 4 Zonen: zentraler Nekroseherd, der von einem Makrophagenwall (Schaumzellen: Makrophagen mit großen sekundären Lysosomen mit hohem Gehalt an Phospholipiden (Sudan-Färbung)) und chronisch mit Lymphozyten, Plasmazellen und makrophageninfiltriertem Granulationsgewebe (Fibroblasten und Kapillarsprossen) umgeben ist. Außen folgt eine Zone dichten ausgereiften Bindegewebes, die Abszessmembran.

Grad 8: Grad 6 mit beginnender Proliferation der Malassezschen Epithelreste.

Da in Versuchsgruppe 4 keine Entzündung vorgefunden wurde, fand diese bei der Auswertung keine Berücksichtigung.

### 4.3.1 Graphische Darstellung

Anz.Imp.	Zeitp.(d)	Entzünd. Q1	Entzünd. Q2	Diff. Entzünd.
1	1	2	1	1
1	1	2	1	1
3	1	2	1	1
3	1	2	1	1
5	1	2	1	1
5	1	3	1	2
1	90	6	1	5
1	90	7	1	6
3	90	8	1	7
3	90	7	1	6
5	90	6	1	5
5	90	7	1	6
1	180	7	1	6
1	180	7	1	6
1	180	6	1	5
3	180	7	1	6
3	180	8	1	7
3	180	6	1	5
5	180	7	1	6
5	180	7	1	6
5	180	6	1	5

Tabelle 4.3.1: Entzündung des Gewebes am Periapex

Bei der ersten 1-Tages-Versuchsgruppe weist der erste Quadrant in fünf von sechs Fällen den Entzündungsgrad 2 auf. Ein Tier wurde mit Entzündungsgrad 3 bewertet. In der 90-Tages-Versuchsgruppe wurden zwei von sechs Tieren mit Entzündungsgrad 6, drei mit Entzündungsgrad 7 und eines mit Entzündungsgrad 8 bewertet. Der erste Quadrant der 180-Tages-Versuchsgruppe wies drei- von neunmal den Entzündungsgrad 6, fünfmal den Entzündungsgrad 7 und einmal den Entzündungsgrad 8 auf.

Eine akute Entzündungsreaktion wie sie mit den Graden 4 und 5 beschrieben wird, konnte in keinem der Fälle festgestellt werden.

Im zweiten Quadranten wurde keine Entzündung festgestellt. Somit wurden alle Tiere mit Entzündungsgrad 1 bewertet.

### 4.3.2 Histologie

Die folgenden histologischen Schnitte sollen die einzelnen Entzündungsgrade beispielhaft darstellen.

#### Entzündungsgrad 1

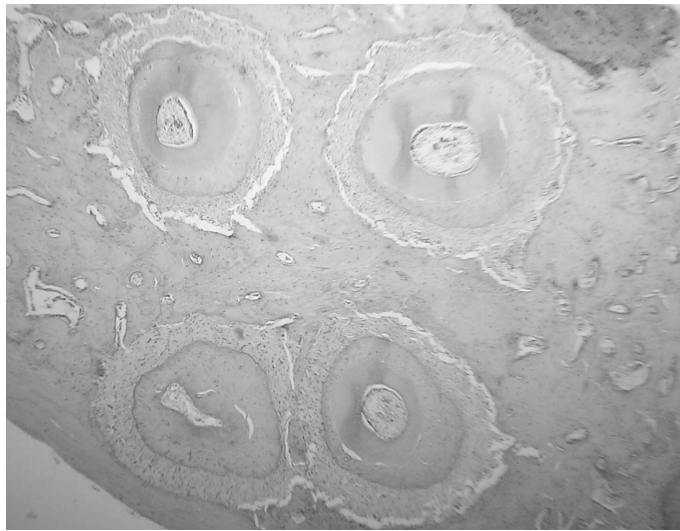


Abbildung 4.3.2.1:

**Grad 1:** Vier Wurzeln eines ersten Molaren mit gesunder Pulpa und gesundem Desmodont.

HE-Färbung, 32fache Vergrößerung.

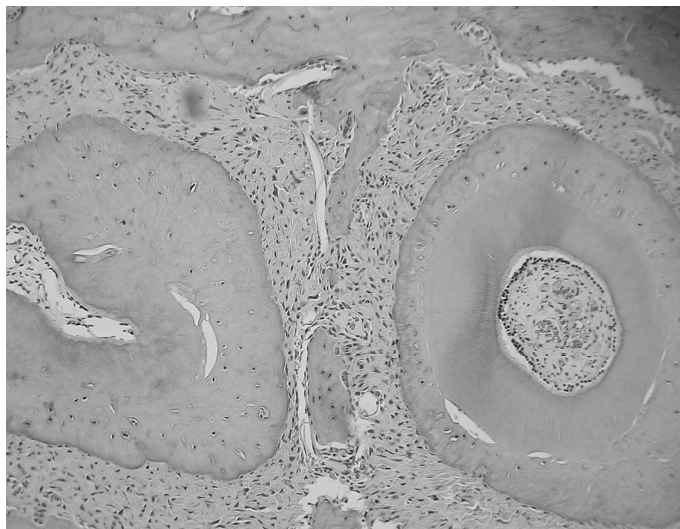


Abbildung 4.3.2.2:

**Grad 1:** Zwei von vier Wurzeln eines ersten Molaren mit gesunder Pulpa und gesundem Desmodont. Ausschnitt aus Abbildung 4.3.2.1

HE-Färbung, 100fache Vergrößerung.

## Entzündungsgrad 2

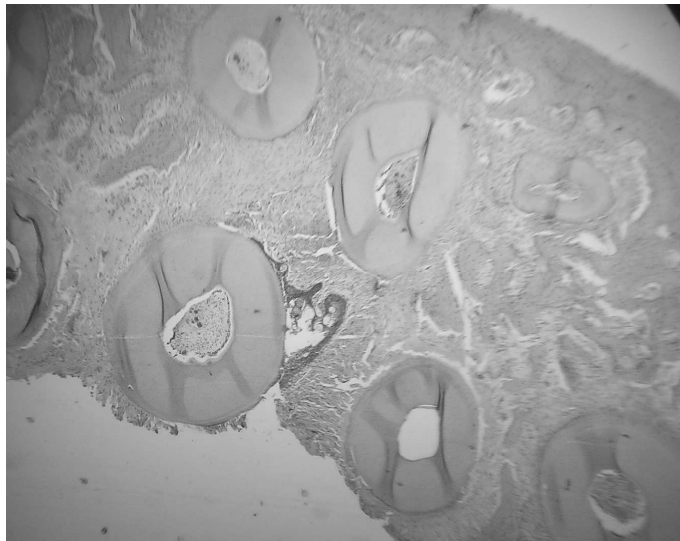


Abbildung 4.3.2.3:

**Grad 2:** Wurzeln eines zweiten Molaren. Eine Wurzel weist ein leeres Wurzelkanallumen auf. Um die Wurzel links daneben ist das Plattenepithel der Mundhöhlenschleimhaut angeschnitten.

HE-Färbung, 32fache Vergrößerung.



Abbildung 4.3.2.4:

**Grad 2:** Völlig leeres Wurzelkanallumen. Deutlich sichtbar ist das zerrüttete Desmodont als Zeichen thermischer Alteration (keine Zellkerne, homogene Gewebemasse). Ausschnitt aus Abbildung 4.3.2.3

HE-Färbung, 100fache Vergrößerung.



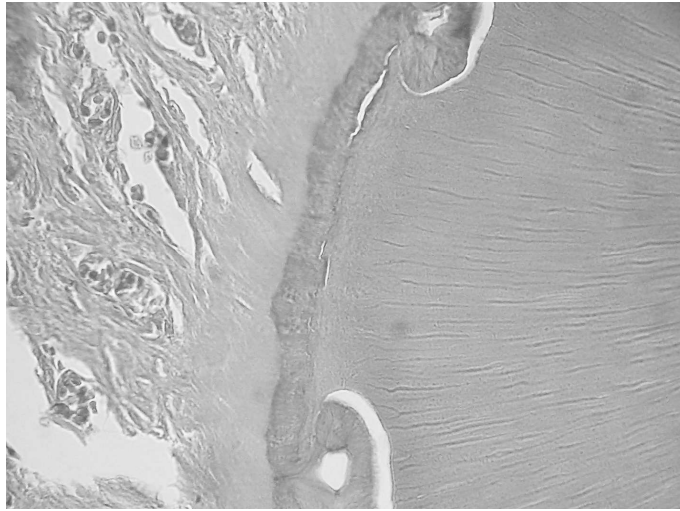


Abbildung 4.3.2.5:

**Grad 2:** Zerrüttetes Desmodont infolge thermischer Alteration (Zellen sind zum homogenem Brei verschmolzen, keine Zellkerne sichtbar). Keine Entzündungsreaktion sichtbar.  
HE-Färbung, 200fache Vergrößerung.

### Entzündungsgrad 3

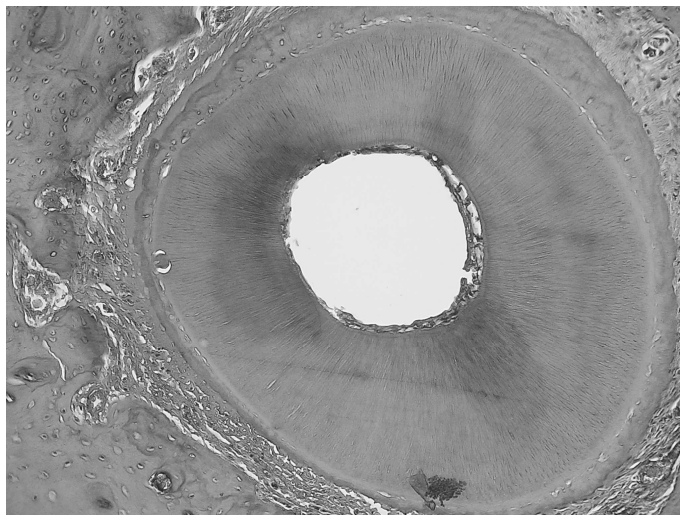


Abbildung 4.3.2.6:

**Grad 3:** Verkohltes Pulpagewebe und zerrüttetes Desmodont mit beginnender Entzündungsreaktion (Ansammlung von Lymphozyten und Gefäßerweiterung im Desmodontalspalt).  
HE-Färbung, 100fache Vergrößerung.

## Entzündungsgrad 6

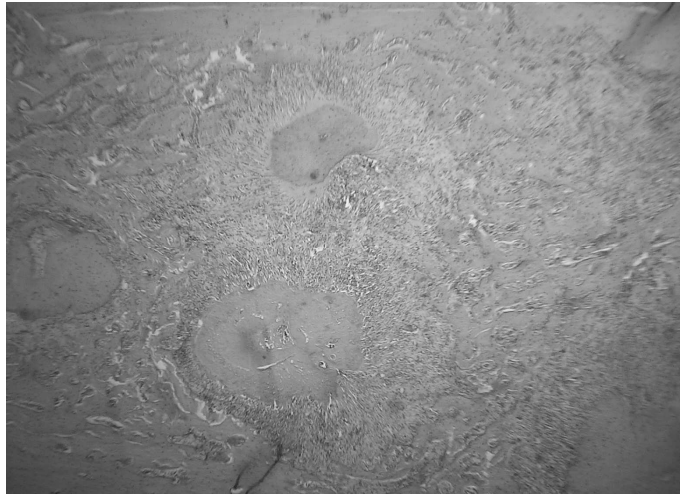


Abbildung 4.3.2.7:

**Grad 6:** Zwei Wurzeln des ersten Molaren mit chronischer Entzündungsreaktion aus einer von Lymphozyten und Plasmazellen dominierten Infiltration des entzündeten Gewebes. Der Knochen um den Periapex ist stark abgebaut. Das Wurzelkanallumen ist kaum sichtbar wegen des weit apikal liegenden Schnittes.

HE-Färbung, 32fache Vergrößerung.



Abbildung 4.3.2.8:

**Grad 6:** Fibröses Narbengewebe an Stelle des Desmodonts im rechten unteren Bildabschnitt. Im oberen Abschnitt von Lymphozyten und Plasmazellen infiltrierte Entzündungsgewebe. Ausschnitt aus Abbildung 4.3.2.7

HE-Färbung, 100fache Vergrößerung.

## Entzündungsgrad 7



Abbildung 4.3.2.9:

**Grad 7:** Vier apikal angeschnittene Wurzeln des zweiten Molaren mit chronisch abszedierender Entzündung. Die beiden unteren Wurzelkanäle sind mit nekrotischem Gewebe und Entzündungszellen gefüllt. Der Knochenabbau ist sehr stark vorangeschritten.

Giemsa-Färbung, 32fache Vergrößerung.

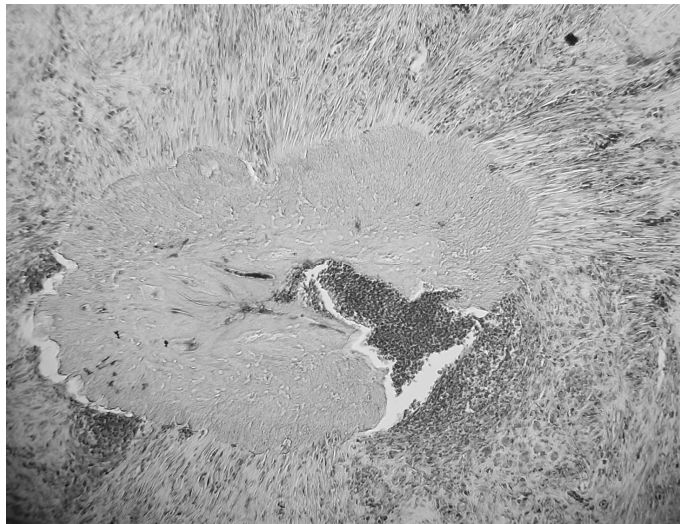


Abbildung 4.3.2.10:

**Grad 7:** Nach rechts im Bild schließt sich dem Brei aus nekrotischem Gewebe und Entzündungszellen ein Bereich mit Schaumzellen (Makrophagen) an. Im linken unteren Bildabschnitt grenzt der Wurzel ein Bereich von derbem Bindegewebe an. Ausschnitt aus Abbildung 4.3.2.9

Giemsa-Färbung, 100fache Vergrößerung.

## Entzündungsgrad 8

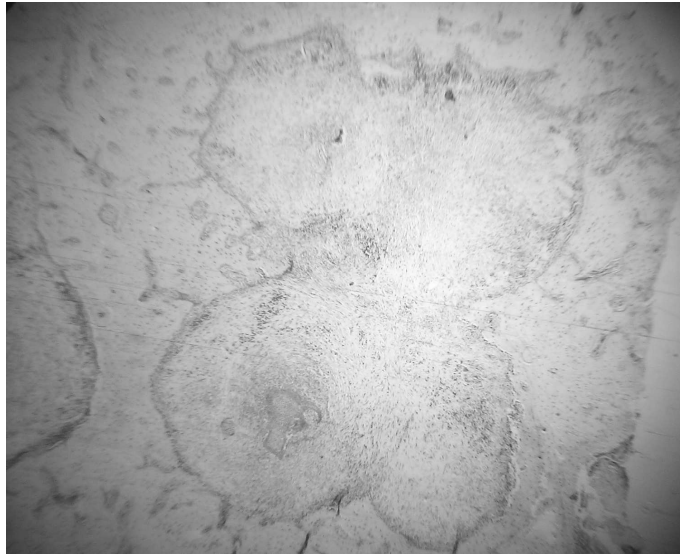


Abbildung 4.3.2.11:

**Grad 8:** Vier Wurzeln eines ersten Molaren apikal der Wurzel angeschnitten. Im mittleren unteren Bereich des Bildes sieht man die beginnende Proliferation der Malassez'schen Epithelreste.

Giemsa-Färbung, 32fache Vergrößerung.



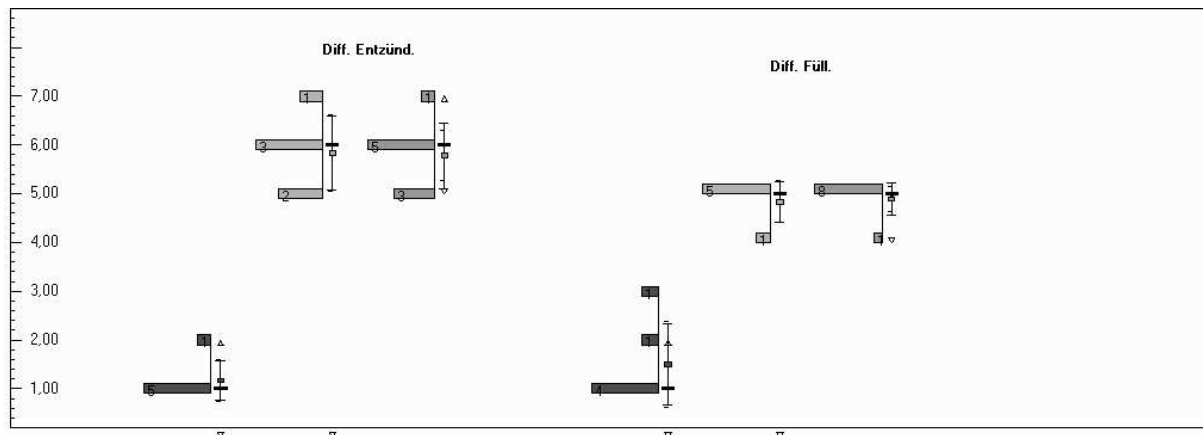
Abbildung 4.3.2.12:

**Grad 8:** Proliferation der Malassez'schen Epithelreste umgeben von Entzündungszellen und Bindegewebe. Ausschnitt aus Abbildung 4.3.2.11

Giemsa-Färbung, 100fache Vergrößerung.

## 4.4 Statistische Auswertung

Das Signifikanz-Niveau wurde auf  $\alpha=0.05$  festgesetzt. Dies entspricht dem orientierenden Charakter der Untersuchung (siehe Seite 37).



X-Variable	Zeitp.[Tage]					
	Gr 1	Gr 90	Gr 180	Gr 1	Gr 90	Gr 180
N	6	6	9	6	6	9
Mean	1,167 ( 0,738 - 1,595)	5,833 ( 5,044 - 6,623)	5,778 ( 5,265 - 6,290)	1,500 ( 0,622 - 2,378)	4,833 ( 4,405 - 5,262)	4,889 ( 4,633 - 5,145)
StdDev	0,408	0,753	0,667	0,837	0,408	0,333
Median	1,000 ( 0,000 - 2,000)	6,000 ( 0,000 - 12,000)	6,000 ( 5,000 - 7,000)	1,000 ( 0,000 - 2,000)	5,000 ( 0,000 - 10,000)	5,000 ( 4,000 - 5,000)
Gauss (=1)	1	1	1	1	1	0
LSD-Class	[A	B	B]	[A	B	B]
p(AOV)					0,000 ***	

Diagramm 4.4.1: Verteilungsdiagramm „Diff.Entzünd.“ gegen „Diff.Füll.“

### Legende

Group.....Gruppenname

N.....Stichprobenumfang

Mean.....Mittelwert (in Klammern der 95% Vertrauensbereich für den Mittelwert)

SD.....Standardabweichung

Median.....Median (in Klammern der 95% Vertrauensbereich für den Median)

Gauß.....Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Gauß'sche Normalverteilung (=1)

LSD-Class.....Post-Hoc-Test (Least Significance Difference) auf Kontraste ( $p=0.05$ )

p(AOV).....Varianz-Analyse ( $p=0.05$ )

Der LSD-Test (ein sog. Post-Hoc-Test auf Kontraste) teilt alle Gruppen in gewisse Gruppen-Klassen (Cluster) ein (z.B. A oder B oder C), deren Mitglieder sich untereinander auf dem 5%-Niveau nicht voneinander trennen lassen. Die Gruppen in der Klasse B unterscheiden sich aber von denen in der Klasse A, sie bilden einen auf dem 5%-Niveau signifikanten Kontrast. Das Ergebnis der Varianz-Analyse (= p(AOV)) beim Vergleich von mehr als 2 Gruppen ist in der untersten Zeile angegeben.

Nach dem LSD-Test unterscheidet sich der Entzündungsgrad der 1-Tages-Versuchsgruppe signifikant von der 90-Tage- bzw. 180-Tage-Versuchsgruppe. Die beiden letzteren Gruppen weisen keinen signifikanten Unterschied zueinander auf. Dies zeigt, dass die Entzündung nach 24 Stunden noch nicht sehr ausgeprägt war, wogegen sich die Entzündung nach 90 bzw. 180 Tagen in einem chronischen Stadium befand.

Ein ähnliches Ergebnis liefert der LSD-Test für den Füllungszustand. Die 1-Tages-Versuchsgruppe unterscheidet sich signifikant von der 90-Tage- bzw. 180-Tage-Versuchsgruppe, und die beiden letzteren Gruppen weisen keinen signifikanten Unterschied zueinander auf. Dies bedeutet, dass die Füllungen nach 24 Stunden noch relativ intakt waren. Nach 90 bzw. 180 Tagen sind annähernd alle Füllungen verloren gegangen mit einer mehr oder weniger ausgeprägten Abrasion der behandelten Zähne.

Die Varianz-Analyse bestätigt den signifikanten Unterschied zwischen den drei Zeit-Gruppen bzgl. des Entzündungsgrades und des Füllungszustandes.

Auf die Aufteilung der einzelnen Versuchsgruppen nach der Anzahl der Impulse wird verzichtet, da sich daraus keine verwertbaren statistischen Ergebnisse ableiten lassen.

#### **4.4.1 Zusammenhang zwischen intraoraler und histologischer Untersuchung**

Es fiel auf, dass die 1-Tages-Versuchsgruppe noch intakte Füllungen bei gleichzeitig geringem Entzündungsgrad aufwies. Im Gegensatz dazu wiesen die beiden anderen Versuchsgruppen Füllungsverlust gekoppelt mit starker Entzündung auf. Klinisch deutet dies auf eine koronale Reinfektion der Wurzelkanäle und damit verbundene starke

Entzündungsreaktion am Periapex. Somit kann die periapikale Entzündung nicht sicher auf eine Behandlung mit Endox® zurückgeführt werden.

Um das klinische Bild statistisch darzustellen, wurden die beiden Zielvariablen auf Korrelation getestet.

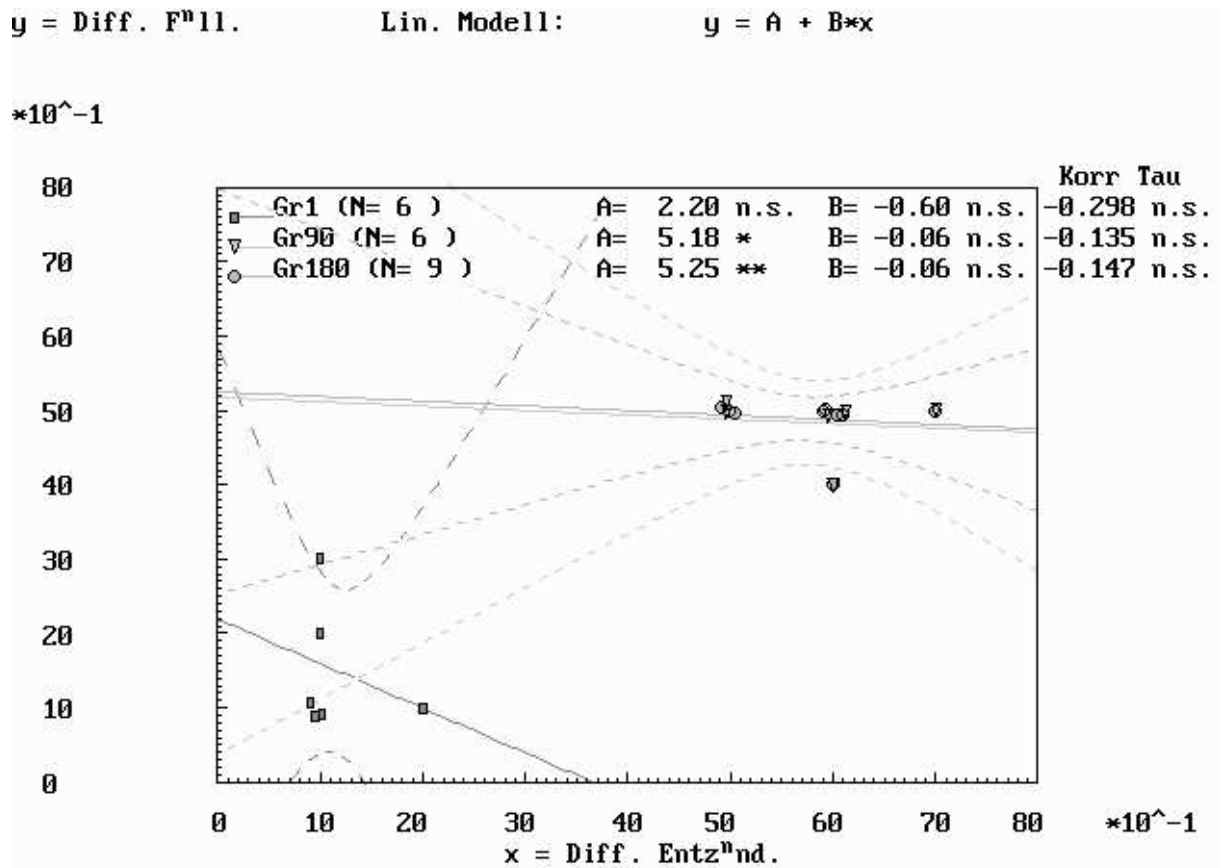


Diagramm 4.4.2: Korrelationsplot „Diff.Füll.“ gegen „Diff.Entzünd.“

Die Gleichung der Geraden für die lineare Regression lautet allgemein  $y = A + B \cdot x$ . A ist der Abschnitt auf der y-Achse, B ist die Steigung der Geraden. Die eingezeichneten gestrichelten Hyperbeln stellen den 95% Vertrauensbereich für die Streuung der Daten um die Regressionsgerade dar.

Der Korrelationskoeffizient Kendall's Tau ist in allen 3 Versuchsgruppen klein und nicht signifikant. Das heißt, dass statistisch keine Korrelation zwischen den beiden Variablen „Diff. Füll.“ Und „Diff.Entzünd.“ besteht und dass sich das klinisch klare Bild statistisch nicht sichern lässt.

Auf die Aufteilung der einzelnen Versuchsgruppen nach der Anzahl der Impulse wird abermals verzichtet, da sich daraus keine verwertbaren statistischen Ergebnisse ableiten lassen.



## **5. DISKUSSION**

### **5.1 Allgemeines**

Die Verwendung von Ratten als Versuchstiere hat viele Vorteile. Ratten sind einfach in Gefangenschaft zu vermehren und zu halten. Sie werden oft als Versuchstiere für zahnmedizinische Fragestellungen benutzt (Hoyer et al. 1989; Lembke und Pause 1989; Stosser et al. 1990; Stickforth und Rotgans 1991). Die Narkosemethoden sind lang erprobt und problemlos durchzuführen (Dittmar et al. 2004; Kloosterman et al. 2004; Welberg et al. 2006). Vor allem durch ihre Größe werden die Kosten für die Versuche minimiert und die Tiere können einfach in die Versuchsanordnung eingebracht werden. Als Nachteil muss man die Tatsache anführen, dass Ergebnisse aus dem Tierexperiment nur bedingt auf den Menschen übertragbar sind. Es bedarf klinischer Studien, um die Ergebnisse zu überprüfen. Weiterhin könnten die Okklusion und die Kaugewohnheiten eines Nagers negativen Einfluss auf den Versuch haben (Klein 1975). In den 60er-Jahren wurden Versuche mit Wurzelkanalaufbereitung und -füllung an Rattenmolaren durchgeführt (Murazabal et al. 1966; Murazabal und Erausquin 1966). Später finden sich in der Literatur überwiegend Studien zu Pulpotomie oder Replantation von Rattenzähnen aber kaum mehr solche zu Wurzelkanalfüllung oder Aufbereitung. Die Rattenzähne sind sehr klein. In dieser Studie verursacht dies Probleme bei der Trepanation und Impulsabgabe. Außerdem kann die Wärmeleitung über die dünne Dentinschicht schlecht mit der des menschlichen Zahnes verglichen werden. Allgemein muss die Verwendung von Ratten für Fragestellungen dieser Art kritisch betrachtet werden.

### **5.2 Versuchsaufbau**

Die Gruppeneinteilung erfolgte nach dem Tierangebot, dass für diese Untersuchung zur Verfügung stand. Die Stichprobenzahl bedarf kritischer Betrachtung. Die absolute Anzahl von Tieren für jede Versuchsgruppe war ausreichend (Torneck et al. 1996). Die Aufteilung innerhalb der Versuchsgruppen von jeweils zwei bzw. drei Tieren auf die unterschiedliche Anzahl von Impulsen erwies sich als zu klein, um mögliche Unterschiede festzustellen. Ein großer Vorteil dieser Untersuchung war die Kontrollgruppe (Quadrant 2), die sich im selben Organismus wie die Versuchsgruppe (Quadrant 1) befand. Da in keinem Quadranten der

Kontrollgruppe Irritationen des pulpalen oder apikalen Gewebes auftraten, kann davon ausgegangen werden, dass die Veränderungen, die im ersten Quadranten ausgelöst wurden, allein auf die Behandlung zurückzuführen sind.

Die Nebenwirkungen der Narkose mit Ketamin u. Xylazin, die in der Literatur beschrieben werden wie Atemdepression, metabolische Azidose oder Erhöhung des NO-Gehaltes im Blut (Dittmar et al. 2004; Alva et al. 2005), können für diese Untersuchung vernachlässigt werden. Es gab keinerlei Komplikationen bei der Verabreichung, Dauer oder Aufwachphase der Anästhesie.

Die Trepanation der Molaren ging mit relativ viel Substanzabtrag einher in Relation zur Größe der klinischen Krone. Einerseits war es nötig einen Trepanationsdiamanten der Größe ISO 8 zu verwenden, um die kleinen und weit auseinander liegenden Wurzelkanäle aufzufinden, andererseits war der Substanzabtrag so groß, dass die verbleibende Restdicke der Kronenwände Frakturgefahr bedeutete. Um die Frakturgefahr zu minimieren, wäre es ratsam die Pulpakammer mit einem kleineren Diamanten zu eröffnen.

### **5.2.1 Impulsabgabe**

Die geringe Größe des Wurzelkanals und die Varianz der Wurzelkanallänge bzw. des Wurzelkanaldurchmessers der Wistar-Ratte (Gomez und Cabrini 2004) stellten ein wesentliches Problem bei der Abgabe der Impulse dar. In dieser Studie kann davon ausgegangen werden, dass die Pulpa bei Versuchsbeginn vital und nicht infiziert war. Die besten Ergebnisse einer Wurzelkanalbehandlung bei vitaler Pulpa entstehen bei der Definition des apikalen Stopps 0-2 mm vor dem radiologischen Apex (Wu et al. 2000). Eine Unterinstrumentierung des Wurzelkanals verursacht weniger Komplikationen als eine Überinstrumentierung (Ricucci 1998; Ricucci und Langeland 1998). Die Komplikationen können akuter oder chronischer Natur sein und mit Schmerzen und gesteigerter immunologischer Reaktion einhergehen (Seltzer 1988; Heidemann 2001). Die endometrische Längenmessung macht bei einer Wurzelkanallänge von zwei bis vier Millimetern keinen Sinn. Daher wurde der Impuls immer bei zwei Millimetern abgegeben. Somit konnte eine Über- oder Unterinstrumentierung des Kanals nicht ausgeschlossen werden.

In der 1-Tages-Versuchsgruppe konnte nur bei einem Tier eine beginnende Entzündungsreaktion festgestellt werden. Es ist unklar, ob dies eine physiologische Reaktion auf die Wunde darstellt, die durch die Pulpaentfernung entstand (Seltzer 1988). Es könnte sich hierbei auch um eine beginnende pathologische Reaktion auf eine Fehlinstrumentierung des Kanals oder auf die Wärmeerhöhung handeln (Eriksson und Albrektsson 1983; Heidemann 2001). Aufgrund der Versuchsanordnung kann diese Frage nicht geklärt werden. Die fulminante Entzündung in der 90- bzw. 180-Tages-Versuchsgruppe kann mit einer Fehlinstrumentierung zusammenhängen, kann aber auch auf andere Fehlerquellen, die im folgendem erörtert werden, zurückzuführen sein. Es ist nicht davon auszugehen, dass diese Entzündung allein auf die Behandlung mit Endox® zurückgeht.

Ein Problem ist die Temperaturentwicklung am Periapex. Die hohe Stromdichte um die aktive Elektrode verursacht eine Energiefreigabe in Form von Wärme. Die Wärmeleitung erfolgt über die Dentinkanälchen, das Dentin selbst, das Wurzelzement und das Desmodont bis in den Alveolarknochen. Die Temperaturerhöhung verbunden mit der Zeitdauer derselben sind maßgeblich für das Ausmaß der Schädigung (Voß 1990). Die Erhöhung der lokalen Körpertemperatur des Knochengewebes um mehr als 10 °C wird als kritisch eingestuft (Eriksson und Albrektsson 1983). Die Folgen können sein: Nekrosen des Zahnhalteapparates, Resorptionen des Knochens und der Zahnhartsubstanzen bis hin zur Ankylose (Atrizadeh et al. 1971; Saunders 1990). Die Temperatur erreicht in vivo schnell wieder den Ausgangswert. Hauptverantwortlich hierfür ist die Mikrovaskularisierung des Desmodonts (Saunders 1990). Eine in vitro Studie zur Temperaturentwicklung des Endox-Endodontiesystems zeigt Oberflächenerwärmungen um 6 °C bis 14 °C. Die Temperaturentwicklungen sind wesentlich stärker bei mehrmaliger Wechselstromapplikation (Baumeister 2002).

In dieser Studie wurde eine deutliche thermische Alteration des Desmodonts nach 24 Stunden festgestellt, unabhängig davon ob einer oder fünf Impulse abgegeben wurden. Die chronische Entzündungsreaktion, die nach 90 bzw. 180 Tagen resultierte, kann nicht im direkten Zusammenhang mit der Temperaturerhöhung gesehen werden, da andere Faktoren wie koronale Reinfektion und Über- bzw. Unterinstrumentierung berücksichtigt werden müssen.

## 5.2.2 Füllungsmaterial

Das verwendete Füllungsmaterial war einfach und schnell zu handhaben. In Vergleich zu dentalen Kompositen ist keine Schmelzkonditionierung nötig, man braucht keine UV-Lampe um es auszuhärten und die Oberfläche des Zahnes muss nicht absolut trocken sein. Die Nachteile des Harvard-Zements liegen in dem relativ schlechten Abrasionsverhalten. Harvard-Zement hat schlechtere mechanische Eigenschaften als dentale Komposite (Piwowarczyk und Lauer 2003) und die Microleakage dieses Zinkphosphatzements ist relativ groß (Fabianelli et al. 2005). Im Bezug auf die Zytotoxizität finden sich in der Literatur unterschiedliche Ergebnisse. Schmalz et al. zeigen mit ihrer Studie eine gute Zellverträglichkeit (Schmalz et al. 1996). Franz et al. gelangen zu dem Ergebnis, dass Zinkphosphatzement in Vergleich zu anderen dentalen Füllungsmaterialien eine hohe Zytotoxizität aufweist (Franz et al. 2006). Lewinstein et al. weist dem Harvard-Zement antibakterielle Eigenschaften zu, die noch drei Monate nach Aushärten anhalten sollen (Lewinstein et al. 2005). Ein entscheidender Nachteil des Zinkphosphatzements im Vergleich zu Kompositen ist das Fehlen einer Stabilisierung der Restzahnhartsubstanz durch adhäsiven Verbund (Burke et al. 2002). Die okklusale Höhe der Restauration bei den Versuchstieren hat keinen direkten Einfluss auf eine periapikale Entzündungsreaktion (Sato et al. 1994), aber der Verlust der okklusalen Füllung führt immer zu einem Misserfolg der Wurzelkanalbehandlung durch Reinfektion des Wurzelkanals und des periapikalen Gewebes (Barrieshi et al. 1997; Gale 2000; Sritharan 2002). Bando und Nagayama zeigen in seiner Untersuchung an Rattenzähnen, die dem Mundmilieu offen standen, die Entwicklung von odontogenen Zysten im periapikalen Gewebe nach einem Beobachtungszeitraum von sechs bzw. acht Monaten (Bando und Nagayama 1993).

Für diese Studie kann nicht beurteilt werden, ob zuerst der Füllungsverlust und danach die Fraktur bzw. Abrasion der Restkronenwände stattfand. Tatsache ist, dass der Verlust des koronalen Verschlusses unweigerlich zur Reinfektion des Wurzelkanals und des Periapex führte. Dieses klinische Ergebnis konnte nicht statistisch gesichert werden. Somit kann durch diese Studie nicht festgestellt werden, ob der Einsatz des Endox-Endodontiesystems oder beschriebene Fehlerquellen die fulminante Entzündung des periapikalen Gewebes verursachten.

### **5.3 Gesundheitskontrolle**

Das Gewicht als Parameter für Gesundheit zu erheben, ist eine gängige wissenschaftliche Methode (Dittmar et al. 2004; Welberg et al. 2006). Der größte Vorteil ist die einfache Erhebung dieses Parameters. Einen Nachteil stellt die geringe Sensitivität dar. Ohne zusätzliche Parameter zur Gesundheitskontrolle ist es unmöglich, die genaue Ursache der Gewichtsänderung herauszufiltern, zumal auch die Narkose selbst bzw. der mit der Narkose verbundene Stress zu einem Gewichtsverlust führen können (Sumitra et al. 2004; Welberg et al. 2006). Dass die Narkose allein eine Gewichtsreduktion verursacht, wurde für die vorliegende Untersuchung in Versuchsgruppe vier klinisch nicht bestätigt. Das Ergebnis konnte aber aufgrund des geringen Stichprobenumfangs nicht statistisch gesichert werden. Somit kann nicht behauptet werden, dass die Narkose keine Auswirkung auf die Tiergesundheit hat.

### **5.4 Intraorale Untersuchung**

Die intraorale Untersuchung des Rattengebisses sollte Aufschluss über den Füllungszustand der behandelten Zähne und die damit verbundene koronale Reinfektion des Wurzelkanals geben. Die Einteilung der Füllungsgrade erfolgte nach den vorgefundenen Befunden. Die Einteilung in noch spezifischere Gruppen als in diesem Versuch ist nicht sinnvoll, da statistisch keine signifikante Korrelation zwischen den einzelnen Füllungs- und Entzündungsgraden nachgewiesen werden konnte. Da alle noch klinisch intakten Füllungen in der 1-Tages-Versuchsgruppe diagnostiziert wurden, war es nicht sinnvoll eine Testung der Mikroleakage vorzunehmen. Es ist davon auszugehen, dass bei intakter koronaler Füllung nach 24 Stunden noch keine Rekolonisation des Wurzelkanals mit Bakterien stattfand. Für die vorliegende Untersuchung hätte es gereicht, eine Ja/Nein-Entscheidung über das Vorhandensein der Füllung zu treffen.

### **5.5 Histologische Untersuchung**

Mit der histologischen Untersuchung sollten die Vorgänge im apikalen Gewebe dargestellt werden. Die Zeitpunkte zur Entnahme des Gewebes orientierten sich an der internationalen

Literatur (Barbosa et al. 2003; Yildirim et al. 2005). Die 1-Tages-Versuchsgruppe sollte Aufschluss über die periapikalen Reaktionen unmittelbar nach der Impulsabgabe geben. Nach 90 bzw. 180 Tagen sollten Langzeitveränderungen im periapikalen Bereich zu sehen sein. Ausschließlich die 1-Tages-Versuchsgruppe liefert verwertbare Ergebnisse, da der okklusale Verschluss noch intakt war und die apikalen Veränderungen auf die Behandlung mit Endox® zurückgeführt werden können. Falls eine akute Entzündung der Wurzelkanalbehandlung folgte, wäre diese in den ersten 15 Tagen sichtbar gewesen (Stashenko et al. 1992). Die Wahl einer weiteren Versuchsgruppe im Zeitraum der ersten 15 Tage scheint im Nachhinein sinnvoll, um Aufschluss über akute Vorgänge zu erlangen.

Der behandelte Wurzelkanal der 1-Tages-Versuchsgruppe hatte immer ein völlig leeres Lumen mit wenigen Resten verkochten Gewebes. Dies lässt den Schluss zu, dass Endox® in der Lage ist, das pulpaie Gewebe völlig zu verkochen und somit Bakterien und nekrotisches Gewebe unschädlich gemacht werden. Der Nachteil ist eine deutlich sichtbare Schädigung des unmittelbar dem Dentin angrenzenden Desmodonts. Diese Schädigung fand sich in allen Präparaten des ersten Quadranten nach 24 Stunden. Ob bei einem intakten koronalen Verschluss eine RepARATION der thermischen Schädigung des Desmodonts und dessen Ausheilung gefolgt wäre, kann durch diese Studie nicht beantwortet werden. Studien zu System-B HeatSource zeigen, dass die Erwärmung an der äußeren Wurzeloberfläche stark von der Dicke der Dentinschicht abhängt (Lipski 2005). Es ist wahrscheinlich, dass die Erwärmung am menschlichen Zahn nicht die kritischen Werte und somit eine Schädigung des Desmodonts erreicht.

Die histologische Untersuchung der Präparate der 90- und 180-Tages-Versuchsgruppe zeigten ein ähnliches Bild. Das periapikale Gewebe befand sich in verschiedenen Stadien einer chronischen Entzündung. Es fiel auf, dass die Entzündungsreaktion um die Wurzelspitzen der mit Endox® nicht behandelten Wurzelkanäle generell stärker ausgeprägt war als um die mit Endox® behandelten Wurzelspitzen. Dies deutet darauf hin, dass eine koronale Reinfektion der nicht behandelten Wurzelkanäle schneller und ausgeprägter war. Eine Aussage über die Langzeitauswirkungen nach Verwendung von Endox® ist aufgrund der Fehlerquellen nicht möglich.

Die histologische Auswertung ist kritisch zu betrachten, da nur ein subjektiver Eindruck über den Entzündungsgrad diagnostiziert wurde. In der Literatur werden Wege zur Objektivierung

der histologischen Ergebnisse angeführt (Ozaki et al. 1998). Nach dem orientierenden Charakter der Untersuchung ist die subjektive Beurteilung eines Untersuchers als ausreichend anzusehen.

## **5.6 Schlussfolgerung**

Durch das Endox-Endodontiesystem ist eine Vereinfachung der Wurzelkanalaufbereitung erreichbar. Nach Einführung ist die Handhabung des Geräts einfach und erlaubt ein zügiges Vorgehen. Die sofortige Stillung der Blutung erleichtert zusätzlich das Arbeiten. Durch das schnelle Vorgehen vermindert sich das Infektionsrisiko des Wurzelkanals. Die Möglichkeit der endometrischen Längenmessung minimiert das Risiko von Fehlinstrumentierung und bietet weitere Zeitersparnis, obwohl auf eine Röntgenmessaufnahme nicht verzichtet werden sollte.

Das Endox-Endodontiesystem ist in der Lage, die Pulpa völlig zu entfernen bzw. durch Verkochung Bakterien und nekrotisches Gewebe unschädlich zu machen. Das Wurzelkanallumen ist nach Impulsabgabe völlig leer und frei von Gewebe bis in das Dentin. Die wenigen verkochten Gewebeklumpen lassen sich mit einer Spülung entfernen. Es entsteht kein Smearlayer, welcher Bakterien und nekrotisches Gewebe enthalten könnte und somit den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung gefährden könnte.

Das periapikale Gewebe zeigt eine Schädigung des unmittelbar dem Dentin angrenzenden Desmodonts 24 Stunden nach Impulsabgabe. Die Schädigung ist auf die Temperaturerhöhung zurückzuführen. Im Bereich der desmodontalen Fasern, die dem Knochen angrenzen, lassen sich keine Zeichen thermischer Alteration finden. Das Experiment an der Ratte vermag dennoch nicht, in jedem Aspekt Rückschlüsse auf die Anwendung am Menschen zu geben.

Yildirim et al. und Barbosa et al. haben für ähnliche endodontische Fragestellungen Hunde verwendet (Barbosa et al. 2003; Yildirim et al. 2005). In der neueren Literatur finden sich keine Versuche über Wurzelkanalbehandlung an Ratten. In dieser Studie konnte festgestellt werden, dass sich Ratten für diese Fragestellung nicht eignen. Die Rattenzähne sind zu klein, um eine Wurzelkanalbehandlung nach den erforderlichen Kriterien durchzuführen. Die Kronen der Zähne sind ebenso zu klein, um nach Trepanation über einen langen Zeitraum

stabil zu bleiben. Durch die geringe Dicke des Dentinmantels erfolgte die Wärmeleitung ohne Abschwächung direkt an das Desmodont. Möglicherweise hat die Okklusion des Nagetiers dazu beigetragen, dass die Füllungen verloren gingen.

Das Endox-Endodontiesystem ist in der Lage das Wurzelkanalsystem vollständig von Gewebe und Bakterien zu befreien. Ob der im Rattenversuch beobachtete Schaden im Desmodont am menschlichen Zahn entsteht, kann durch diese Studie nicht beantwortet werden, ist aber unwahrscheinlich. Langzeitfolgen konnten nicht dargestellt werden.



## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Der Bedarf nach schnellen, schmerzarmen und erfolgreichen Wurzelkanalbehandlungen steigt. Einer der wichtigsten Parameter, der über den Erfolg oder Misserfolg einer Wurzelkanalbehandlung entscheidet, ist die vollständige Entfernung der Bakterien und Gewebereste aus dem Wurzelkanal.

In der vorliegenden Studie sollte an Hand einer tierexperimentellen in vivo Untersuchung gezeigt werden, in wie weit die Abgabe eines Stromimpulses zu einer Veränderung des Weichgewebes im Kanal und am Periapex führt. Nach vorangehender endometrischer Längenbestimmung führt das Endox-Gerät durch Applikation von hochfrequentem Wechselstrom im Wurzelkanal zur Gewebekoagulation. Die Oberkiefermolaren des ersten Quadranten von insgesamt 21 weiblichen Wistar-Ratten wurden behandelt und okklusal mit Harvard-Zement verschlossen. Drei Tiere wurden als Kontrollgruppe in Narkose gelegt, ohne die Molaren zu behandeln. Die Ratten wurden nach 1, 90 und 180 Tagen geopfert und das zu untersuchende Gewebe entnommen. Es wurden histologische Schnittbilder angefertigt und mit einem Lichtmikroskop ausgewertet.

Die Gesundheit der Tiere war über den Zeitraum der Untersuchung gut. Es konnte keine Einschränkung des Allgemeinempfindens auf die Behandlung mit Endox® zurückgeführt werden. Genauso hatte die Narkose keine nennenswerte Auswirkung auf den Versuch. Die endometrische Längenkontrolle war aufgrund der zu kurzen Wurzeln nicht möglich. Der okklusale Verschluss mit Harvard-Zement hielt nicht über den gesamten Zeitraum der Untersuchung. Die intraorale Untersuchung ergab intakte Füllungen in der 1-Tages-Versuchsgruppe. Die restlichen Versuchsgruppen wiesen Füllungsverlust auf, welcher mit der Kaufunktion von Nagetieren in direkter Verbindung steht.

In der 1-Tages-Versuchsgruppe zeigten sich geringgradige thermische Schäden im unmittelbar dem Zement angrenzenden Bereich. Das Wurzelkanallumen war vollständig sauber. In wenigen Kanälen fanden sich einzelne verkochte Gewebereste, die auf die Wirksamkeit der Gewebekoagulation hindeuten. Die 90- und 180-Tages Versuchsgruppe wiesen chronische Entzündungen im Wurzelkanalbereich und dem Desmodont auf. Diese wurden durch den Verlust der okklusalen Füllungen ermöglicht. In keiner der drei Versuchsgruppen konnten Unterschiede zwischen ein- und drei- bzw. fünfmaliger

Impulsabgabe festgestellt werden. Dies muss jedoch auf die Kürze des Wurzelkanals zurückgeführt werden, in dem schon ein Impuls ausreicht, um das Gewebe vollständig zu verdampfen.

Die statistische Auswertung ergab keinen Zusammenhang zwischen dem Füllungsgrad und der Entzündung, obwohl das klinische Ergebnis eindeutig ist. Der Grund liegt in der geringen Stichprobenzahl. Die Ergebnisse der 1-Tages-Versuchsgruppe werden ausschließlich auf die Behandlung mit Endox® zurückgeführt. In dieser Gruppe konnte die Wirksamkeit der Gewebekoagulation bis in die Tiefen der Dentintubuli gezeigt werden. Die geringgradige thermische Alteration im Desmodont war zu erwarten, da die Dicke des Dentinmantels nicht derjenigen des menschlichen Zahnes entspricht.

Insgesamt kann man die Ergebnisse dieser Studie als erfolgsversprechend einstufen. Es konnte gezeigt werden, dass das Endox-Endodontiesystem in vivo bei richtiger Handhabung in der Lage ist, das Wurzelkanallumen vollständig von Geweberesten zu befreien. Die Reaktionen im Desmodont und am Periapex entsprechen einer physiologischen Reaktion auf die Wurzelkanalaufbereitung. Die Anwendung ist einfach und zeitsparend. Das Endoxgerät ist für die schnelle Bakterienreduktion, wie sie bei der Behandlung von Pulpitiden notwendig ist, besonders geeignet. Für den Patienten resultiert daraus eine Verkürzung der Behandlungsdauer verbunden mit einer höheren Erfolgsquote von Wurzelkanalbehandlungen. Darüber hinaus kann das Ausmaß der Röntgendiagnostik auf ein Minimum beschränkt werden. Dies ist besonders interessant bei Behandlung von Kindern und Schwangeren. Durch weitere klinische Studien muss die Einsetzbarkeit am Patienten optimiert werden.

## 7. LITERATURVERZEICHNIS

1. Ahmad, M., Pitt Ford, T.R., Crum, L.A. und Wilson, R.F.:  
Effectiveness of Ultrasonic Files in the Disruption of Root Canal Bacteria.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 70, 328-32 (1990)
2. al Shalabi, R.M., Omer, O.E., Glennon, J., Jennings, M. und Claffey, N.M.:  
Root Canal Anatomy of Maxillary First and Second Permanent Molars.  
*Int Endod J* 33, 405-14 (2000)
3. Alva, N., Palomeque, J. und Carbonell, T.:  
Nitric Oxide Induced by Ketamine/Xylazine Anesthesia Maintains Hepatic Blood Flow During Hypothermia.  
*Nitric Oxide* (2005)
4. Anthony, L.P. und Grossmann, L.I.:  
A Brief History of Root Canal Therapy.  
*J Am Dent Ass* 32, 43-50 (1945)
5. Artal, N. und Gani, O.:  
Endodontic Anatomy of the Root Canals of Lower Incisors.  
*Acta Odontol Latinoam* 13, 39-49 (2000)
6. Atrizadeh, F., Kennedy, J. und Zander, H.:  
Ankylosis of Teeth Following Thermal Injury.  
*J Periodontal Res* 6, 159-67 (1971)
7. Attin, T., Buchalla, W., Zirkel, C. und Lussi, A.:  
Clinical Evaluation of the Cleansing Properties of the Noninstrumental Technique for Cleaning Root Canals.  
*Int Endod J* 35, 929-33 (2002)
8. Bando, Y. und Nagayama, M.:  
Odontogenic Cyst Induction by Periapical Infection in Rats.  
*J Oral Pathol Med* 22, 323-6 (1993)
9. Barbosa, H.G., Holland, R., de Souza, V., Dezan, E.J., Bernabe, P.F., Otoboni, J.A. und Nery, M.J.:  
Healing Process of Dog Teeth after Post Space Preparation and Exposition of the Filling Material to the Oral Environment.  
*Braz Dent J* 14, 103-8 (2003)
10. Barnett, F., Trope, M., Khoja, M. und Tronstad, L.:  
Bacteriologic Status of the Root Canal after Sonic, Ultrasonic and Hand Instrumentation.  
*Endod Dent Traumatol* 1, 228-31 (1985)

11. Barrieshi, K.M., Walton, R.E., Johnson, W.T. und Drake, D.R.:  
Coronal Leakage of Mixed Anaerobic Bacteria after Obturation and Post Space Preparation.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 84, 310-4 (1997)
12. Baumann, M.A.:  
Die Räumliche Darstellung Des Endodonts.  
*Hanser München, Wien* (1995)
13. Baumann, M.A.:  
Nickel-Titanium: Options and Challenges.  
*Dent Clin North Am* 48, 55-67 (2004)
14. Baumann, M.A. und Roth, A.:  
Effect of Experience on Quality of Canal Preparation with Rotary Nickel-Titanium Files.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 88, 714-8 (1999)
15. Baumeister, N.:  
Der Einsatz Von Hochfrequenz Zur Wurzelkanalbehandlung - Eine in Vitro Untersuchung.  
*Dissertation, München* (2002)
16. Baumgartner, J.C., Brown, C.M., Mader, C.L., Peters, D.D. und Shulman, J.D.:  
A Scanning Electron Microscopic Evaluation of Root Canal Debridement Using Saline, Sodium Hypochlorite, and Citric Acid.  
*J Endod* 10, 525-31 (1984)
17. Baumgartner, J.C. und Cuenin, P.R.:  
Efficacy of Several Concentrations of Sodium Hypochlorite for Root Canal Irrigation.  
*J Endod* 18, 605-12 (1992)
18. Becker, T.D. und Woollard, G.W.:  
Endodontic Irrigation.  
*Gen Dent* 49, 272-6 (2001)
19. Becking, A.G.:  
Complications in the Use of Sodium Hypochlorite During Endodontic Treatment. Report of Three Cases.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 71, 346-8 (1991)
20. Beer, R. und Baumann, M.A.:  
Endodontologie.  
In: Rateitschak, K. H. und Wolf, H. F.: *Farbatlant der Zahnmedizin* 7.  
*Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York* (1997)
21. Belizzi, R. und Cruse, W.P.:  
A Historic Review of Endodontics, 1689-1963 (Part 3).  
*J Endod* 6, 576-80 (1980)

22. Benz, C. und Mouyen, F.:  
Radiovisiography.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 44, 177-9 (1989)
23. Benz, C., Schwarz, P. und Sonnabend, E.:  
Untersuchung Des Neuen Radiovisiographie-Systems.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 45, 728-9 (1990)
24. Bergmans, L., Van Cleynenbreugel, J., Wevers, M. und Lambrechts, P.:  
Mechanical Root Canal Preparation with Niti Rotary Instruments: Rationale, Performance and Safety. Status Report for the American Journal of Dentistry.  
*Am J Dent* 14, 324-33 (2001)
25. Bergqvist-Karlsson, A.:  
Delayed and Immediate-Type Hypersensitivity to Chlorhexidine.  
*Contact Dermatitis* 18, 84-8 (1988)
26. Bhat, K.S.:  
Tissue Emphysema Caused by Hydrogen Peroxide.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 38, 304-7 (1974)
27. Borssen, J.A. und Sundqvist, G.:  
Actinomyces of Infected Dental Root Canals.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 51, 643-8 (1981)
28. Burke, F.J., Fleming, G.J., Nathanson, D. und Marquis, P.M.:  
Are Adhesive Technologies Needed to Support Ceramics? An Assessment of the Current Evidence.  
*J Adhes Dent* 4, 7-22 (2002)
29. Bystroem, A. und Sundquist, G.:  
Bacteriologic Evaluation of the Efficacy of Mechanical Root Canal Instrumentation in Endodontic Therapy.  
*Scand J Dent Res* 89, 321-8 (1981)
30. Carlsen, O. und Alexandersen, V.:  
Root Canals in Two-Rooted Maxillary Second Molars.  
*Acta Odontol Scand* 55, 330-8 (1997)
31. Carrotte, P.:  
Endodontics: Part 7; Preparing the Root Canal.  
*Br Dent J* 197, 603-13 (2004)
32. Cherukara, G.P., Pollock, G.R. und Wright, P.S.:  
Case Report: Removal of Fractured Endodontic Posts with a Sonic Instrument.  
*Eur J Prosthodont Restor Dent* 10, 23-6 (2002)
33. Cheung, G.S.:  
Endodontic Failures--Changing the Approach.  
*Int Dent J* 46, 131-8 (1996)

34. Cheung, G.S. und Stock, C.J.:  
In Vitro Cleaning Ability of Root Canal Irrigants with and without Endosonics.  
*Int Endod J* 26, 334-43 (1993)
35. Cohen, S. und Burns, R.C.:  
Pathways of the Pulp.  
*Mosby St. Louis* (1991)
36. Cruse, W.P. und Belizzi, R.:  
A Historic Review of Endodontics, 1689-1963 (Part 2).  
*J Endod* 6, 532-5 (1980)
37. Cunningham, W.T., Martin, H., Pelleu, G.B., Jr. und Stoops, D.E.:  
A Comparison of Antimicrobial Effectiveness of Endosonic and Hand Root Canal Therapy.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 54, 238-41 (1982)
38. Curson, I.:  
History and Endodontics.  
*Dent Pract* 15, 435-9 (1965)
39. Dammaschke, T. und Ott, K.H.R.:  
Geschichte Der Röntgenologischen Zahnängenbestimmung Mit Praktischen Hinweisen in Bezug Auf Instrumentenmarkierungshilfen.  
*Endodontie* 6, 145-54 (1997)
40. DGZMK:  
Zur Bewertung Der Depotphorese in Der Endodontie. Stellungnahme Der Dgzmk.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 55, 439-40 (2000)
41. Dittmar, M.S., Fehm, N.P., Vatankhah, B. und Horn, M.:  
Ketamine/Xylazine Anesthesia for Radiologic Imaging of Neurologically Impaired Rats: Dose Response, Respiratory Depression, and Management of Complications.  
*Comp Med* 54, 652-5 (2004)
42. Driak, F. und Schönbauer, F.:  
Theorie Und Praxis Der Wurzelbehandlung.  
*Brüder Hollinek Wien* (1960)
43. Dunlap, C., Remeikis, N., Begole, E. und Rauschenberger, C.:  
An in Vivo Evaluation of an Electronic Apex Locator That Uses the Ratio Method in Vital and Necrotic Canals.  
*J Endod* 24, 48-50 (1998)
44. Eder, A., Raabe, M., Cviki, B., Sperr, W. und Nell, A.:  
Der Einsatz Von Hochfrequentem Wechselstrom in Der Endodontie.  
*ZWR* 113, 81-4 (2004)

45. Ehrlich, D.G., Brian, J.D., Jr. und Walker, W.A.:  
Sodium Hypochlorite Accident: Inadvertent Injection into the Maxillary Sinus.  
*J Endod* 19, 180-2 (1993)
46. Eifinger, F.F.:  
Die Mikromorphologie Der Menschlichen Zahnpulpa.  
*Hanser München* (1970)
47. Eriksson, A.R. und Albrektsson, T.:  
Temperature Threshold Levels for Heat-Induced Bone Tissue Injury: A Vital-Microscopic Study in the Rabbit.  
*J Prosthet Dent* 50, 101-7 (1983)
48. Fabianelli, A., Goracci, C., Bertelli, E., Monticelli, F., Grandini, S. und Ferrari, M.:  
In Vitro Evaluation of Wall-to-Wall Adaptation of a Self-Adhesive Resin Cement Used for Luting Gold and Ceramic Inlays.  
*J Adhes Dent* 7, 33-40 (2005)
49. Fava, L., R.:  
The Double Flared Technique: An Alternative for Biomechanical Preparation.  
*J Endod* 9, 76-80 (1983)
50. Fischer, G.:  
Anatomie Der Wurzelkanäle.  
*Dtsch Monatsschr Zahnheilk* 18, 227 (1901)
51. Fouad, A.F., Rivera, E.M. und Krell, K.V.:  
Accuracy of Endex with Variations in Canal Irrigants and Foramen Size.  
*J Endod* 19, 63-7 (1993)
52. Franz, A., Konradsson, K., König, F., Van Dijken, J.W. und Schedle, A.:  
Cytotoxicity of a Calcium Aluminate Cement in Comparison with Other Dental Cements and Resin-Based Materials.  
*Acta Odontol Scand* 64, 1-8 (2006)
53. Friedman, C.M., Sandrik, J.L., Heuer, M.A. und Rapp, G.W.:  
Composition and Mechanical Properties of Gutta-Percha Endodontic Points.  
*J Dent Res* 54, 921-5 (1975)
54. Gale, M.S.:  
Coronal Microleakage.  
*Ann R Australas Coll Dent Surg* 15, 299-305 (2000)
55. Gambarini, G.:  
Rationale for the Use of Low-Torque Endodontic Motors in Root Canal Instrumentation.  
*Endod Dent Traumatol* 16, 95-100 (2000)
56. Gambarini, G.:  
Cyclic Fatigue of Nickel-Titanium Rotary Instruments after Clinical Use with Low- and High-Torque Endodontic Motors.

- J Endod* 27, 772-4 (2001)
57. Goerig, A., C., Michelich, R., J. und Schultz, H., H.:  
Instrumentation of Root Canals in Molar Using the Step-Down Technique.  
*J Endod* 8, 550-54 (1982)
  58. Goldberg, F. und Abramovich, A.:  
Analysis of the Effect of Edtac on the Dentinal Walls of the Root Canal.  
*J Endod* 3, 101-5 (1977)
  59. Gomez, P.A. und Cabrini, R.L.:  
Anatomic Variations of the Root Canal of the Rat According to Age.  
*Acta Odontol Latinoam* 17, 39-42 (2004)
  60. Greve, H.C.:  
Zur Entwicklungsgeschichte Der Wurzelbehandlung.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 7, 1174-6 (1952)
  61. Grossman, L.I.:  
Endodontic Practice. 10th Edition.  
*Lea & Febiger Philadelphia* (1981)
  62. Grossman, L.I.:  
The Making of an Antibiotic.  
*Endod Dent Traumatol* 3, 91-4 (1987)
  63. Grossman, L.I. und Meiman, B.W.:  
Solution of Pulp Tissue by Chemical Agents.  
*J Am Dent Ass* 28, 223-5 (1941)
  64. Grossman, L.I., Oliet, S. und DelRio, C.E.:  
Endodontic Practice. 11. Auflage.  
*Lea & Febiger Philadelphia* (1988)
  65. Grossmann, L.I.:  
Endodontics: Then and Now.  
*Oral Surg* 32, 254-9 (1971)
  66. Grossmann, L.I.:  
Endodontics 1776-1976: A Bicentennial History against the Background of General Dentistry.  
*J Am Dent Assoc* 93, 78-87 (1976)
  67. Grossmann, L.I.:  
Pioneers in Endodontics.  
*J Endod* 13, 409-15 (1987)
  68. Guldener, P.H.A. und Langeland, K.:  
Endodontologie.  
*Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York* (1987)



69. Gutmann, J., L. und Witherspoon, D., E.:  
Obturation of the Cleaned Aund Shaped Root Canal System.  
In: Cohen, S. und Burns, R. C.: Pathways of the Pulp.  
*Mosby St. Louis (1998)*
70. Gutmann, J., L. und Witherspoon, D., E.:  
Obturation of the Cleaned Aund Shaped Root Canal System.  
In: Cohen, S. und Burns, R. C.: Pathways of the Pulp. 8th Edition.  
*Mosby St. Louis (2002)*
71. Gutmann, J.L., Saunders, W.P., Saunders, E.M. und Nguyen, L.:  
An Assessment of the Plastic Thermafil Obturation Technique. Part 2. Material  
Adaptation and Sealability.  
*Int Endod J 26, 179-83 (1993)*
72. Haffner, C.:  
Hochfrequente Wechsellspannung Im Wurzelkanal - Das Endox-Endodontiesystem.  
*ZBay 1/2, 60-62 (2000)*
73. Haffner, C., Benz, C. und Hickel, R.:  
Das Endox - Endodontiesystem: Weitere Laborergebnisse Und Erste Klinische Resultate.  
*ZWR 108, 670-4 (1999)*
74. Haffner, C., Benz, C., Kremers, L., Diebold, J., Folwaczny, M., Mehl, A., Hickel, R.  
und Löhrs, U.:  
Das Endox - Endodontiesystem: Ein Bericht Über Erste Erfahrungen.  
*ZWR 106, 764-7 (1997)*
75. Harrison, J.W.:  
Irrigation of the Root Canal System.  
*Dent Clin North Am 28, 797-808 (1984)*
76. Hasselgren, G.:  
Where Shall the Root Filling End?  
*N Y State Dent J 60, 34-5 (1994)*
77. Hauman, C.H. und Love, R.M.:  
Biocompatibility of Dental Materials Used in Contemporary Endodontic Therapy: A  
Review. Part 1. Intracanal Drugs and Substances.  
*Int Endod J 36, 75-85 (2003)*
78. Heidemann, D.:  
Endodontie.  
In: Horch, H. H., Koeck, B., Ketterl, W. und Schmuth, G.: Praxis Der Zahnheilkunde.  
*Urban & Fischer München, Jena (2001)*
79. Heling, I. und Chandler, N.P.:  
Antimicrobial Effect of Irrigant Combinations within Dentinal Tubules.  
*Int Endod J 31, 8-14 (1998)*

80. Hellwig, E., Klimek, J. und Attin, T.:  
Einführung in Die Zahnerhaltung.  
*Urban & Fischer München, Jena (1999)*
81. Hess, W.L.:  
Zur Anatomie Der Wurzelkanäle Des Menschlichen Gebisses.  
*Schweiz Vierteljahresschr Zahnheilkd 27, 1-52 (1917)*
82. Hoffmann-Axthelm, W.:  
Die Geschichte Der Zahnheilkunde.  
*Quintessenz Berlin, Chicago, London (1985)*
83. Hör, D. und Attin, T.:  
Die Elektrische Längenbestimmung Des Wurzelkanals.  
*Endodontie 1, 39-56 (2001)*
84. Hoyer, I., Gangler, P., Krehan, F., Niemela, S. und Weinert, W.:  
[Biological Testing and Clinical Assessment of Composite Restorations].  
*Dtsch Zahnärztl Z 44, 100-5 (1989)*
85. Hülsmann, M.:  
Die Bestimmung Der Arbeitslänge in Der Endodontie. 1. Röntgenmessmethode.  
*ZWR 100, 30-5 (1991)*
86. Hülsmann, M.:  
Die Bestimmung Der Arbeitslänge in Der Endodontie. 2. Die Endometrische  
Bestimmung Der Kanallänge.  
*ZWR 100, 86-93 (1991)*
87. Hülsmann, M.:  
Die Maschinelle Aufbereitung Des Wurzelkanals.  
In: Akademie Praxis Und Wissenschaft: Endodontie.  
*Hanser München (1993)*
88. Hülsmann, M.:  
Die Wurzelkanalfüllung Mit Silberstiften.  
*Endodontie 5, 49-62 (1995)*
89. Hülsmann, M.:  
Zur Geschichte Der Wk-Aufbereitung.  
*Endod 5, 97-112 (1996)*
90. Hülsmann, M.:  
Die Wurzelkanalspülung - Ziele, Mittel Und Techniken.  
*Edodontie 47-62 (1997)*
91. Hülsmann, M.:  
Entwicklung Einer Methodik Zur Standardisierten Überprüfung Verschiedener  
Aufbereitungsparameter Und Vergleichende in Vitro-Untersuchung Unterschiedlicher  
Systeme Zur Maschinellen Wurzelkanalaufbereitung.

- Med. Habilschr., Quintessenz-Verlag Berlin (2000)*
92. Hülsmann, M.:  
Die Anwendung Elektrophysikalisch-Chemischer Methoden in Der Endodontie.  
*ZWR 113, 85-96 (2004)*
  93. Hülsmann, M. und Pieper, K.:  
Use of an Electronic Apex Locator in the Treatment of Teeth with Incomplete Root Formation.  
*Endod Dent Traumatol 5, 238-41 (1989)*
  94. Hülsmann, M. und Rödiger, T.:  
Die Röntgenmessaufnahme.  
*Endodontie 1, 21-37 (2001)*
  95. Hülsmann, M. und Stryga, F.:  
Comparison of Root Canal Preparation Using Different Automated Devices and Hand Instrumentation.  
*J Endod 19, 141-5 (1993)*
  96. Imura, N., Hata, G.I., Toda, T., Otani, S.M. und Fagundes, M.I.:  
Two Canals in Mesio Buccal Roots of Maxillary Molars.  
*Int Endod J 31, 410-4 (1998)*
  97. Ingle, J., I.:  
A Standardized Endodontic Technique Using Newly Designed Instruments and Filling Materials.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol 14, 83-91 (1961)*
  98. Ingle, J. und Taintor, J.F.:  
Endodontics.  
*Lea & Febiger Philadelphia (1985)*
  99. Ingle, J.I.:  
Endodontic Instruments and Instrumentation.  
*Dent Clin North Am 90, 549-61 (1975)*
  100. Jensen, S.A., Walker, T.L., Hutter, J.W. und Nicoll, B.K.:  
Comparison of the Cleaning Efficacy of Passive Sonic Activation and Passive Ultrasonic Activation after Hand Instrumentation in Molar Root Canals.  
*J Endod 25, 735-8 (1999)*
  101. Jung, I.Y., Seo, M.A., Fouad, A.F., Spangberg, L.S., Lee, S.J., Kim, H.J. und Kum, K.Y.:  
Apical Anatomy in Mesial and Mesio Buccal Roots of Permanent First Molars.  
*J Endod 31, 364-8 (2005)*
  102. Katz, A., Mass, E. und Kaufmann, A.Y.:  
Electronic Apex Locator: A Useful Tool for Root Canal Treatment in the Primary Dentition.  
*J Dent Child 63, 414-7 (1996)*

103. Keiser, K.:  
Strategies for Managing the Endodontic Pain Patient.  
*Tex Dent J* 120, 250-7 (2003)
104. Kerekes, K. und Tronstad, L.:  
Morphometric Observations on Root Canals of Human Anterior Teeth.  
*J Endod* 3, 24-9 (1977)
105. Kerekes, K. und Tronstad, L.:  
Morphometric Observations on Root Canals of Human Premolars.  
*J Endod* 3, 74-9 (1977)
106. Kerekes, K. und Tronstad, L.:  
Morphometric Observations on the Root Canals of Human Molars.  
*J Endod* 3, 114-8 (1977)
107. Klein, I.E.:  
The Effect of Thyrocalcitonin and Growth Hormones on Bone Metabolism.  
*J Prosthet Dent* 33, 365-79 (1975)
108. Kloosterman, F., van Haften, T. und Lopes da Silva, F.H.:  
Two Reentrant Pathways in the Hippocampal-Entorhinal System.  
*Hippocampus* 14, 1026-39 (2004)
109. Knappwost, A.:  
Die Grundlage Des Depot-Ionophoeseverfahrens.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 8, 359-63 (1953)
110. Kockapan, C.:  
Die Bedeutung Der Schmierschicht Bei Der Wurzelkanalbehandlung - Eine Übersicht.  
*Endodontie* 4, 33-49 (1995)
111. Koskinen, K.P., Meurman, J.H. und Stenvall, H.:  
Appearance of Chemically Treated Root Canal Walls in the Scanning Electron  
Microscope.  
*Scand J Dent Res* 88, 505-12 (1980)
112. Koulaouzidou, E.A., Margelos, J., Beltes, P. und Kortsaris, A.H.:  
Cytotoxic Effects of Different Concentrations of Neutral and Alkaline Edta Solutions  
Used as Root Canal Irrigants.  
*J Endod* 25, 21-3 (1999)
113. Kraus, E.:  
Die Behandlung Von Pulpakrankheiten Einst Und Jetzt.  
*"Lege Artis" Dental Stuttgart* (1953)
114. KZBV:  
Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung: Jahrbuch Statistik.  
*Köln* (2004)

115. Langeland, K., Liao, K. und Pascon, E.A.:  
Work-Saving Devices in Endodontics: Efficacy of Sonic and Ultrasonic Techniques.  
*J Endod 11, 499-510 (1985)*
116. Lässig, H.E. und Müller, R.A.:  
Die Zahnheilkunde in Kunst- Und Kulturgeschichte.  
*DuMont Köln (1983)*
117. Lauerma, A.I.:  
Simultaneous Immediate and Delayed Hypersensitivity to Chlorhexidine Digluconate.  
*Contact Dermatitis 44, 59 (2001)*
118. Lembke, A. und Pause, B.:  
[Anticaries Effectiveness of D(+)-Galactose].  
*Z Stomatol 86, 179-89 (1989)*
119. Lendini, M., Alemanno, E., Migliaretti, G. und Berutti, E.:  
The Effect of High-Frequency Electrical Pulses on Organic Tissue in Root Canals.  
*Int Endod J 38, 531-8 (2005)*
120. Levy, G.:  
Das Canal-Finder-System: Ein Neuartiges Maschinengetriebenes Instrumentarium Für  
Die Gesamte Wurzelkanalbehandlung.  
*Coll Med Dent 29, 569-73 (1985)*
121. Lewinstein, I., Matalon, S., Slutzkey, S. und Weiss, E.I.:  
Antibacterial Properties of Aged Dental Cements Evaluated by Direct-Contact and Agar  
Diffusion Tests.  
*J Prosthet Dent 93, 364-71 (2005)*
122. Lilley, J.D.:  
Endodontic Instrumentation before 1800.  
*J Br Endod Soc 9, 67-9 (1976)*
123. Lipski, M.:  
Root Surface Temperature Rises During Root Canal Obturation, in Vitro, by the  
Continuous Wave of Condensation Technique Using System B Heatsource.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 99, 505-10 (2005)*
124. Loushine, R.J., Weller, R.N. und Hartwell, G.R.:  
Stereomicroscopic Evaluation of Canal Shape Following Hand, Sonic and Ultrasonic  
Instrumentation.  
*J Endod 9, 417-21 (1989)*
125. Lussi, A., Hotz, M. und Stich, H.:  
Die Balanced Force Und Die Gt-Rotary-Technik Im Vergleich Zur Nicht  
Instrumentellen Technik (Nit).  
*Schweiz Monatsschr Zahnmed 114, 12-8 (2004)*

126. Lussi, A., Imwinkelried, S., Hotz, P. und Grosrey, J.:  
Long-Term Obturation Quality Using Noninstrumentation Technology.  
*J Endod* 26, 491-3 (2000)
127. Lussi, A., Nussbacher, U. und Grosrey, J.:  
A Novel Noninstrumented Technique for Cleansing the Root Canal System.  
*J Endod* 19, 549-53 (1993)
128. Lussi, A., Suter, B., Fritzsche, A., Gygax, M. und Portmann, P.:  
In Vivo Performance of the New Non-Instrumentation Technology (Nit) for Root Canal  
Obturation.  
*Int Endod J* 35, 352-8 (2002)
129. Lussi, A., Suter, B. und Grosrey, J.:  
Obturation of Root Canals in Vivo with a New Vacuum Technique.  
*J Endod* 23, 629-31 (1997)
130. MacMillen, H.W.:  
The Structure an Function of the Alveolar Process.  
*J Nat Dent Ass* 1059 (1924)
131. Maggiore, C., Gallottini, L. und Resi, J.P.:  
Mandibular First and Second Molar. The Variability of Roots and Root Canal System.  
*Minerva Stomatol* 47, 409-16 (1998)
132. Martin, H.:  
Ultrasonic Disinfection of the Root Canal.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 42, 92-9 (1976)
133. Martin, H. und Cunningham, W.:  
Endosonic Endodontics: The Ultrasonic Synergistic System.  
*Int Dent J* 34, 198-203 (1984)
134. Martin, H. und Cunningham, W.:  
Endosonics--the Ultrasonic Synergistic System of Endodontics.  
*Endod Dent Traumatol* 1, 201-6 (1985)
135. Meyer, W. und Scheele, E.:  
Die Anatomie Der Wurzelkanäle.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 9, 497-500 (1954)
136. Milas, V.:  
Pathways of the Pulp.  
*C.V. Mosby St. Luis* (1987)
137. Moorer, W.R. und Wesselink, P.R.:  
Factors Promoting the Tissue Dissolving Capability of Sodium Hypochlorite.  
*Int Endod J* 15, 187-96 (1982)

138. Morgan, L., F. und Montgomery, S.:  
An Evaluation of the Crown-Down Pressureless Technique.  
*J Endod* 10, 491-8 (1984)
139. Mortman, R.E. und Ahn, S.:  
Three Canals in the Mandibular Second Premolar.  
*Dent Today* 19, 76-9 (2000)
140. Mullaney, T., P.:  
Instrumentation of Finely Curved Canals.  
*Dent Clin North Am* 23, 575-92 (1979)
141. Murazabal, M., Erausquin, J. und Devoto, F.H.:  
A Study of Periapical Overfilling Root Canal Treatment in the Molar of the Rat.  
*Arch Oral Biol* 11, 373-83 (1966)
142. Muruzabal, M. und Erausquin, J.:  
Response of Periapical Tissues in the Rat Molar to Root Canal Fillings with Diaket and Ah-26.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 21, 786-804 (1966)
143. Nelvig, P., Wing, K. und Welander, U.:  
Sens-a-Ray. A New System for Direct Digital Intraoral Radiography.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 74, 818-23 (1992)
144. Nikolaus, B.E., Wayman, B.E. und Encinas, E.:  
The Bactericidal Effect of Citric Acid and Sodium Hypochlorite on Anaerobic Bacteria.  
*J Endod* 14, 31-4 (1988)
145. Nygaard-Ostby, B.:  
Chelation in Root Canal Therapy.  
*Odontol Tidskrift* 63, 3-11 (1957)
146. Oi, T., Saka, H. und Ide, Y.:  
Three-Dimensional Observation of Pulp Cavities in the Maxillary First Premolar Tooth Using Micro-Ct.  
*Int Endod J* 37, 46-51 (2004)
147. Orstavik, D.:  
Endodontic Materials.  
*Adv Dent Res* 2, 12-24 (1988)
148. Ozaki, Y., Kunimatsu, K., Tajiri, K., Hara, Y., Kato, Y., Aoki, Y. und Kato, I.:  
Role of Medullasin in Nifedipine-Induced Gingival Overgrowth in Rats.  
*Arch Oral Biol* 43, 801-10 (1998)
149. Pagavino, G., Diamante, D., Marri, M. und Pace, R.:  
Localisation of the Apical Foramen Using the Newest Electronic Instruments: Stereomicroscopy and Sem.  
*Minerva Stomatol* 44, 499-506 (1995)

150. Peters, L.B.:  
Zur Frage Der Infektion Von Dentinkanälchen.  
*Endodontie 2, 239 (1993)*
151. Peters, O.A.:  
Current Challenges and Concepts in the Preparation of Root Canal Systems: A Review.  
*J Endod 30, 559-67 (2004)*
152. Peters, O.A., Laib, A., Ruegsegger, P. und Barbakow, F.:  
Three-Dimensional Analysis of Root Canal Geometry by High-Resolution Computed Tomography.  
*J Dent Res 79, 1405-9 (2000)*
153. Petschelt, A.:  
Endodontie: Maschinell--Manuell? Die Aufbereitung Und Spulung Des Wurzelkanals.  
*Dtsch Zahnarztl Z 44, 407-13 (1989)*
154. Petschelt, A. und Oberschachtsiek, H.:  
Über Die Schmierschicht "Smear-Layer" Nach Der Wurzelkanalaufbereitung. (Rem-Untersuchung).  
*Dtsch Zahnarztl Z 40, 845-9 (1985)*
155. Piwowarczyk, A. und Lauer, H.C.:  
Mechanical Properties of Luting Cements after Water Storage.  
*Oper Dent 28, 535-42 (2003)*
156. Portmann, P., Imwinkelried, S. und Lussi, A.:  
Obturation Quality after Four Years of Storage Using the Non-Instrumentation Technique.  
*Schweiz Monatsschr Zahnmed 115, 431-6 (2005)*
157. Portmann, P. und Lussi, A.:  
A Comparison between a New Vacuum Obturation Technique and Lateral Condensation: An in Vitro Study.  
*J Endod 20, 292-5 (1994)*
158. Prati, C., Selighini, M., Ferrieri, P. und Mongiorgi, R.:  
Scanning Electron Microscopic Evaluation of Different Endodontic Procedures on Dentin Morphology of Human Teeth.  
*J Endod 20, 174-9 (1994)*
159. Prinz, H.:  
Electro Sterilisation of Root Canals.  
*Dent Cosmos 59, 373-88 (1917)*
160. Ram, Z.:  
Chelation in Root Canal Therapy.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol 49, 64-74 (1980)*



161. Reeh, E.S. und Messer, H.H.:  
Long-Term Paresthesia Following Inadvertent Forcing of Sodium Hypochlorite through Perforation in Maxillary Incisor.  
*Endod Dent Traumatol* 5, 200-3 (1989)
162. Ricucci, D.:  
Apical Limit of Root Canal Instrumentation and Obturation, Part 1. Literature Review.  
*Int Endod J* 31, 384-93 (1998)
163. Ricucci, D. und Langeland, K.:  
Apical Limit of Root Canal Instrumentation and Obturation, Part 2. A Histological Study.  
*Int Endod J* 31, 394-409 (1998)
164. Roane, J., Sabala, C. und Duncanson, M.:  
The "Balanced Force" Concept for Instrumentation of Curved Canals.  
*J Endod* 11, 203-11 (1985)
165. Romeis, B.:  
Mikroskopische Technik, 17. Auflage.  
*Urban und Schwarzenberg München, Wien, Baltimore* (1989)
166. Sabins, R.A., Johnson, J.D. und Hellstein, J.W.:  
A Comparison of the Cleaning Efficacy of Short-Term Sonic and Ultrasonic Passive Irrigation after Hand Instrumentation in Molar Root Canals.  
*J Endod* 29, 674-8 (2003)
167. Saito, T. und Yamashita, Y.:  
Electronic Determination of Root Canal Length by Newly Developed Measuring Device. Influences of the Diameter of Apical Foramen, the Size of K-File and Root Canal Irrigants.  
*Dent Jpn* 27, 65-72 (1990)
168. Sanchez, I.R., Nusbaum, K.E., Swaim, S.F., Hale, A.S., Henderson, R.A. und McGuire, J.A.:  
Chlorhexidine Diacetate and Povidone-Iodine Cytotoxicity to Canine Embryonic Fibroblasts and Staphylococcus Aureus.  
*Vet Surg* 17, 182-5 (1988)
169. Sato, E.F., Antoniazzi, J.H. und Bauer, J.A.:  
Morphologic Study of Tissue Changes Occurring in the Apical Third and Periapex of Rat Molars after Endodontic Treatment Performed under Different Occlusal Conditions.  
*Braz Dent J* 5, 135-9 (1994)
170. Sauerwein, E.:  
Zahnerhaltungskunde. 5. Auflage.  
*Thieme Stuttgart* (1985)

171. Saunders, E.M.:  
In Vivo Findings Associated with Heat Generation During Thermomechanical Compaction of Gutta-Percha. 1. Temperature Levels at the External Surface of the Root.  
*Int Endod J* 23, 263-7 (1990)
172. Saunders, E.M.:  
In Vivo Findings Associated with Heat Generation During Thermomechanical Compaction of Gutta-Percha. 2. Histological Response to Temperature Elevation on the External Surface of the Root.  
*Int Endod J* 23, 268-74 (1990)
173. Saunders, W.P. und Saunders, E.M.:  
Effect of Noncutting Tipped Instruments on the Quality of Root Canal Preparation Using a Modified Double-Flared Technique.  
*J Endod* 18, 32-6 (1992)
174. Saunders, W.P., Saunders, E.M., Gutmann, J.L. und Gutmann, M.L.:  
An Assessment of the Plastic Thermafil Obturation Technique. Part 3. The Effect of Post Space Preparation on the Apical Seal.  
*Int Endod J* 26, 184-9 (1993)
175. Schäfer, E.:  
Wurzelkanalinstrumente Für Den Manuellen Einsatz. Schneidleistung Und Formgebung Gekrümmter Kanalabschnitte.  
*Quintessenz* (1998)
176. Schäfer, E., Tepel, J. und Hoppe, W.:  
Properties of Endodontic Hand Instruments Used in Rotary Motion. Part 2. Instrumentation of Curved Canals.  
*J Endod* 21, 493-7 (1995)
177. Schilder, H.:  
Filling Root Canals in Three Dimensions.  
*Dent Clin North Am* 723-44 (1967)
178. Schilder, H.:  
Cleaning and Shaping the Root Canal.  
*Dent Clin North Am* 18, 269-96 (1974)
179. Schmalz, G., Garhammer, P. und Schweiki, H.:  
A Commercially Available Cell Culture Device Modified for Dentin Barrier Tests.  
*J Endod* 22, 249-52 (1996)
180. Schneider, S.W.:  
A Comparisson of Canal Preparations in Straight and Curved Root Canals.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32, 271-5 (1971)
181. Schroeder, H.E.:  
Orale Strukturbiologie.  
*Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York* (1992)

182. Schuhmacher, G.H., Schmidt, H., Börnig, H. und Richter, W.:  
Anatomie Und Biochemie Der Zähne.  
*Gustav Fischer Verlag Stuttgart, New York (1990)*
183. Seichter, U. und van der Schelling, D.:  
Bakteriologische Untersuchungen Zur Desinfizierenden Wirkung Von Chlorhexidin Als  
Spulmittel Bei Der Wurzelkanalbehandlung.  
*Dtsch Zahnarzt Z 42, 763-6 (1987)*
184. Seidberg, B.H. und Schilder, H.:  
An Evaluation of Edta in Endodontics.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol 37, 609-20 (1974)*
185. Seltzer, S.:  
Endontology. Biologic Considerations in Endodontic Procedures. Second Edition.  
*Lea & Febiger Philadelphia (1988)*
186. Seltzer, S. und Bender, I.B.:  
The Dental Pulp.  
*Lippincott Philadelphia (1984)*
187. Seltzer, S., Soltanoff, W., Sinai, I., Goldenberg, A. und Bender, I.B.:  
Biologic Aspects of Endodontics Part Iii. Periapical Tissue Reactions to Root Canal  
Instrumentation. 1968.  
*J Endod 30, 491-9; discussion 489-90 (2004)*
188. Sen, B.H., Wesselink, P.R. und Türkün, M.:  
Die Bakterizide Wirkung Des Nd:Yag Lasers Im Wk in Vitro.  
*Dissertation, Aachen (1998)*
189. Sjogren, U. und Sundqvist, G.:  
Bacteriologic Evaluation of Ultrasonic Root Canal Instrumentation.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol 63, 366-70 (1987)*
190. Sonntag, D., Guntermann, A., Kim, S.K. und Stachniss, V.:  
Root Canal Shaping with Manual Stainless Steel Files and Rotary Ni-Ti Files Performed  
by Students.  
*Int Endod J 36, 246-55 (2003)*
191. Spangberg, L., Engstrom, B. und Langeland, K.:  
Biologic Effects of Dental Materials. 3. Toxicity and Antimicrobial Effect of  
Endodontic Antiseptics in Vitro.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol 36, 856-71 (1973)*
192. Spangberg, L. und Langeland, K.:  
Biologic Effects of Dental Materials. 1. Toxicity of Root Canal Filling Materials on  
Hela Cells in Vitro.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol 35, 402-14 (1973)*

193. Sritharan, A.:  
Discuss That the Coronal Seal Is More Important Than the Apical Seal for Endodontic Success.  
*Aust Endod J* 28, 112-5 (2002)
194. Stabholz, A., Sahar-Helft, S. und Moshonov, J.:  
Lasers in Endodontics.  
*Dent Clin North Am* 48, 809-32 (2004)
195. Stashenko, P., Yu, S.M. und Wang, C.Y.:  
Kinetics of Immune Cell and Bone Resorptive Responses to Endodontic Infections.  
*J Endod* 18, 422-6 (1992)
196. Stickforth, P. und Rotgans, J.:  
[The Effect of a Chemotherapeutical Amine Containing Toothpaste on Plaque Formation, Gingivitis and Caries in Clinical and Animal Experiment].  
*Dtsch Stomatol* 41, 253-7 (1991)
197. Stock, C.J.:  
Current Status of the Use of Ultrasound in Endodontics.  
*Int Dent J* 41, 175-82 (1991)
198. Stock, C.J., Gulabivala, K., Walker, R.T. und Goodman, J.R.:  
Atlas Der Endodontie.  
*Ullstein-Mosby Berlin, Wiesbaden* (1997)
199. Stoll, R., Sonntag, D. und Stachniss, V.:  
Digitale Radiographie Als Hilfsmittel Zur Bestimmung Der Arbeitslänge.  
*Endodontie* 1, 59-71 (2001)
200. Stosser, L., Schulz, L., Schulz, E. und Kunzel, W.:  
[The Plaque- and Caries-Inhibiting Efficacy of an Amine Fluoride/Tin Fluoride Combination in an Animal Experiment on Rats].  
*Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl* 78, 691-4 (1990)
201. Stropko, J.J.:  
Canal Morphology of Maxillary Molars: Clinical Observations of Canal Configurations.  
*J Endod* 25, 446-50 (1999)
202. Strübig, W.:  
Geschichte Der Zahnheilkunde.  
*Dtsch Ärzteverlag Köln* (1989)
203. Sumitra, M., Manikandan, P., Rao, K.V., Nayeem, M., Manohar, B.M. und Puvanakrishnan, R.:  
Cardiorespiratory Effects of Diazepam-Ketamine, Xylazine-Ketamine and Thiopentone Anesthesia in Male Wistar Rats--a Comparative Analysis.  
*Life Sci* 75, 1887-96 (2004)

204. Sunada, I.:  
New Method for Measuring the Length of the Root Canal.  
*J Dent Res* 41, 375-87 (1961)
205. Suzuki, K.:  
Experimental Studies on Iontophoresis.  
*Jpn J Stomatol* 16, 411-29 (1942)
206. Svec, T.A. und Harrison, J.W.:  
Chemomechanical Removal of Pulpal and Dentinal Debris with Sodium Hypochlorite and Hydrogen Peroxide Vs Normal Saline Solution.  
*J Endod* 3, 49-53 (1977)
207. Szep, S.:  
In-Vitro-Untersuchung Zur Manuellen Aufbereitung Gekrümmter Wurzelkanäle Mit Verschieden Biegsamen Kerr-Feilen.  
*Dissertation, Frankfurt* (1995)
208. Tam, A. und Yu, D.C.:  
Location of Canal Isthmus and Accessory Canals in the Mesio Buccal Root of Maxillary First Permanent Molars.  
*J Can Dent Assoc* 68, 28-33 (2002)
209. Tatnall, F.M., Leigh, I.M. und Gibson, J.R.:  
Comparative Study of Antiseptic Toxicity on Basal Keratinocytes, Transformed Human Keratinocytes and Fibroblasts.  
*Skin Pharmacol* 3, 157-63 (1990)
210. Taylor, G.N.:  
Advanced Techniques for Intracanal Preparation and Filling in Routine Endodontic Therapy.  
*Dent Clin North Am* 28, 819-32 (1984)
211. Teixeira, F.B., Sano, C.L., Gomes, B.P., Zaia, A.A., Ferraz, C.C. und Souza-Filho, F.J.:  
A Preliminary in Vitro Study of the Incidence and Position of the Root Canal Isthmus in Maxillary and Mandibular First Molars.  
*Int Endod J* 36, 276-80 (2003)
212. Tepel, J., Schäfer, E. und Hoppe, W.:  
Properties of Endodontic Hand Instruments Used in Rotary Motion. Part 1. Cutting Efficiency.  
*J Endod* 21, 418-21 (1995)
213. Tepel, J., Schäfer, E. und Hoppe, W.:  
Properties of Endodontic Hand Instruments Used in Rotary Motion. Part 3. Resistance to Bending and Fracture.  
*J Endod* 23, 141-5 (1997)

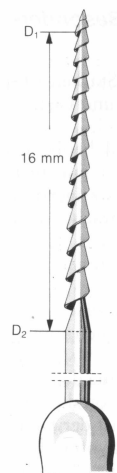
214. Torneck, C.D., Kwan, C.L. und Hu, J.W.:  
Inflammatory Lesions of the Tooth Pulp Induce Changes in Brainstem Neurons of the Rat Trigeminal Subnucleus Oralis.  
*J Dent Res* 75, 553-61 (1996)
215. Tronstad, L.:  
Clinical Endodontics.  
*Thieme Verlag Stuttgart, New York* (1991)
216. Tronstad, L. und Niemczyk, S.P.:  
Efficacy and Safety Tests of Six Automated Devices for Root Canal Instrumentation.  
*Endod Dent Traumatol* 2, 270-6 (1986)
217. Vajrabhaya, L. und Tempmongkol, P.:  
Accuracy of Apex Locator.  
*Endod Dent Traumatol* 13, 180-2 (1997)
218. Van Velzen, T.S.K., Genet, J.M., Kersten, H.W., Moorer, W.R. und Wesselink, P.R.:  
Endodontie.  
*Deutscher Ärzteverlag Köln* (1988)
219. Vande Voorde, H.E. und Bjorndahl, A.M.:  
Estimating Endodontic "Working Length" with Paralleling Radiographs.  
*Oral Surg* 27, 106-10 (1969)
220. Velvart, P.:  
Effizienz Der Wurzelkanalaufbereitung Mit Ultraschall Und Unter Verwendung Verschiedener Spülmittel.  
*Schweiz Monatsschr Zahnmed* 97, 756-65 (1987)
221. Voß, A.:  
Neue Elektrische Meßverfahren Zur Längenbestimmung Des Wurzelkanals.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 45, 219-222 (1990)
222. Walton, R.E.:  
Current Concepts of Canal Preparation.  
*Dent Clin North Am* 36, 309-26 (1992)
223. Weine, F., Healey, H., Gerstein, H. und Evanson, L.:  
Pre-Curved Files and Incremental Instrumentation for Root Canal Enlargement.  
*J Can Dent Assoc* 36, 155-7 (1970)
224. Weine, F., Kelly, R. und Bray, K.:  
Effect of Preparation with Endodontic Handpieces on Original Canal Shape.  
*J Endod* 2, 298-303 (1976)
225. Weine, F., Kelly, R. und Lio, P.:  
The Effect of Preparation Procedures on Original Canal Shape and on Apical Foramen Shape.

- J Endod 1, 255-62 (1975)*
226. Weine, F.S.:  
Endodontic Therapy. 5th Edition.  
*Mosby St. Louis, Baltimore, Boston (1996)*
227. Welberg, L.A., Kinkead, B., Thrivikraman, K., Huerkamp, M.J., Nemeroff, C.B. und Plotsky, P.M.:  
Ketamine-Xylazine-Acepromazine Anesthesia and Postoperative Recovery in Rats.  
*J Am Assoc Lab Anim Sci 45, 13-20 (2006)*
228. Wheeler, R.C.:  
Pulp Cavities of the Permanent Teeth.  
*Saunders Philadelphia (1976)*
229. Wickmann, T.:  
Vergleichende Untersuchung Über Die Manuelle Und Maschinelle Aufbereitung Gebogener Wurzelkanäle.  
*Dissertation, Giessen (1994)*
230. Wiemann, A.H. und Wilcox, L.R.:  
In Vitro Evaluation of Four Methods of Sealer Placement.  
*J Endod 17, 444-7 (1991)*
231. Wolter, R.:  
Zur Geschichte Der Pulpa- Und Wurzelkanalbehandlung.  
*Dissertation, Leipzig (1955)*
232. Wu, M.K., Wesselink, P.R. und Walton, R.E.:  
Apical Terminus Location of Root Canal Treatment Procedures.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 89, 99-103 (2000)*
233. Yildirim, T., Gencoglu, N., Firat, I., Perk, C. und Guzel, O.:  
Histologic Study of Furcation Perforations Treated with Mta or Super Eba in Dogs' Teeth.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 100, 120-4 (2005)*
234. Zehnder, M., Lehnert, B., Schonenberger, K. und Waltimo, T.:  
Spüllösungen Und Medikamentöse Einlagen in Der Endodontie.  
*Schweiz Monatsschr Zahnmed 113, 756-63 (2003)*

## 8. ANHANG

### 8.1 Abkürzungsverzeichnis

Ad libitum	nach Gelüst
bzw.	Beziehungsweise
[d]	Tag („day“)
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Mund-, Zahn- und Kieferheilkunde
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure (siehe S. 19)
et al.	et alias; „und andere“
[g]	Gramm
ISO	(International Organisation for Standardization) Internationale nichtstaatliche Organisation, die u. a. für die Standardisierung von Terminologie, Prüfungsmethoden und Spezifizierung von zahnärztlichen Materialien, Instrumenten, Geräten und Zubehör verantwortlich ist (Heidemann 2001).



D<sub>1</sub> ist immer 1mm von der Instrumentenspitze entfernt.  
ISO-Größe 6 bedeutet 0,06 mm Durchmesser an D<sub>1</sub>. Der Durchmesser jedes Instruments ist an D<sub>2</sub> um 0,3mm größer als bei D<sub>1</sub>.

Abbildung 8.2: ISO-Größe (Guldener und Langeland 1987)

i. p.	Intra peritoneal (in die Bauchdecke)
KZBV	(auch KZV) Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung
Microleakage	Undichtigkeit im Mikrometerbereich
WF	Wurzelkanalfüllung



## 8.2 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Hickel danke ich für die freundliche Überlassung des Themas und die Bereitstellung von finanziellen Mittel der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der LMU München zur Durchführung der Experimente.

Ich danke Prof. Dr. Benz, Oberarzt derselben Poliklinik, für die Beratung bei der Fertigstellung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. Dr. Reichl danke ich für die Bereitstellung und die Nutzungsmöglichkeiten der Einrichtungen des Pharmakologischen Instituts der LMU München.

Bei Herrn Prof. Dr. Diebold bedanke ich mich für die Unterstützung bei der Auswertung der histologischen Präparate und die Nutzungsmöglichkeit der Einrichtungen des Pathologischen Instituts der LMU München.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Haffner für die Betreuung während der Durchführung meiner Experimente und die Beratung bei der Abfassung der Arbeit. Er stand mir ständig mit Ratschlägen und Ideen zur Seite und begleitete kritisch und hilfreich meine Niederschrift.

Nicht zuletzt bin ich Herrn Scharenberg für die Betreuung der Tiere und Frau Wendt für die histologischen Schnittbilder zu Dank verpflichtet.

Meinen Eltern danke ich für die finanzielle und ideelle Unterstützung beim Absolvieren des Studienganges und bei der Durchführung meiner Promotionsarbeit.

## 8.3 Lebenslauf

### Persönliche Daten:

Name: Jana Dolinaj  
Geburtsdatum: 03.03.1979  
Geburtsort: Alt Pasua  
Familienstand: ledig, keine Kinder  
Staatsangehörigkeit: österreichisch

### Eltern:

Vater: Dr. Simon Dolinaj, geb. 05.04.1952, Zahnarzt  
Mutter: Dr. Eva Dolinaj, geb. Kalocaiova, geb. 13.01.1954, Ärztin

### Schulbildung:

1985-1991: Grundschule in Vukovar (Kroatien)  
1991-1994: Hauptschule in Metnitz (Österreich)  
1994-1998: Gymnasium in Klagenfurt (Österreich)

### Studium und Beruf:

1999 - 2004: Studium der Zahnmedizin an der LMU München  
Frühjahr 2000: Naturwissenschaftliche Vorprüfung  
Herbst 2001: Zahnärztliche Vorprüfung  
Frühjahr 2002: Beginn der Dissertation: „Einfluss von frequenten Wechselstromimpulsen im Wurzelkanal auf das periapikale Gewebe – eine in vivo Untersuchung im Tierversuch“ bei Prof. Dr. Benz  
Mai 2004: Zahnärztliche Prüfung  
Juni 2004: Approbation als Zahnärztin  
Oktober 2004 – Januar 2006: Wissenschaftliche Mitarbeiterin der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der LMU München  
Februar 2006 – heute: Weiterbildungsassistentin in kieferorthopädischer Praxis in München