

# **Adjuvante Diodenlaser-Applikation im Rahmen der Wurzelkanalaufbereitung**

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

**vorgelegt von Maria Beck Moreno-Sedaghat geborene Beck Moreno  
aus Dortmund**

**Erscheinungsjahr: 2006**

**Angefertigt mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn**

- 1. Gutachter: Professor Dr. M. Frentzen**
- 2. Gutachter: Prof. Dr. Dr. R. H. Reich**

**Tag der Mündlichen Prüfung: 06.10.2006**

**Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn [http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online) elektronisch publiziert.**

**Aus der Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde  
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Bonn  
Direktor: Professor Dr. Dr. S. Jepsen**

# Inhalt

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	Seite 5
<b>1. Einleitung</b>	Seite 7
<b>1.1. Einführung</b>	Seite 7
<b>1.2. Allgemeine Grundlagen</b>	Seite 9
<b>1.2.1. Endodontie</b>	Seite 9
1.2.1.1. Anatomie der Pulpa	Seite 10
1.2.1.2. Erkrankung der Pulpa	Seite 15
1.2.1.3. Konventionelle Methoden der Wurzelkanalaufbereitung	Seite 17
1.2.1.4. Laseranwendung in der Endodontie	Seite 21
<b>1.2.2. Laser</b>	Seite 23
1.2.2.1. Lasersysteme	Seite 23
1.2.2.2. Laserprozess	Seite 24
1.2.2.3. Diodenlaser	Seite 27
1.2.2.4. Laserdiodenstruktur	Seite 27
1.2.2.5. Dentek <sup>®</sup> -Diodenlaser	Seite 29
<b>1.3. Zielsetzung</b>	Seite 31

<b>2. Material und Methoden</b>	Seite 32
2.2.1. Vorbereitung der Proben	Seite 32
2.2.2. Versuchsaufbau	Seite 32
2.2.3. Laserbehandlung der Wurzelkanäle	Seite 36
2.2.4. Lichtmikroskopische Untersuchung	Seite 37
2.2.5. Statistik	Seite 43
<b>3. Ergebnisse</b>	Seite 44
3.1. Ergebnisse der Schnittebene 1	Seite 44
3.2. Ergebnisse der Schnittebene 2	Seite 46
3.3. Ergebnisse der Schnittebene 3	Seite 48
<b>4. Diskussion</b>	Seite 50
4.1. Bewertung der eigenen Ergebnisse	Seite 50
4.2. Dignität der Ergebnisse	Seite 56
4.3. Schlussfolgerung Ergebnisse	Seite 57
<b>5. Zusammenfassung</b>	Seite 58
<b>6. Literaturverzeichnis</b>	Seite 59
<b>7. Lebenslauf</b>	Seite 65

# Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
°C	Grad Celsius
®	geschützte Wortmarke
<b>a</b>	ebener Vektor (mathematischer Wert, der sich aus Schaft und Spitze auf der X/Y-Achse errechnet)
µm	Mikrometer
Abb.	Abbildung
BF	Typenbezeichnung Anwendungsteil eines Dentek®-Lasers
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoff
cw(-Leistung)	Widerstandsbeiwert; Bezeichnung für kontinuierlichen Betrieb eines Lasers
DGZ	Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde e. V.
d. h.	das heißt
EMS	Elektronisches Mikroschleifsystem
ER:YAG(-Laser)	Erbium-Yttrium-Aluminium-Granat-Laser (Hochleistungslaser)
et al.	Et alii
ETS	Elektronisches Trennschleifsystem
EXP	Experiment
GaAs	Gallium-Arsenid
GaAlAs	Gallium-Aluminium-Arsenid
HEMA	2-Hydroxy-Ethyl-Methacrylat
Hg	Hydrargyrum (Quecksilber)
Hz	Hertz

IP(20)	Schutzklassenbezeichnung gegen Berührung und Eindringen v. Flüssigkeit und festen Körpern
ISO	International Organization for Standardization
KI	Konfidenzintervall
mind.	mindestens
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomografie
ms	Millisekunde
mW	Milliwatt
n	Nano
NaCl	Natrium-Chlorid(-Lösung)
NaOCl	Natrium-Hypochlorid(-Lösung)
Nd:YAG	Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat-Laser (Festkörperlaser)
nm	Nanometer
PMMA	Polymethylmethacrylat
pn(-Übergang)	Verbindung von Feldstärke (p) und Diffusionsspannung (n) bei Halbleiterbauelementen
QW(-Laser)	Quantum well
U/Min.	Umdrehung pro Minute
UP	Untersuchungsparameter
U/s	Umdrehung pro Sekunde
UV	Ultraviolett
v. a.	vor allem
Vergl.	Vergleiche
W	Watt
XeCl	Xenon-Chlorid
z. B.	zum Beispiel

# 1. Einleitung

## 1.1. Einführung

Licht wird schon seit Jahrhunderten als Heilkraft eingesetzt. Die alten Chinesen behandelten Rachitis, Psychosen und Hautkrebs mit Sonnenstrahlen. Die eingesetzte Lichttherapie bezeichnete man als Phototherapie. So entwickelte 1903 der dänische Physiker Niels Finsen die Kohlenstoff-Lichtbogen-Therapie und es gelang ihm, hiermit den Lupus vulgaris zu behandeln (33). Albert Einstein legte bereits im Jahre 1916 den ersten Meilenstein in der Geschichte des Lasers, indem er in seiner Abhandlung "Zur Quantentheorie der Strahlung" bereits davon ausging, dass Teile des magnetischen Feldes derartig stimuliert werden können, dass dadurch verstärktes Licht entsteht (spontane und stimulierte Emission) (24). Im Jahre 1928 wies R. Ladenburg experimentell die stimulierte Emission in Gasladungen nach.

Den ersten Laser stellte Theodore Maimann vor: einen Rubinlaser. Dabei handelte es sich um einen Festkörperlaser mit einem Rubinkristall als Lasermedium und den Chromatomen innerhalb des Rubinkristalls als die Wellenlänge bestimmende Komponente (33). C. H. Townes et al. erhielten 1964 einen Nobelpreis für die Entwicklung des Lasers, bereits 1954 wurden sie mit dem ersten Maser (dem Vorläufer des Lasers) mit NH<sub>3</sub>-Molekülen bekannt (33). Die Bezeichnung Maser beziehungsweise heute Laser bedeutet: Microwave bzw. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Hiermit ist das Grundprinzip beschrieben, nach dem alle Laser arbeiten. Ein Verstärker, dessen Ausgangssignal an den Eingang angeschlossen wird, beginnt zu schwingen, wenn die Verstärkung die Signalabschwächung in der Rückkopplung übersteigt (33).

Nun befinden sich die verschiedenen Lasersysteme bereits drei Jahrzehnte in der industriellen Fertigung und werden von Tag zu Tag immer weiter entwickelt und die Technik verfeinert. Allgemein gab es selten eine wissenschaftliche Entwicklung, die den Menschen so faszinierte, wie die Entdeckung des Lasers vor 30 Jahren. In der Medizin testete man den Laser bereits sehr früh, und erste Anwendungen fanden in der Ophthalmologie statt. (8) Ebenso befasste sich die Zahnmedizin auch bereits in den 60er Jahren mit dem Laser (9). Seit den 80er-Jahren werden Laserindikationen in nahezu alle Fachdisziplinen der Zahnheilkunde propagiert (8).

Im Bereich der Endodontie wurde die Entwicklung durch zwei Faktoren behindert: 1. ein erheblicher apparativer Aufwand und 2. die Entwicklung effektiver Energieübertragungssysteme. Erst die Entwicklung graziler Lichtleiter, die für die Übertragung hoher Energiedichten geeignet waren, erlaubten klinisch relevante Anwendungen im Wurzelkanal (8).



## 1.2. Allgemeine Grundlagen

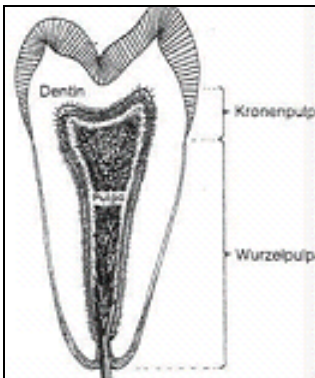
### 1.2.1. Endodontie

Heutzutage wird in der Zahnmedizin die Endodontie als Mittel zur Zahnerhaltung bei pulpapathologischen Veränderungen genutzt. Bis ca. Mitte des 19. Jahrhunderts benutzte man die Extraktion praktisch als einzige Methode zur Schmerzbekämpfung. Die Extraktion im Frontzahnbereich brachten den Patienten ästhetische und die Entfernung der Seitenzähne kaufunktionelle Probleme. Die endodontische Behandlung umfasst als Teil zahnerhaltender Maßnahmen alle das Zahnmark betreffenden Behandlungsmaßnahmen. Hierzu gehören sowohl die Pulpaprophylaxe sowie alle therapeutischen Maßnahmen bei der Erkrankung des Markorgans (35). Mit der Erweiterung des endodontischen Therapiespektrums auch auf mehrwurzelige Zähne gewann die Endodontie immer mehr an Bedeutung, denn vor wenigen Jahrzehnten bevorzugte man hauptsächlich die Wurzelkanalbehandlung von einwurzeligen Zähnen, um technischen, zeitlichen und wirtschaftlichen Problemen aus dem Weg zu gehen. Dabei sind die Erfolgsaussichten bei Befolgung der Prinzipien einer modernen Endodontie bezüglich der Diagnostik, Wurzelkanalaufbereitung und -versiegelung recht gut (35).

Herkömmliche Methoden der Wurzelkanalbehandlung mit Handinstrumenten sind seit Langem etabliert, allerdings zeitaufwendig. Die motorbetriebene Aufbereitung des Wurzelkanals ist technisch aufwendig, um Instrumentenfrakturen vor allem in gekrümmten Kanälen zu vermeiden. Ultraschallbetriebene Systeme (bzw. kombinierte Systeme) führten zu keiner deutlichen Verbesserung der Qualität im Vergleich zu den herkömmlichen Aufbereitungen mit Handinstrumenten; weiterhin konnte auch keine Zeitersparnis damit erreicht werden. Deshalb ist die Forschung auf der Suche nach neuen technischen Hilfsmitteln zur zeitsparenden und effektiven mechanischen Aufbereitung und Reinigung des Wurzelkanals bei irreversiblen Erkrankungen der Pulpa. In diesem Zusammenhang könnte die Laseranwendung in der Endodontie an Bedeutung gewinnen, da hier die Möglichkeit besteht, die mechanische Aufbereitung mit einer Desinfektion des Wurzelkanals zu verbinden (35).

### 1.2.1.1. Anatomie der Pulpa

Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung einer Wurzelkanalbehandlung ist die genaue Kenntnis der Anatomie der Zähne und speziell der Wurzelkanalsysteme. Als Zahnpulpa oder auch als Zahnmark bezeichnet man den Weichgewebeskern eines Zahnes; der Inhalt besteht aus gut vaskularisiertem und innerviertem Bindegewebe. Man unterscheidet die im Bereich der Krone gelegene Kronenpulpa und die darunter liegende Wurzelpulpa. Die gesamte Pulpenkammer ist von Dentin umgeben (Abb. 1).

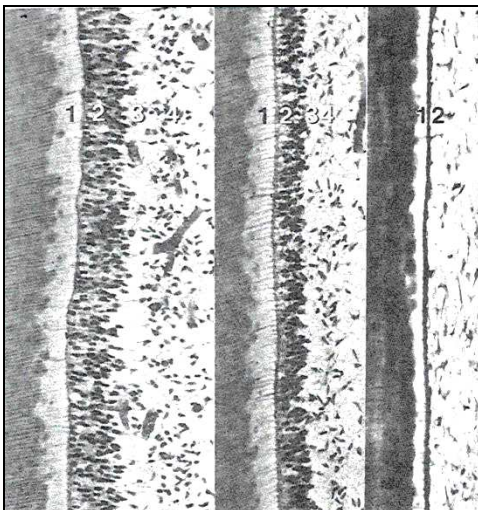


**Abb. 1:** Schematische Darstellung der Pulpakammer eines Prämolaren. Morphologische Unterschiede des pulpalen Weichgewebes lassen eine Unterteilung in Kronen- und Wurzelpulpa zu (11).

Das Pulpengewebe steht durch das Foramen apicale, durch die Seitenkanäle, akzessorische Kanäle und Pulpaperiodontalkanäle mit dem Zahnhalteapparat in Verbindung. Pulpa und Dentin bilden ein entwicklungsgeschichtliches und funktionelles Ganzes: die Pulpa-Dentin-Einheit. Das Pulpagewebe ist für die Vitalität und für das Reaktionsvermögen des Dentins und des gesamten Zahnes verantwortlich. Die Grundsubstanz der Pulpa besteht in der Hauptsache aus Glykoaminoglykanen bzw. Proteoglykanen. In dieser Substanz befinden sich netzartige Kollagenfasern (v. a. Typ III), Blut-, Nerven- und Lymphgefäße (11). Entscheidende Zellen der Pulpa sind die Odontoblasten, die in ihrer Eigenschaft Dentin bilden können. Die Odontoblasten ändern ihre Form: Im Bereich der

Kronenpulpa stellen sie sich als säulenförmige Zellkörper mit basal liegenden Kernen dar. Anders im apikalen Wurzelabschnitt; dort haben sie eine kubische flach längliche Form (Abb. 2). Jede Zelle der Odontoblasten verfügt über einen Zytoplasmfortsatz, der über die Dentinkanälchen bis zur Schmelz-Dentin-Grenze reicht. Fast nahezu im ganzen Pulpengewebe findet man Fibroblasten. Diese sind flache, spindelartige Zellen, die entscheidend für die Produktion von Grundsubstanz und Kollagenfasern sind.

Im Pulpengewebe befinden sich weiterhin Ersatzzellen, die sogenannten undifferenzierten Mesenchymzellen. Man geht davon aus, dass diese Zellen in der Lage sind, sich bei Bedarf in Zellen zu differenzieren, die reparative Leistungen erbringen können. Weiter findet man in der Pulpa Zellen des Abwehrsystems wie Histiozyten, Monozyten, Lymphozyten und Makrophagen (35).



a)                      b)                      c)

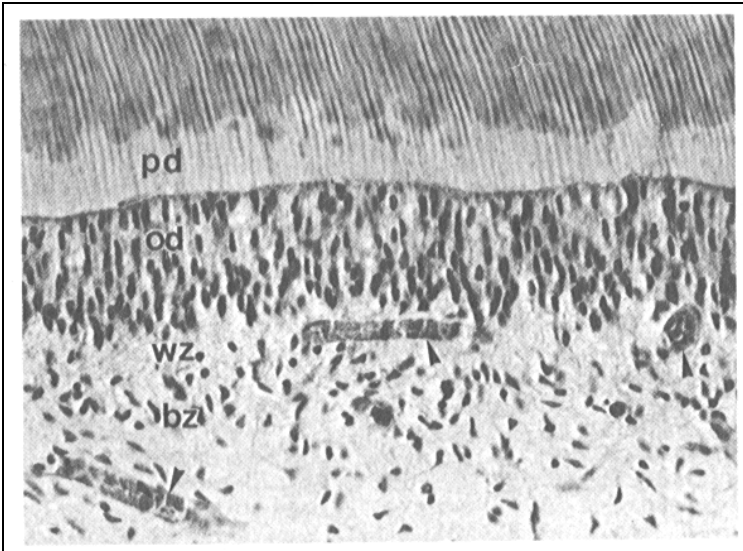
**Abb. 2:** Exemplarische Darstellung der Gewebszonen der Pulpa:

1) Prädentin; 2) Odontoblastenreihe; 3) zellkernarme oder Weilsche Zone; 4) kernreiche oder bipolare Zone. Vergl.: 200x, a = koronale Wurzelpulpa, b = zervikale Wurzelpulpa, c = apikale Wurzelpulpa (12)

Im Bereich der Kronenpulpa können Zonen mit verschiedenem Gewebsaufbau unterschieden werden. (12) (Abb. 3):

- die Odontoblastenreihe,
- die danach folgende kernarme Weilsche Zone,
- die kernreiche bipolare Zone,
- die Pulpa-Kernzone.

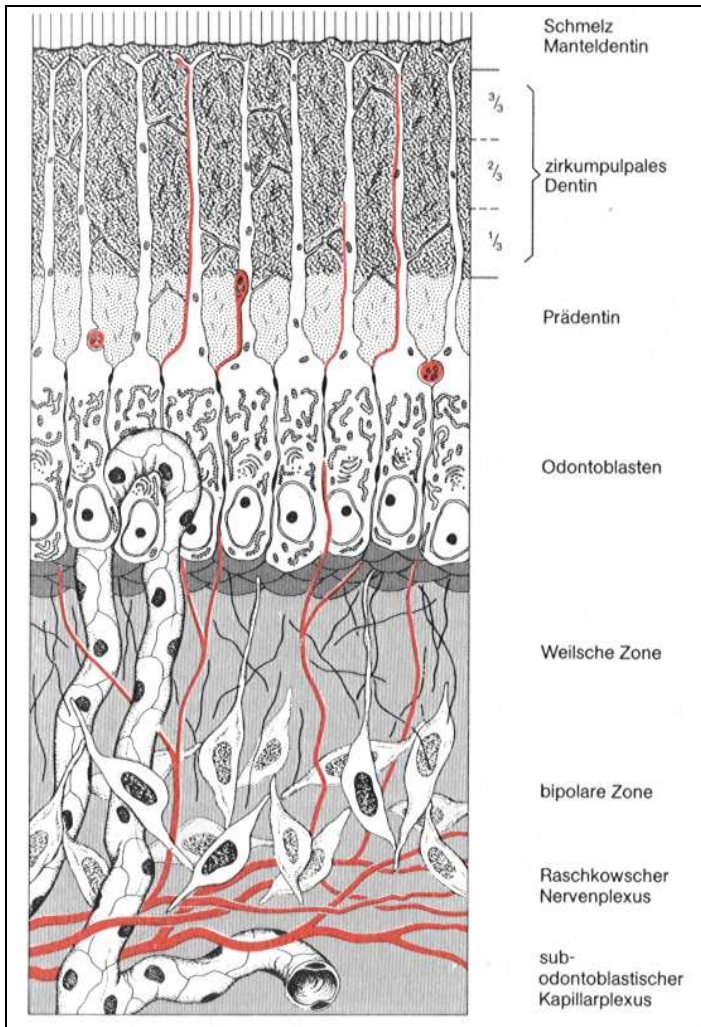
Als bipolare Zone bezeichnet man eine zell- und kernreiche Zone, die einen Bindegewebsstrang, Blutgefäße und Nervenfasern, viele undifferenzierte Zellen sowie Fibroblasten enthält. Die bipolare Zone enthält den Raschkowschen Nervenplexus (ein zentrales Nervenbündel), sowie die Zone, die den subodontoblastischen Kapillarplexus enthält (Abb. 4) (12).



**Abb. 3:** Periphere Randzonen in der Kronenpulpa; pd=Prädentin; od=Odontoblastenreihe; zw=kernarme oder Weilsche Zone; bz=kernreiche oder bipolare Zone.

Die zahlreichen Blutgefäße (Pfeile) gehören dem subodontoblastischen Plexus an (12).

Der Aufbau in Gewebszonen der Kronenpulpaperipherie, die Anwesenheit eines dichten Kapillarplexus, der große Anteil von nicht myelinisierten Nervenfasern (C-Fasern, umgeben von Schwannschen Zellen) deuten auf einen hohen Grad von physiologischer Aktivität im subodontoblastischen Raum, zellulärer Ersatz und Reparationsmöglichkeiten und Bereitschaft zur Verteidigung der dentinbildenden Gewebsfront. Diese Leistungen sind im Bereich der Kronenpulpa stärker vorhanden als in der Wurzelpulpa.



**Abb. 4:** Raschkowscher Nervenplexus und freie Nervenendigungen nichtmyelinisierter Axone im Prädentin und Dentin (nach Avery) (13)

### 1.2.1.2. Erkrankungen der Pulpa

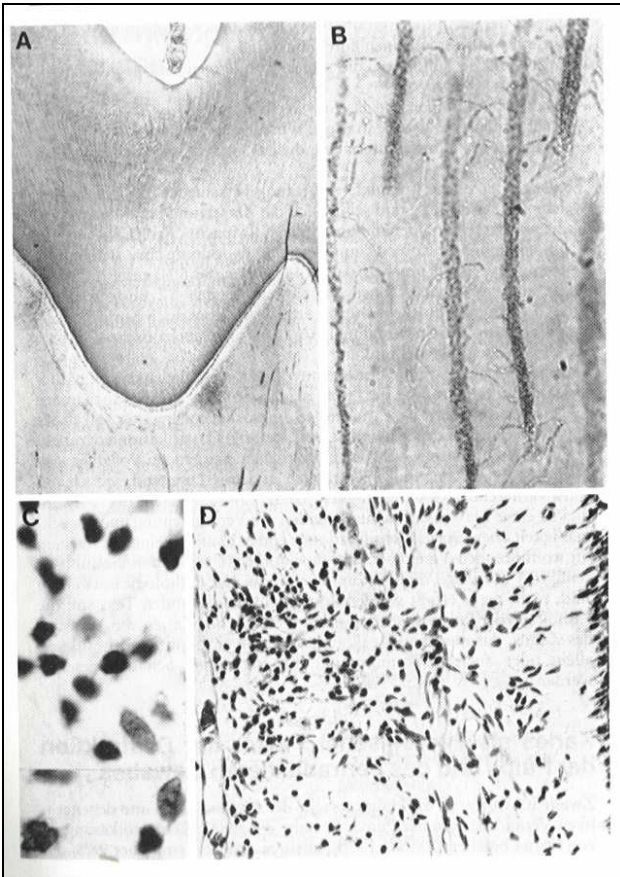
Bei einer Beschreibung einer klinisch unversehrten Pulpa zieht man es vor, den Begriff normal dem Begriff gesund vorzuziehen, denn auch die Pulpa eines nicht kariösen Zahnes kann erkrankt sein; wie z. B. bei den Eskimos, deren Zähne bei der Verarbeitung von Seehundfellen oft stark abradert sind (12). Das normale Pulpengewebe (chemische Bestandteile: 25 % organische Bestandteile und 75 % Wasser (4, 5, 13, 20, 23)) steht unter einem Druck von 8 - 15 mm Hg, der über die Gefäßkonstriktion reguliert ist. Heutzutage nimmt man an, dass es bei der entzündeten Pulpa zu einem hämorrhagischen Infarkt aufgrund rheologischer Veränderungen kommt. Dieses hat zur Folge, dass es zu einem thrombotischen Verschluss kommen kann (38). Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie die Pulpa geschädigt werden kann: Die Pulpa kann infolge einer Karies bakteriell infiziert werden, sie kann durch ein Trauma eröffnet werden und sich durch eindringende Mikroorganismen pathologisch verändern. Seltener kann sie auch im Rahmen einer Parodontalerkrankung geschädigt werden.

Zweifelloos ist Karies die Hauptursache der entzündlichen und degenerativen Veränderungen der Pulpa. Entfernt man eine Karies, so kann eine Entzündung wieder ausheilen. Tritt eine Ausheilung ein, so spricht man von einer reversiblen Erkrankung der Pulpa. Würde man eine solche reversible Entzündung histologisch beobachten, so könnten bei histologischen Schnitten im Bereich der kariösen Läsion Mikroorganismen im peripheren Abschnitt der Dentinkanälchen gefunden werden (11, 12).

Bei einer noch reversiblen Veränderung der Pulpa findet man kleinere Anhäufungen von Entzündungszellen, während bei einer irreversiblen Veränderung der Pulpa vor allem Leukozyten, Lymphozyten, Plasmazellen und Makrophagen nachweisbar sind (11).

Voraussetzung für eine reversible Pulpaentzündung ist, dass der entzündliche Reiz einer Karies vollständig entfernt wurde.

Bei einer intensiveren Reizeinwirkung reagiert die Pulpa gegen die Stoffwechselprodukte der karieserzeugenden Bakterien und später gegen die Zerfallsprodukte dieser Bakterien und der beteiligten Odontoblasten (Abb. 5) (11).



**Abb. 5:** Veränderungen in Dentin und Pulpagewebe als Folge einer ins Dentin durchgebrochenen Schmelzkaries (7).

a) Initialkaries; b) Bakterien enthaltende Dentinkanälchen im peripheren Dentin; c) Neutrophile Leukozyten, Lymphozyten und Fibroblasten; d) Anhäufung von Entzündungszellen

Anders stellt sich das histologische Bild einer fortgeschrittenen und nicht behandelten Karies dar: Hier wandern die Bakterien in Form von sogenannten „Pionierbakterien“ (11) in die Dentinkanälchen und besiedeln invasiv die kollagene Matrix des intertubulären Dentins. Eine Entzündung der Pulpa wird als irreversibel beschrieben, wenn es zur Nekrosebildung kommt, verursacht durch den Zerfall der Bakterien und Leukozyten. Klinisch lässt sich die Unterscheidung



leider nicht so eindeutig treffen, ob es sich um eine reversible oder um eine irreversible Schädigung der Pulpa handelt (11).

Die Wurzelkanalbehandlung ist bei irreversiblen Veränderungen des Zahnmarks die Methode der Wahl. Hierbei werden infiziertes und nekrotisches Pulpa- und Dentingewebe vollständig entfernt, damit sich die Entzündung nicht weiter auf das periapikale Gewebe ausweitet. Anschließend werden die Wurzelkanäle obturiert und stellen damit einen Abschluss zum periapikalen Gewebe dar.

### **1.2.1.3. Konventionelle Methoden der Wurzelkanalaufbereitung**

Klinisch gliedert sich die Wurzelbehandlung systematisch in folgende Schritte:

1. Röntgenerstaufnahme
2. Trepanation
3. Pulpaexstirpation
4. Längenbestimmung (mittels Röntgenmessaufnahme)
5. Wurzelkanalaufbereitung
6. Wurzelkanalfüllung
7. Röntgenkontrolle
8. Recall
9. Restaurative Versorgung

Zu Beginn einer endodontischen Therapie sollte immer eine Röntgenerstaufnahme stehen, auf der sich die Anatomie, der Zustand und die Stellung der Wurzel im Knochen eingehend beurteilen lässt (14).

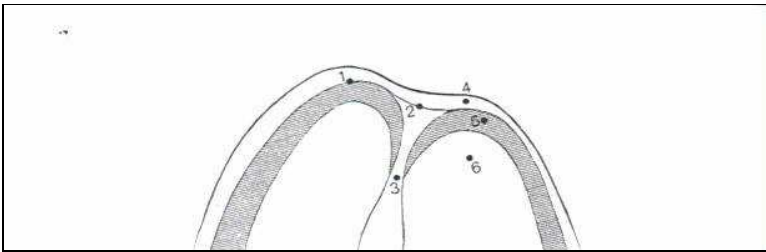
Bei der Trepanation wird von koronaler Zahnhartsubstanz mit der Vorgabe entfernt, das Kronenpulpadach komplett abzutragen. Hierdurch sollen eine vollständige Entnahme des Pulpagewebes und ein guter Zugang zu den Wurzelkanaleingängen am Boden des Kronenpulpenkavums gewährleistet werden (14).

Nach erfolgter Trepanation und Entfernung und Entfernung der Kronenpulpa werden die Eingänge der Wurzelkanäle mit Gates-Glidden oder Peeso-Bohrern erweitert (14).

Die Entnahme der Wurzelpulpa erfolgt entweder mit speziellen Exstirpationsnadeln oder bei engen oder stark gebogenen Kanälen später während der Aufbereitung.

Die Bestimmung der exakten Zahnlänge ist eine Grundvoraussetzung für die exakte Aufbereitung des Wurzelkanals. Durch ihre Bestimmung versucht man, eine Reizung des periapikalen Gewebes durch Überinstrumentierung oder eine unvollständige Kanalfüllung zu vermeiden.

Dabei unterscheidet man folgende Punkte des Apex: 1. Röntgenologischer Apex, 2. Foramen apicale, 3. Foramen physiologicum, 4. apikales Desmodont, 5. Wurzelzement, 6. Dentin (Abb. 6).



**Abb. 6:** Anatomie der Wurzelspitze (11)

1. Röntgenologischer Apex, 2. Foramen apicale, 3. Foramen physiologicum, 4. apikales Desmodont, 5. Wurzelzement, 6. Dentin

Die Arbeitslänge entspricht der Distanz zwischen koronalem (Inzisalpunkt, Höckerspitze) und apikalen Referenzpunkt (Foramen physiologicum = apikale Konstriktion). Da weder das Foramen physiologicum noch das Foramen apicale auf dem Röntgenbild eindeutig diagnostiziert werden können (man erkennt nur den röntgenologischen Apex auf dem Röntgenbild), wird die Arbeitslänge bei vitalen und nichtvitalen Pulpen in der Regel als 1 mm kürzer als die Zahnlänge angenommen (14).

Bei wissenschaftlichen Untersuchungen wurde der Wurzelapex von 120 Frontzähnen mikroskopisch untersucht und festgestellt, dass das Foramen physiologicum in über 92 % der Fälle 0,5 mm koronal des anatomischen Apex gelegen ist.

Folgende durchschnittliche Distanzen wurden ermittelt (14):

Foramen apicale - anatomischer Apex	0,3 mm
Foramen physiologicum - Foramen apicale	0,8 mm
Foramen physiologicum - anatomischer Apex	1,1 mm

Die Bestimmung der Arbeitslänge lässt sich zusätzlich durch röntgenologische Aufnahmen oder mit Hilfe von elektrischer Längenmessung festlegen.

Die Wurzelkanalaufbereitung schließt an der vorhergegangenen Trepanation des Zahnes an.

Bei der konventionellen Aufbereitungstechnik wird in voller Arbeitslänge mit Instrumenten in aufsteigender Größe gearbeitet.

Hierzu benutzt man Wurzelkanalinstrumente, die üblicherweise heute aus Chrom, Nickel, Edelstahl oder Nickel-Titan hergestellt werden. Die heute angewandten Instrumente sind Feilen und Nadeln, die der ISO-Norm 3630 unterliegen (14). Die Erweiterung des Kanalarificiums erfolgt mit sogenannten Gates Bohrern; manchmal kann man diese Bohrer auch dazu benutzen, um einen gradlinigen Zugang zu den apikalen Wurzelkanalabschnitten zu schaffen (14).

Bei korrekter Einstellung der Arbeitslänge befindet sich die Spitze des Instruments ca. 1 mm vor dem Foramen apicale. Bei gekrümmten Kanälen sollten die Nadeln vorgebogen werden, damit sie sich der Kanalform besser anpassen können. Dieses verhindert die Stufenbildung in der Dentinschicht.

Auch die Nichtbeachtung der Reihenfolge der Instrumente führt zur Stufenbildung.

Es sollte beachtet werden, dass das Foramen apicale nicht erweitert wird, da es sonst zur Reizung des periapikalen Gewebes durch das Pulpagewebe oder Spülmittel kommen kann.

Bei der konventionellen Aufbereitung wird der Wurzelkanal in voller Arbeitslänge mit Instrumenten in aufsteigender Größe aufbereitet.

Die Step-back-Technik ist ein standardisiertes und universelles Verfahren, auch als apikal-koronale Technik bekannt. Bei dieser Technik wird der Wurzelkanal bis zum physiologischen Foramen bis zur gewünschten Größe aufbereitet (Masterfeile). Das nachfolgende, nächstgrößere Arbeitsinstrument wird aber nicht auf die volle Arbeitslänge eingeführt, sondern 0,5 oder 1 mm kürzer gehalten.

Allgemein wird die Arbeitslänge bei den folgenden Instrumenten wieder um 0,5 mm oder 1 mm kürzer eingestellt, bis der ganze Kanal im mittleren und koronalen Drittel ausreichend erweitert und gereinigt ist. Nach jedem Einsatz einer neuen Instrumentenstärke muss der apikale Kanalanteil wieder mit dem auf die ursprüngliche Arbeitslänge eingestellten Hauptinstrument gereinigt werden. Das Ziel dieser Behandlungssystematik ist die konische Erweiterung des Wurzelkanals.

Im Zusammenhang mit der mechanischen Aufbereitung wird der Kanal mit einer Spülflüssigkeit gereinigt und gespült. Zu diesen Flüssigkeiten gehören NaOCl (Natriumhypochlorit), NaCl (Natriumchlorid) Wasserstoffperoxid oder Chlorhexiden (15).

Diese Spülflüssigkeiten haben folgende Eigenschaften:

geringe Toxizität, bakterizide Wirkung, Auflösung des vitalen und nekrotischen Gewebes der Pulpa, niedrige Oberflächenspannung und ein Schmiereffekt. Nach Spülung des Wurzelkanals wird dieser mit Papierspitzen in Größe der Masterfeile getrocknet. Die Papierspitzen werden so lange kontrolliert, bis sie frei von Dentinspänen, Weichgewebe und Medikamente und trocken sind. Die Wurzelkanalfüllung besteht gewöhnlich aus halbfesten oder festen Wurzelkanalfüllstiften und Wurzelkanalfüllpasten. Material der Wahl für Wurzelkanalfüllstifte ist seit ihrer Einführung durch Bowman im Jahre 1867 die Guttapercha (42). Die endodontischen Guttaperchastifte enthalten neben der Guttaperchamatrix Zinkoxid als Füller, Bariumsulfat als Röntgenkontrastmittel, Wachse, Farbstoffe und Spurenelemente (41, 44). Guttaperchastifte sollten immer in Kombination mit Wurzelkanalfüllpasten angewendet werden. Der Guttaperchastift wird entsprechend der ISO-Größe der Meisterfeile vorbereitet und in den Kanal eingeführt. Der Sitz des Meisterstiftes wird kontrolliert. Nun wird der Stift dünn und gleichmäßig mit Füllpaste benetzt. Der Stift wird nun in den Kanal eingeführt und mit Hilfe von Wurzelkanalfüllinstrumenten und mit weiteren mit Wurzelfüllpasten beschichteten Nebenstiften lateral und vertikal verdichtet. Anschließend wird die Zugangsaktivität mit Glasionomerzement oder vorzugsweise adhäsiv mit Komposit gefüllt. Anschließend wird eine Röntgenkontrolle des Zahnes durchgeführt, um die Qualität und Ausdehnung der Füllung zu überprüfen. Hierbei wird die Wurzelkanalfüllung auf Homogenität, Wandständigkeit, Vollständigkeit und Überschuss überprüft. Bei der koronalen Restauration wird die Vollständigkeit und Dichtigkeit geprüft. Im Rahmen des Recalls wird der betroffene Zahn überwacht.

#### 1.2.1.4. Laseranwendung in der Endodontie

Herkömmliche Methoden der Endodontie beschäftigen sich mit der Reinigung, Desinfektion und Aufbereitung des Wurzelkanals. Aufgrund der Morphologie des Wurzelkanals kann es oftmals zur unvollständigen Aufbereitung führen (22). Aus diesem Grunde sucht man die Lösung des Problems unter anderem in der Laseranwendung (27). So beschäftigt man sich z. B. damit, ob die Dentinoberfläche des Wurzelkanals mit Infrarotlasern (Nd:YAG- oder CO<sub>2</sub>-Laser) durch Einschmelzung der Schmierschicht (Smear Layer) und Karbonisierung der organischen Strukturelemente versiegelt und sterilisiert werden kann (22, 10). Weiterhin wurde darüber berichtet, dass mit XeCl-Excimer-Laser neben der Sterilisation des Kanals auch eine Aufbereitung des Kanals möglich ist (27).

Die herkömmliche relativ mühsame Aufbereitung mit Handinstrumenten kann oft zu Ausbuchtungen der Kanalwand führen, besonders bei ovalen und gekrümmten Kanälen.

Diese werden der Aufbereitung nicht erfasst und bieten damit Bakterien einen guten Aufenthaltsort. Zusätzlich wird nach manueller Aufbereitung eine Schmierschicht hinterlassen. Diese Schicht enthält Bakterien und organische Gewebsreste, die nicht mechanisch entfernt werden können. Die klinische Bedeutung dieser Schicht ist bis heute nicht eindeutig geklärt.

Die manuelle Aufbereitung führt allgemein zu einer guten Vorbereitung des Wurzelkanals und könnte möglicherweise mit der Laserapplikation noch verbessert werden kann (32). Voraussetzung für die Anwendung von Laserstrahlung im Wurzelkanal ist die Applikation über ein dünnes, flexibles Übertragungssystem. Die meisten Anwendungen in der Endodontie erfordern es, den Wurzelkanal mit graziilen und feinen Instrumenten zu bearbeiten (8). Der Durchmesser der Fasern sollte entsprechend dem Kanallumen möglichst klein sein; man strebt einen Durchmesser von ca. 200 µm an. Der Durchmesser bei der Handaufbereitung beträgt im Vergleich dazu ca. 80 - 150 µm (bezogen auf den apikalen Wurzelkanalabschnitt) (14). Erst die Entwicklung graziiler Lichtleiter, die für die Übertragung hoher Energiedichten geeignet waren, erlaubte klinisch relevante Manipulationen im Wurzelkanal (8). Weiterhin konnten die Kenntnisse über die Lasergewebe-Wechselwirkung und damit über gewünschte Wirkungen des Laserstrahls erweitert werden. Bereits im Jahre 1971 entstanden Berichte über die erste endodontische Laserapplikation (45), mit der versucht wurde, apikale Formen mit Hochleistungs-CO<sub>2</sub>-Lasern zu versiegeln. Zwar konnten sie zu diesem Zeitpunkt

ihr Ziel nicht vollständig erreichen, aber es wurde anderen Arbeitsgruppen ermöglicht, sich mit endodontischen Laserapplikationen wissenschaftlich auseinander zu setzen (45).

Die Akzeptanz der Lasertechnologie im Rahmen der klinischen Endodontie blieb trotzdem bisher sehr begrenzt. Allgemein ist die Zielsetzung der Endodontie die Reduktion von besonders persistierenden pathogenen Keimen in infizierten Wurzelkanälen.

Neben der konventionellen Applikation von desinfizierenden Flüssigkeiten und Pasten (z. B. Natriumhypochlorid) sind zwei weitere Methoden zur Keimreduktion bekannt. Dazu gehört zum einen die bakterizide Wirkung, zum anderen die thermische Wirkung zur Zerstörung der Keime.

So ist bei UV-Laserstrahlung mit einem Excimer-Laser eine Keimreduzierung möglich (34). Dabei hat man eine In-vitro-Wachstumshemmung von *Porphyromonas gingivalis* und *Prevotella intermedia* nach Bestrahlung mit dem Excimer-Laser festgestellt. Allerdings wird dieser nicht eingesetzt, da die Ablationsrate zu gering ist und die Systemkosten zu hoch sind (34).

Die übrigen Laser im Dentalbereich nutzen die thermische Wirkung. Limitiert wird dieser Faktor durch die thermische Beeinflussung des Parodonts. Es soll im Wurzelkanal eine Temperatur von mind. 100 - 120°C erzeugt werden, jedoch sollte für das Weichgewebe eine Temperatur von ungefähr 50°C für eine Minute nicht überschritten werden (21). Da die konventionelle Wurzelbehandlung sehr komplex ist und mit vielen Risiken verbunden ist, können Laseranwendungen (meist als Adjuvans (wie in der vorliegenden Studie)) dazu beitragen, den klinischen Behandlungserfolg bei systematischem Vorgehen zu verbessern (8).

## **1.2.2 LASER**

### **1.2.2.1 Lasersysteme**

Bei den verschiedenen Lasersystemen kann man die verschiedenen Lasertypen nach Art des Lasermediums einteilen. Hier sollen die folgenden Laserarten weiter erläutert werden:

- Gaslaser
- Helium-Neon-Laser
- Edelgasionenlaser
- CO<sub>2</sub>-Laser
- Diodenlaser

#### **1. Gaslaser**

Hierbei befindet sich das aktive Medium in gas- oder dampfförmiger Phase vor. Durch elektrische Entladung erfolgt die Anregung des Lasergases. Vom Vorteil bei den Gaslasern ist, dass sie über eine gute Strahlqualität verfügen, weil sie gegenüber anderen Lasermedien homogener und verlustfreier sind. Weiterhin können sie hohe cw-Leistungen erreichen, da durch den schnellen Gasaustausch die Verlustwärme leicht abgeführt werden kann.

##### **1.1. Helium-Neon-Laser**

Dieser gehört zu der Gruppe der Gaslaser, und zwar zu den Neutralatomlasern. Der Helium-Neonlaser gehört zu den ersten Lasern, der mit Gas als aktives Medium eingesetzt wurde, außerdem ist er der erste Laser, der kontinuierlich arbeitet. Er emittiert sowohl Strahlung im sichtbaren und infraroten Spektralgebiet. Neon dient im Helium-Neon-Laser als laseraktives Medium und Helium als Pumpgas (31).

## 1.2. Edelgasionenlaser

Die wichtigsten Laser in der Gruppe der Edelgasionenlaser sind der Argon- und der Kryptonionenlaser.

Ihr Lasertyp stellt aufgrund hoher Entladungsstromdichten entsprechende Anforderungen an die Kühlung (33).

## 2. CO<sub>2</sub>-Laser

Hierbei handelt es sich um einen Molekülgaslaser, er zählt aufgrund seiner hohen Ausgangsleistung (31) und seines hohen Wirkungsgrades zu den bedeutendsten Gaslasern.

## 3. Diodenlaser

In der Medizin finden Dioden-Laser einen immer größeren Einsatzbereich. Sie gehören zu den effizientesten Wandlern von elektrischer Energie in kohärenter Strahlung. Zusätzlich zeichnen sie sich durch einen großen Wirkungsgrad (ca. 40 %) aus. Weiterhin zeichnen sie sich durch ihre Kompaktheit und durch ihre lange Lebensdauer aus (33).

### 1.2.2.2 Laserprozess

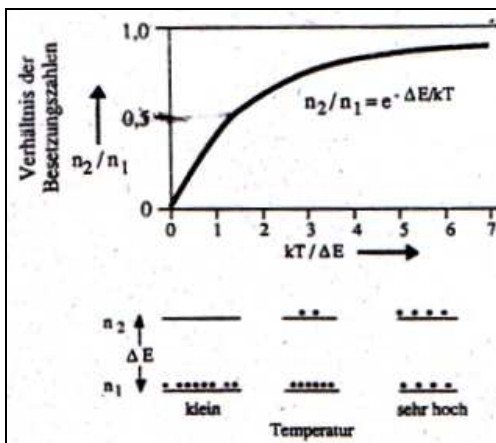
Die Grundlage der Laserverstärkung ist der Prozess der induzierten Emission.

Zur Nutzung dieses Prozesses muss zum Beispiel in einem Atom (Ion, Molekül, Festkörper) (31) ein Elektron vorher von einem tieferen Energieniveau auf ein höheres angehoben worden sein. Zur Erzeugung des Laserverstärkungsprozesses muss dieser Zustand nicht nur bei einem einzelnen Atom, sondern bei einem ganzen Ensemble von Atomen durchgeführt werden. Durch die Konkurrenz des Absorptionsprozesses vom unteren Laserniveau mit der induzierten Emission des oberen Laserniveaus muss die Zahl der Atome, bei denen das obere Laserniveau besetzt ist, immer größer gehalten werden als die Besetzungszahl des unteren Laserniveaus, damit insgesamt eine Verstärkung erreicht wird. Diesen Vorgang bezeichnet man als Besetzungsinversion (33). Bei der



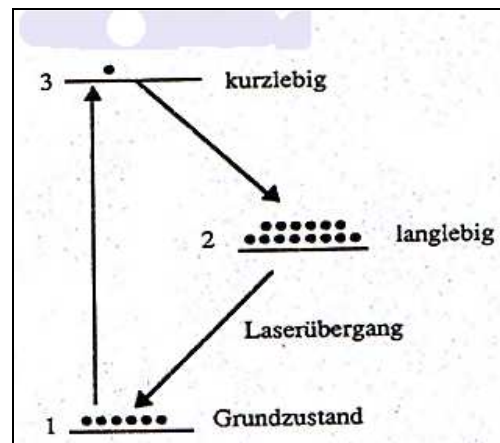
Besetzungsinversion kommt ein thermisches Aufheizen nicht in Frage, da nach dem Planckschen Strahlungsgesetz (Abb. 7) höhere Niveaus immer geringer besetzt werden als niedrigere.

Durch Einstrahlung von Licht (optische Pumpen) erreicht man selbst bei noch so großer Pumpintensität höchstens eine gleich große Besetzung dieser beiden Niveaus. Durch optisches Pumpen erhält man bei einem 2-Niveau-Laser also keine Besetzungsinversion. Anders dagegen bei einem 3- oder Mehrniveau-Lasersystem (Abb. 9, 10, 22, 25).



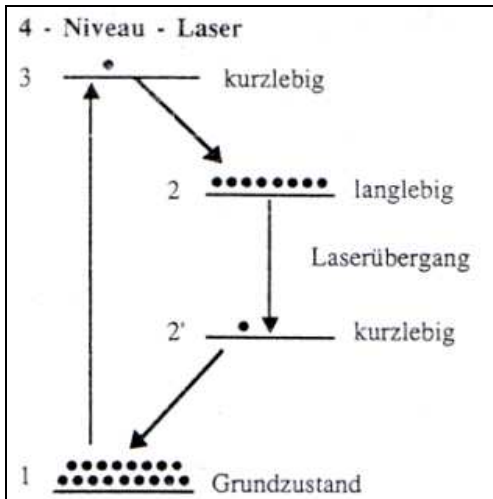
**Abb. 7:**

Nach dem Planckschen Strahlungsgesetz geht bei thermischem Aufheizen das Verhältnis  $n_2/n_1$  der Besetzungszahl nur gegen 1. Eine Besetzungsinversion kann nicht erreicht werden (31).



**Abb. 8:**

In einem 3-Niveau-Lasersystem kann bei intensivem Pumpen von 1 nach 3 im Niveau 2 eine höhere Besetzung als im Grundzustand 1 erreicht werden (31).



**Abb. 9:** In einem 4-Niveau-Laser System kann auch durch schwaches Pumpen im langlebigen Niveau 2 eine Besetzungsinversion gegenüber dem kurzlebigen Niveau 2 erreicht werden, weil sich das Niveau 2 wegen seiner Kurzlebigkeit sofort entleert (33).

Durch fortgeschrittene Halbleitertechnik ist es jetzt möglich, Hochleistungsdioden in der Medizin anzuwenden. Da Diodenlaser kompakter sind als konventionelle Lasersysteme, kommen sie sowohl in der Praxis, als auch in der Klinik zum Einsatz. Dioden-Laser sind sehr effiziente Wandler von elektrischer Energie in kohärente Strahlung, wobei die Anregung durch Ladungsträgerinjektion am pn-Übergang (die Verbindung eines n- und eines p-Halbleitertyps wird pn-Übergang genannt) der Halbleiterkristalle nach Anlegen einer äußeren Spannung erfolgt (32). Die optische Ausgangsleistung ist von der induzierten Stromdichte abhängig, wobei eine bestimmte Schwellstromdichte überschritten werden muss, um Laserlicht von geringer spektraler Breite und hoher Leistung zu emittieren. Mit Hilfe von speziellen Kristallstrukturen kann die optische Ausgangsleistung im Verhältnis zum eingebrachten Strom optimiert werden (32).

Entscheidend ist hier, die durch Ohmsche Verluste verursachte Erwärmung des Halbleiters gering zu halten, da die Schwellstromdichte, die Emissionswellenlänge und die Lebensdauer der Diode temperaturabhängig sind. Aufgrund des schmalen Emittierspaltes ist das Strahlprofil bei

Diodenlasern asymmetrisch (elliptisch), oftmals durch multi-longitudinale Modespektren gekennzeichnet und stark divergent (32). Zur Erlangung einer besseren Strahlenqualität wird das Licht durch geeignete optische Systeme kollimiert und ein nahezu Gauß-förmiges Intensitätsprofil erzielt. Zur Garantie der Lebensdauer und der Leistungsstabilität bedarf es einer ordentlichen Kühlung bzw. einer geregelten Raumtemperatur. Abhängig von der Diodenleistung und Integrationsdichte mehrerer Laserdioden können verschiedene Kühlverfahren angewendet werden.

### **1.2.2.3. Diodenlaser**

Die Einsatzgebiete des Diodenlasers reichen vom Einsatz als diagnostisches oder therapeutisches Instrument bis zum dem Einsatz als Positionierungshilfe bei medizintechnischen Geräten (MRT, Röntgen, Laser).

Im Bereich der Diagnostik werden Diodenlaser im unteren Leistungsbereich bis 1 W verwendet. Hierbei dient er hauptsächlich als Beleuchtungsquelle, um Strukturen im biologischen Gewebe sichtbar zu machen oder mit dem Laser-Doppler-Verfahren Geschwindigkeiten von bewegten Teilchen zu ermitteln.

Durch die weitere Entwicklung in den letzten Jahren kam es zur Realisierung von vielen neuartigen Laserkonfigurationen (33). Abschließend kann man sagen, dass der Diodenlaser aufgrund seiner Dimensionierung in Größe, Leistungsabgabe und Stabilität eine gute Alternative zu dem herkömmlichen Nd:YAG-Systemen der unteren Leistungsklasse darstellt. In Abhängigkeit von den gewebsabhängigen optischen Eigenschaften variieren die Eindringtiefen zwischen Dioden-Laser und Nd:YAG-Laser (33).

Der Dioden-Laser erlaubt die Durchführung von Gewebsreaktionen wie Hyperthermie, Koagulation und Vaporisation, aber auch Behandlungen im Bereich der Augenheilkunde (33).

### **1.2.2.4. Laserdiodenstruktur**

Diodenlaser sollten generell gut gekühlt werden, da eine erhöhte Betriebstemperatur eine höhere Schwellstromdichte notwendig macht. Ohne Einschluss der injizierten Ladungsträger im Halbleiterkristall ist die Ausdehnung der Laserstrahlung senkrecht zur Ebene des pn-Übergangs

größer als die Dicke der aktiven Schicht, wodurch für eine gegebene Stromdichte nur geringe Ladungsträgerdichten erzeugt werden können. Bei „double heterostructure-Lasern“ werden die Ladungsträger beidseitig des pn-Übergangs durch Grenzschichten aus GaAlAs (Gallium-Aluminium-Arsenid) eingeschlossen (33).

Die aktive Region ist hierbei eine etwa 200 nm dicke Schicht aus GaAs (Gallium-Arsenid) oder GaAlAs mit geringen Aluminium-Anteilen als in den benachbarten eingrenzenden Schichten.

Solche Laser haben technisch bedingt eine geringere Schwellstromdichte, und durch die niedriger ausfallende Ohmsche Verlustleistung ist auch ein Dauerbetrieb bei Raumtemperatur möglich.

Ebenso wichtig wie der vertikale Einschluss der Ladungsträger ist hier auch die seitliche laterale Abgrenzung der aktiven Region, da das Licht sonst in Einzelfilamente aufbricht und somit inkohärente Strahlung entsteht, die zur lokalen Beschädigung der Spiegelfacetten und im Extremfall zur totalen Zerstörung der Diode führen kann. Streifengeometrie-Laser hingegen bilden nur ein Strahlfilament aus und werden in gewinngeführte (gain-guided) und indexgeführte (index-guided) Diodenlaser unterschieden (33). Zum Erreichen der hohen Laserdioden-Ausgangsleistung müssen im Wesentlichen zwei Probleme überwunden werden. Die Probleme sind zum einen die hohe Photonendichte und zum anderen die hohe elektrische Stromdichte.

Zur Lösung dieser Probleme bedient man sich folgender zwei Möglichkeiten:

1. Reduktion der Oberflächen-Rekombinationsrate
2. Verbreiterung der Spiegelfläche in lateraler und vertikaler Richtung

Durch Aufbringen einer dielektrischen Beschichtung kann man die Oberflächen-Rekombinationsrate erheblich verringern, diese Beschichtung verbessert auch die Wärmeableitung an der Spiegelfläche (33).

Die Entwicklung des „Multi-stripe Arrays“ führte zur Verbreiterung der Spiegel in lateraler Richtung.

Die Verbreiterung der aktiven Spiegelfläche in vertikaler Richtung führt zu dem sogenannten „Quantum well“, also QW-Laser. Diese sind Laserdioden mit einer extrem dünnen aktiven Zone.

Die vertikale Vergrößerung der Spiegelendflächen resultiert daraus, dass die optische Wellenführung nicht allein in der aktiven Zone stattfindet, sondern in den nicht absorbierenden Wellenleiterschichten.

Hierbei ist der Schwellenstrom dieser Laserdioden gering, dadurch, dass die Besetzungsinversion zwischen einzelnen Energieniveaus in einem kleinen aktiven Volumen erzeugt wird. Dies hat zur Folge, dass letztendlich eine geringe Wärmeentwicklung resultiert. (31)

Verbesserte und intensive Entwicklungsarbeiten führten zu einer verbesserten Halbleiterstruktur, dadurch wird die hohe Ausgangsleistung der Einzeldiode erreicht. Im Gegensatz zu den traditionellen Halbleiterlasern, die auf ein Schichtmaterial mit praktisch gleichen Gitter-Konstanten beschränkt waren, sind heute Quantum-Well-Laserdioden mit einem „strained-layer“-Schichtaufbau auf dem Markt. Dieses „strained-layer“-Verfahren ermöglicht aufgrund einer neuen Schichtenkombination eine Verbesserung der Quantum-Well-Struktur mit dünnen Schichten und ausgeprägten Wellenleiterstruktur. Die hohe elektrische Stromdichte verursacht zwar erhebliche Ohmsche Verluste in den Kontaktschichten, die zur Wärmeentwicklung und Temperaturerhöhung in der aktiven Schicht führt, aber durch Beachtung einer effizienten Wärmeleitung und Kühlung wird dieses Problem in Grenzen gehalten. Wärmeableitung und Kühlung sind jedoch nicht für die Leistungsfähigkeit des Lasers entscheidend, sondern nur für die Leistungsfähigkeit der Laserdiode (22).

#### **1.2.2.5 Dentek<sup>®</sup>-Diodenlaser**

Bei dem Dentek<sup>®</sup> LD 15 handelt es sich um einen Diodenlaser für den Dentalbereich, der unsichtbares, pulsierendes und Dauerstrich-Laserlicht mit einer Stärke bis zu 10 W an einen flexiblen optischen Lichtleiter abgibt. Der Dentek<sup>®</sup>-Laser besteht aus einem GaAlAs (Gallium Aluminium Arsenid)-Diodenlaser der Klasse 4 mit einem Wellenlängenbereich von 790 – 830 nm (Arbeitsstrahl) und einem 5-mW-Diodenlaser der Klasse 3 Ampere (sichtbarer roter Zielstrahl = Pilotstrahl) mit einem Wellenbereich von 635 – 660 nm. Der Dentek<sup>®</sup>-Laser ist ein Anwendungsteil des Typs BF; damit entspricht er der Schutzklasse IP 20 gegen Berühren und Eindringen von Flüssigkeit und festen Körpern sowie elektrisch der Schutzklasse I. Die Indikationsbereiche des Dentek<sup>®</sup> LD 15 sind die Weichteilchirurgie, die Parodontologie und die Endodontie.

In der Endodontie wird der Wurzelkanal herkömmlich aufbereitet. Dann wird der Laser mit der Arbeitsspitze in den Wurzelkanal eingeführt und in spiralförmigen Bewegungen von apikal nach koronal aus dem Wurzelkanal geführt. Die Temperaturerhöhung während der Anwendung des Dentek<sup>®</sup>-Lasersystems ist minimal im Vergleich zu anderen Lasern (17). Ziel der Anwendung ist es, das Wurzellumen zu sterilisieren und die Seitenkanälchen abzudichten.

### **1.3. Zielsetzung**

In der vorliegenden Studie sollten die Effekte des Dentek<sup>®</sup> LD 15-Diodenlasers im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung in Abhängigkeit von der Bewegung des Instrumentenansatzes näher untersucht werden. Durch eine standardisierte und reproduzierbare Bewegung der Faserspitze im Kanal sollten vom Ausmaß dieser Bewegung abhängige Effekte im Wurzelkanal untersucht werden. Bisher haben sich derartige Studien vor allem mit der Versiegelung von Dentinkanälchen oder der Reduktion von mikrobiellen Besiedlungen beschäftigt. Schwerpunkt der vorliegenden Studie sollte der histologische Nachweis von pulpalem Restgewebe im Wurzelkanal sein. Dabei sollte die Effektivität der Laseranwendung in Bezug auf rotierende Bewegung des Applikators, Einstellung der Umdrehungszahl bzw. der Hubbewegung untersucht werden. In diesem Zusammenhang sollte die folgende Hypothese bearbeitet werden:

Die Menge des zurückgelassenen Gewebes im Wurzelkanal ist abhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit der Faserspitze. Die Ergebnisse sollten praktische Hinweise für einen effektiven Umgang mit dieser Laserindikation geben.

## **2. Material und Methoden**

### **2.2.1. Vorbereitung der Proben**

Die Studie wurde an 25 in physiologischer Kochsalzlösung gelagerten extrahierten menschlichen einwurzeligen Zähnen durchgeführt. Die Zähne wurden bis zu einer ISO-Größe 30 mit anschließender „Step-back“-Technik von Hand aufbereitet (3 Stufen der ISO-Größe 35, 40 und 45 in Abstand von jeweils 1 mm kürzer als die Ausgangsgröße).

### **2.2.2. Versuchsaufbau und -durchführung**

Die aufbereiteten Zähne wurden einzeln auf einem drehbaren Versuchstisch, dessen Teller von einem Getriebemotor (Abb. 10 und 11) bewegt werden konnte, auf einer optischen Bank befestigt. Die Drehfrequenz des Motors war variabel einstellbar. Die Versuchsgruppen wurden folgendermaßen eingeteilt: Gruppe 1: 60 [U/min], Gruppe 2: 30 [U/min], Gruppe 3: 15 [U/min], Gruppe 4: 8 [U/min]. In allen Gruppen wurden während der Versuchsdurchführung 5 Zyklen einer kompletten Auf- und Abwärtsbewegung der Faserspitze im Kanal durchgeführt (Abb.10, 11). Durch eine 2 mm von der Längsachse der Zahnwurzel exzentrische Anordnung des Zahnes zur Faserspitze des Handstücks wurde eine Rotation der Faser im Wurzelkanal simuliert.

Die Anwendung des Dentek<sup>®</sup>-Lasers erfolgt bei einer Pulslänge von 10 ms und einer Energie von 4 W. Nach Einbettung der bestrahlten Zähne gemäß dem nachfolgend beschriebenen Protokoll in lighthärtendem Kunststoff und Anfertigung von histologischen Präparaten nach der Dünnschliff-Methode erfolgt die lichtmikroskopische Untersuchung der gefärbten Präparate.

Bei der Segment-Trenn-Dünnschliff-Technik wurden die Präparate nach einer 1- bis 4-tätigen Fixierung der Zähne in 10%iger gepufferter Formalinlösung jeweils 30 Minuten gewässert. Es folgte im Anschluss eine Entwässerung mittels einer graduell aufsteigenden Alkoholreihe:

Die ersten 3 Tage werden die Präparate in 70%ige, die folgenden 3 Tage in 90%ige, weitere 3 Tage in 96%ige und schließlich 2 mal 5 Tage in eine 100%ige Alkohollösung gegeben. Anschließend



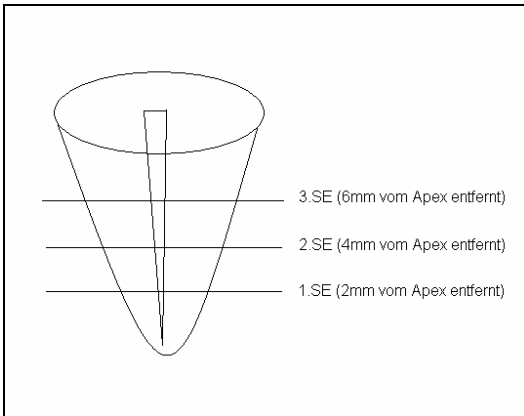
wurden die Zähne 7 bis 10 Tage bei einem Unterdruck von 0,1 - 0,5 bar in ein lichthärtendes Polymethylmethacrylat (PMMA) eingebettet.

Für die Einbettphase wurde ein Gemisch von PMMA (Technovit 7200 VLC, Kulzer GmbH, D-61273 Wehrheim) und HEMA (2-Hydroxy-Ethyl-Methacrylat, Merck, D-64293 Darmstadt) in einem Verhältnis von 1:1 verwendet. In der drauf folgenden Phase des Einbettens wurde 100%iges PMMA verwendet, wobei die Zahnschliffe für 7 Tage eingelegt wurden. Darauf folgte die Polymerisation (Exakt Lichtpolymerisationsgerät, D-22851 Norderstedt) bei der die Zahnschliffe 4 Stunden unter gelbem und 4 Stunden unter blauem Licht auspolymerisierten. Mit einem Trennschleifsystem (ETS, Exakt-Apparatebau, D-22851 Norderstedt) wurden von den in Kunststoff eingebetteten Schliffen planparallele Sektionen von 100 bis 200 Mikrometern Dicke geschnitten. Das Mikroschleifsystem (EMS, Exakt-Apparatebau, D-22851 Norderstedt) erreichte schließlich die Enddicke von ca. 20 µm. Es wurden pro Zahn drei Schnitte in Abstand von 2, 4 und 6 mm zur Wurzelspitze angefertigt, die Schnittebene verlief rechtwinkelig zur Zahnachse, sodass im Zentrum des jeweiligen Präparates ein Querschnitt des aufbereiteten Wurzelkanals sichtbar war (Abb. 12). Aus 25 extrahierten Zähnen wurden 75 Schliffe angefertigt. Die Präparate wurden mit Toluidin-Blau gefärbt.



**Abb. 10:** Getriebemotor, der auf der optischen Bank montiert wurde, um eine Rotation der Wurzelspitze im Wurzelkanal gemäß den klinischen Einstellungen des Herstellers zu simulieren.





**Abb. 12:** Schematische Darstellung der einzelnen Schnittebenen

### 2.2.3. Laserbehandlung der Wurzelkanäle

Die Wurzelkanäle wurden mit einem 810 nm-Diodenlaser von Dentek Laser Systeme, Gaisfeld, Österreich, bestrahlt. Die Ausgangsleistung des Lasers reicht von 0,5 bis 15 Watt. Eine Pulslänge von 2-32 ms im Impulsbetrieb und eine Wiederholrate von 1,5 Hz - 250 Hz können eingestellt werden. Der Laser kann auch im kontinuierlichen Modus (cw) betrieben werden.

Die verwendete Faserspitze wies eine Länge von 28 mm und einen Durchmesser von 200 µm auf. Für die Behandlung der Wurzelkanäle wählten wir eine Einstellung von 4 W und eine Impulsrate von 20 nm, 50 Hz.

Der Laserstrahl wird durch eine flexible Glasfaser zum Handstück geleitet.

Die Faserspitze führte durch die exzentrische Anordnung eine spiralförmige Bewegung durch, bei der nur während der von apikal nach koronal gerichteten Bewegung ein Aktivieren des Lasers erfolgte. Die Faserspitze wurde bis zur Wurzelspitze eingeführt; die korrekte Tiefe wurde durch Ausmessen ermittelt.

Der Laser wurde dann eingeschaltet und der Wurzelkanal bestrahlt. Die Bestrahlung wurde bei jeder Laserbehandlung 5-mal wiederholt und dieses jeweils für 5 Sekunden, mit kurzen Unterbrechungen von 2 Sekunden zwischen den Bestrahlungen.

Die Versuchsparameter der experimentellen Gruppen unterschieden sich hinsichtlich der Umdrehungszahl der Faser im Wurzelkanal (EXP1: 60 U/s, EXP2: 30 U/s, EXP3: 15 U/s, EXP4: 8 U/s (Legende 1)). In der Kontrollgruppe wurden die Zähne ausschließlich konventionell aufbereitet. Jede Gruppe umfasste 5 Zahnpräparate.

Experimentelle Gruppen	
	Experimentelle Gruppe 1 = EXP1 = 60 U/s
	Experimentelle Gruppe 2 = EXP2 = 30 U/s
	Experimentelle Gruppe 3 = EXP3 = 15 U/s
	Experimentelle Gruppe 4 = EXP4 = 8 U/s

**Tab 1:** Bezeichnung der Experimentellen Gruppen

#### 2.2.4. Lichtmikroskopische Untersuchung

Die angefertigten Zahnschliffe wurden lichtmikroskopisch ausgewertet.

Dazu wurden ein Laboratoriums- und Forschungsmikroskop (Leitz Dialux 20EB) sowie ein Stereomikroskop (Typ MPS 45/51, Wild AG, CH-9435 Heerbrugg), das mit einem Photoautomaten ausgestattet war, verwendet. Zunächst wurde das jeweilige Präparat unter einer 16-fachen Vergrößerung betrachtet, um eine Übersicht zu gewinnen und gleichzeitig eine Sektoreinteilung vorzunehmen.

Im Anschluss wurde jedes Präparat unter 100-, 250- bzw. 400-facher Vergrößerung untersucht.

Der jeweilige Wurzelkanal wurde in 8 Sektoren zur quali- und quantitativen Auswertung unterteilt.

Die Untersuchung beschränkte sich auf die vier folgenden Kriterien:

1. Sektoren mit belassenem nekrotischem Pulpagewebe
2. Sektoren mit mechanisch aufbereiteter Kanaloberfläche
3. Sektoren mit Spuren einer Lasereinwirkung bzw. -bearbeitung
4. Sektoren, die eine unbearbeitete Wurzelkanaloberfläche ohne Gewebeauflagerung, aber mit einer Schmierschicht zeigen

Die Zuordnung erfolgte gemäß entsprechenden Referenzuntersuchungen:

Belassenes nekrotisches Pulpagewebe zeichnete sich durch unregelmäßig geformte, blau-violett gefärbte Fragmente aus (10). Mechanisch bearbeitete Wurzelkanalareale zeichneten sich durch eine glatte Linienkontur aus (10). Lasereinwirkungen an der Kanaloberfläche hinterließen eine aufgeraute Struktur. Im Dentin ist der Randsaum des Kraters als Folge thermischer Veränderungen leicht bräunlich verfärbt (10).

Nach NaOCl-Einwirkung weist die Kanaloberfläche eine girlandenförmige Struktur in den entsprechenden Arealen auf (10).

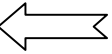
Die Ergebnisse der lichtmikroskopischen Untersuchung (Abb. 13 - 17) wurden in ein Befundschema übertragen, in dem man jeden Wurzelkanalquerschnitt in 8 Sektoren unterteilte. Die Sektoren, die jeweils eines der eben erwähnten Kriterien aufwiesen, wurden addiert. Lagen in einem Sektor zwei Befunde gleichzeitig vor, wurde das quantitativ dominierende Kriterium berücksichtigt.

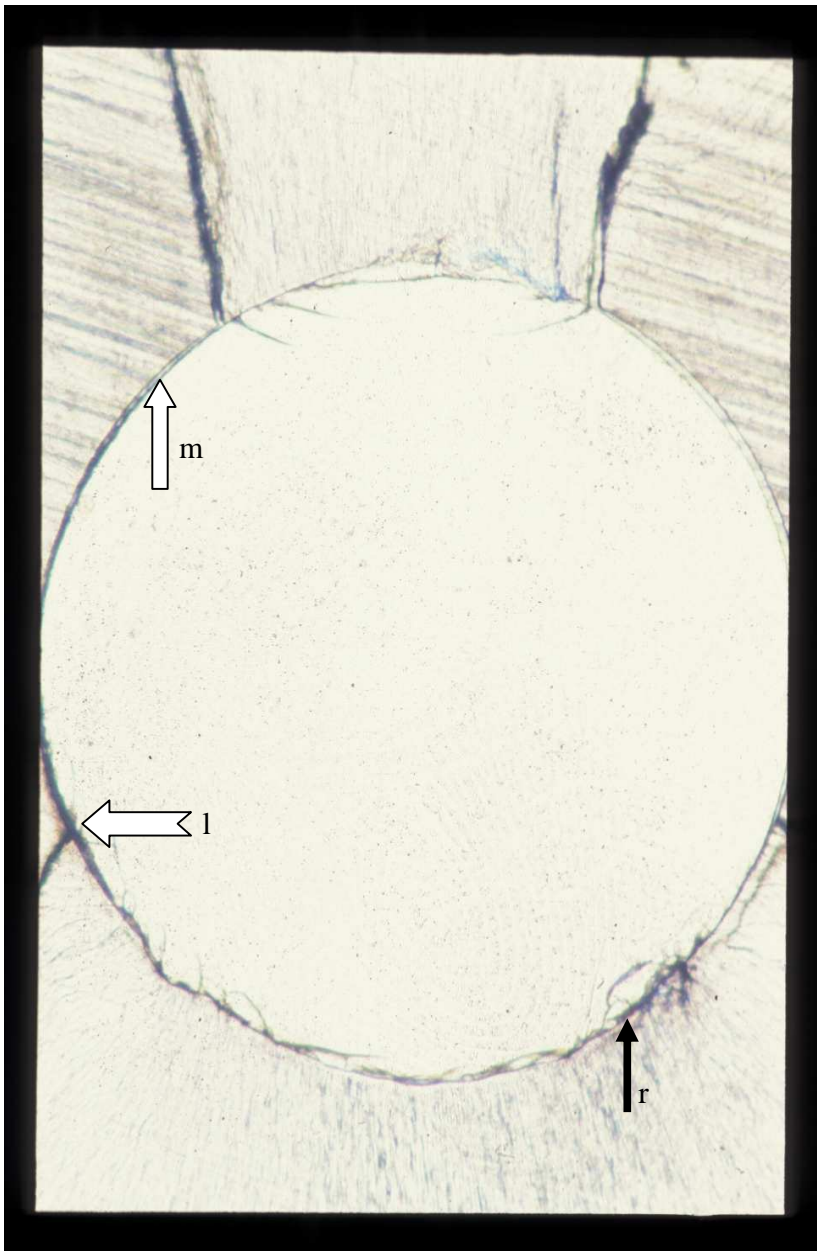


**Abb. 13:**

Lichtmikroskopische Aufnahme eines Wurzelkanal (100-fache Vergrößerung) mit mechanisch bearbeiteter Wurzeloberfläche ( ← m) und nekrotischem Restmaterial ((bläulich gefärbte Substanz) ( ← r))

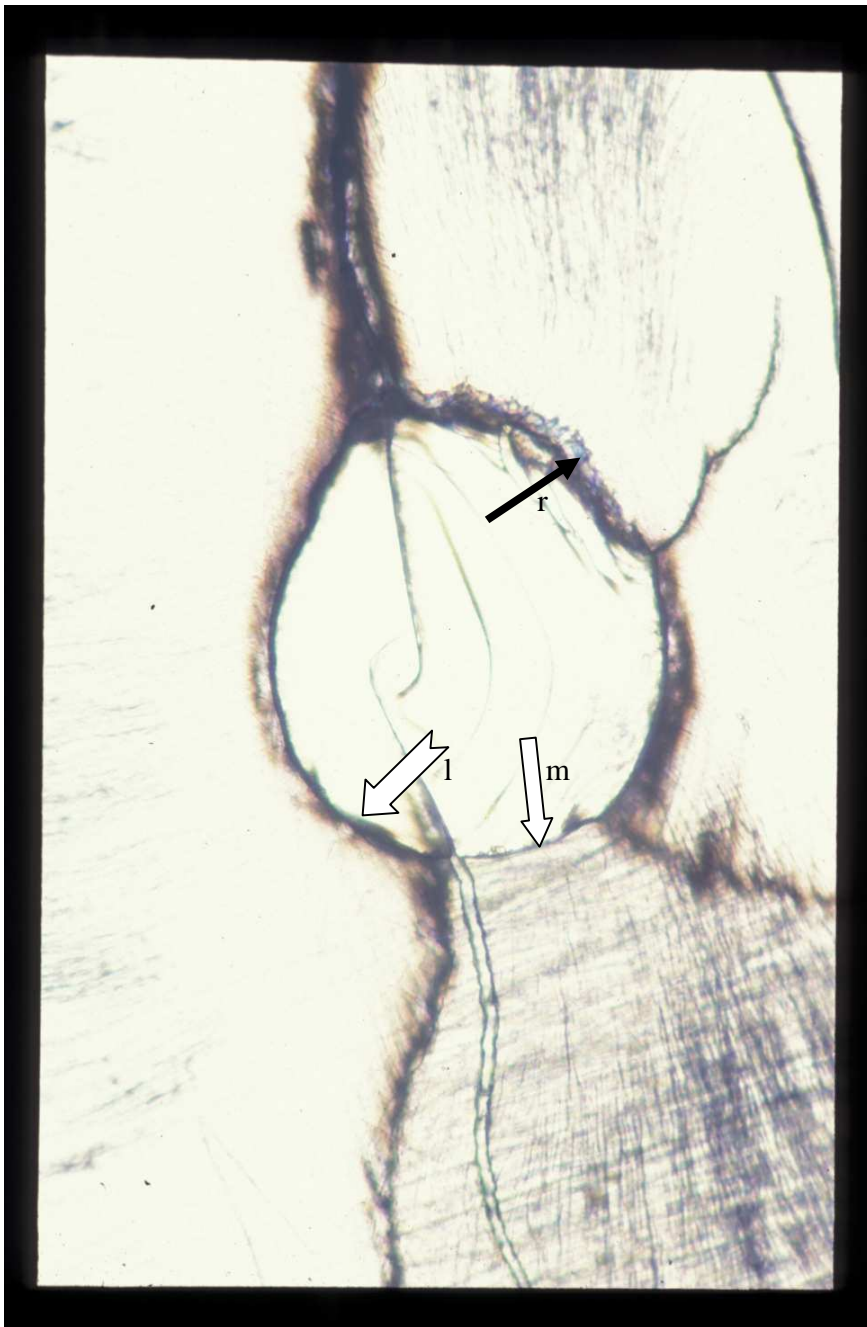


**Abb. 14:** Lichtmikroskopische Aufnahme eines Wurzelkanals (100-fache Vergrößerung) mit Spuren der Laseranwendung (schwarze Umrandungslinie,  1)

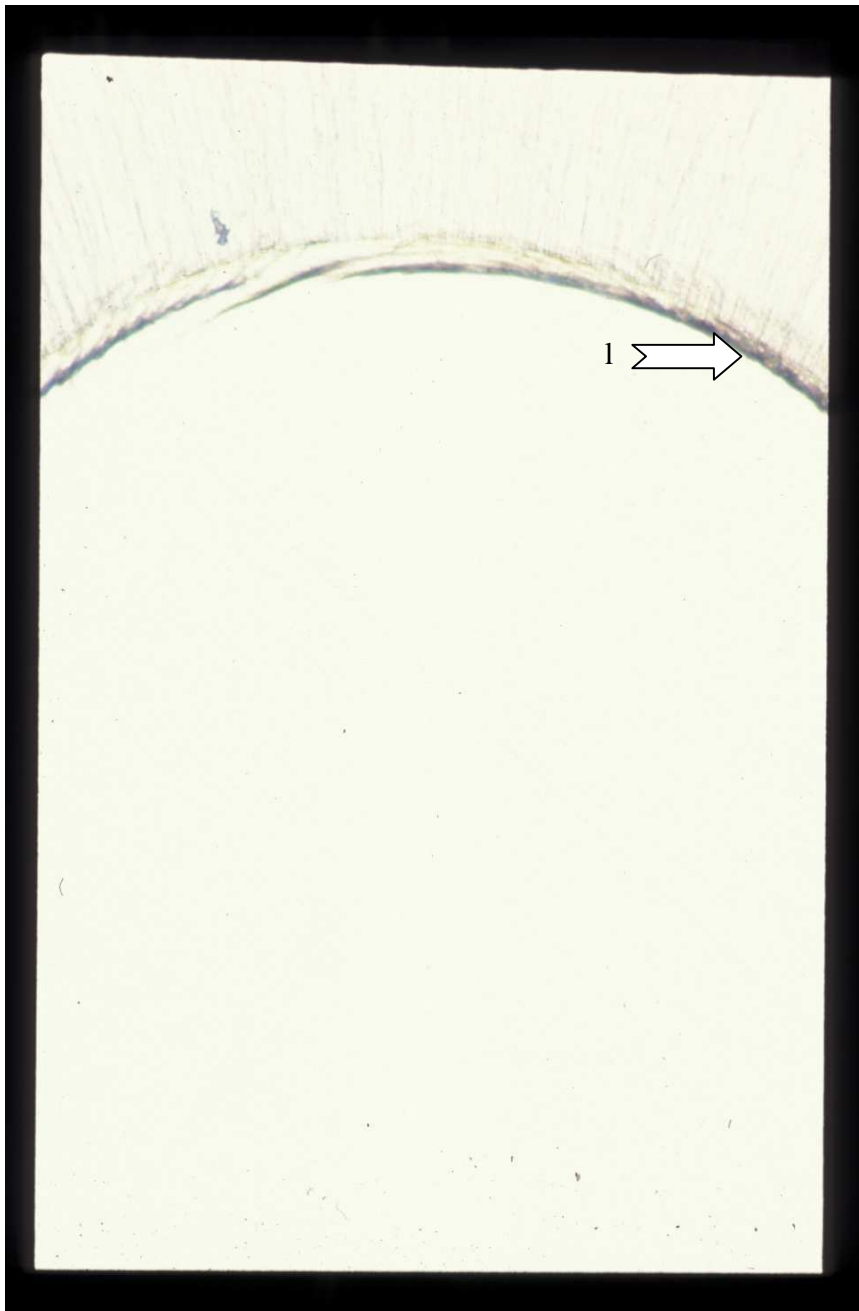


**Abb. 15:** Lichtmikroskopische Aufnahme eines Wurzelkanals (100-fache Vergrößerung) mit mechanisch bearbeiteter Wurzeloberfläche ( ← m) mit nekrotischem Restmaterial (bläuliche Substanz, ← r) und Spuren einer Laseranwendung ( ← l)





**Abb. 16:** Wie Abb. 13 ebenfalls eine lichtmikroskopische Aufnahme eines Wurzelkanals (100-fache Vergrößerung) mit mechanisch bearbeiteter Wurzeloberfläche (  $\leftarrow$  m) mit nekrotischem Restmaterial (bläuliche Substanz,  $\leftarrow$  r) und Spuren einer Laseranwendung (  $\leftarrow$  l)



**Abb. 17:** Lichtmikroskopische Aufnahme mit einem Bereich des Wurzelkanals (250-fache Vergrößerung), der Spuren einer Laseranwendung zeigt (←→1)

### 2.2.5. Statistik

Die Auswertung der Schnittbilder wurde für alle Gruppen (Kontrollgruppe und Experimentelle Gruppe) gleich ausgeführt. Jedes Schnittbild wurde in 8 Sektoren gegliedert und jeder Sektor wurde daraufhin untersucht, ob nekrotisches Restmaterial (Untersuchungsparameter 1 = UP1), ob Spuren einer Laseranwendung (Untersuchungsparameter 2 = UP2), ob eine mechanisch aufbereitete Wurzeloberfläche (Untersuchungsparameter 3 = UP3), oder ob Oberflächen ohne Gewebsauflagerung (Untersuchungsparameter 4 = UP4) vorliegen. Für den Vergleich der Häufigkeiten des Auftretens der Untersuchungsparameter wurden die 95%-Konfidenzintervalle berechnet. Für die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde der Wert  $\alpha = 0,05$  gewählt.

Die experimentellen Gruppen sind entsprechend der Umdrehungszahl eingeteilt, somit umfasst die Experimentelle Gruppe 1 60 Umdrehungen pro Minute (EXP1), die Experimentelle Gruppe 2 (EXP2) 30 Umdrehungen pro Minute, die Experimentelle Gruppe 3 (EXP3) 15 Umdrehungen pro Minute und die Experimentelle Gruppe 4 (EXP4) 8 Umdrehungen pro Minute. Jede Gruppe umfasst 5 Präparate. Die Kontrollgruppe (Kontrollgruppe) wurde nur konventionell aufbereitet und anschließend histologisch wie die experimentellen Gruppen bearbeitet.

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Ergebnisse in der Schnittebene 1

In der Schnittebene 1 (2 mm vom Apex entfernt) ist die Menge an belassenem Pulpagewebe in der Kontrollgruppe (76,7% [KI\*:31,5-63,9%] gegenüber der EXP4 (20% [KI\*:9,1-35,7%] signifikant erhöht (Versuchsparameter s. S.36).

Flächen mit mechanisch bearbeiteter Oberfläche sind bei allen experimentellen Gruppen nicht zu finden (EXP1 bis 4: 0% [KI\*:0%]). Die Menge an Sektoren mit mechanisch bearbeiteter Oberfläche in der Kontrollgruppe ist 20% [KI\*:8-24,7%]. Die Flächen mit Lasereinwirkung sind in allen vier experimentellen Gruppen gering, wobei die EXP2 und EXP4 (20,0% [KI\*:9,1-35,7%]) gleiche Werte aufweisen. In den EXP1, EXP3 (15% [KI\*:5,7-29,8%] und EXP2 (20% [KI\*:9,1-35,7%]) finden sich geringe Flächen mit unbearbeiteter Wurzelkanaloberfläche; wie in der Kontrollgruppe (3,3% [KI\*:0,3-8,8%]). Der Wert in der EXP4 (60,0% [KI\*:43,3-75,1%]) ist gegenüber den EXP1, EXP2, EXP3 und der Kontrollgruppe signifikant erhöht (Tabelle2).

---

\* KI = Konfidenzintervall = Mittelwert von Prozentwerten

	Gesamte Sektoren	UP1	%	KI	UP2	%	KI	UP3	%	KI	UP 4	%	KI
Gruppen													
EXP1	40	19	47,5	31,5-63,9	0	0,0	0	15	37,5	22,7-54,2	6	15,0	5,7-29,8
EXP2	40	24	60,0	43,3-75,1	0	0,0	0	8	20,0	9,1-35,7	8	20,0	9,1-35,7
EXP3	40	20	50,0	33,8-66,2	0	0,0	0	14	35,0	20,6-51,7	6	15,0	5,7-29,8
EXP4	40	8	20,0	9,1-35,7	0	0,0	0	8	20,0	9,1-35,7	24	60,0	43,3-75,1
Kontrollgruppe	80	66	76,7	72,4-90,1	12	20,0	8-24,7	0	0,0	0	2	3,3	0,3-8,8

**Tabelle 2:** Schnittebene 1 = 2 mm vom Apex entfernt

Jeder Sektor aller Gruppen wurde daraufhin kontrolliert, ob nekrotisches Restmaterial (Untersuchungsparameter 1 = UP 1), ob eine mechanisch aufbereitete Wurzeloberfläche (Untersuchungsparameter 2 = UP 2), ob Spuren einer Laseranwendung (Untersuchungsparameter 3 = UP 3), oder ob Oberflächen ohne Gewebsauflagerungen (Untersuchungsparameter 4 = UP 4) vorlagen. KI=Konfidenzintervall (Mittelwert von Prozentwerten).

Die Experimentellen Gruppen unterscheiden sich durch angewendete Umdrehungszahl:

Die Experimentelle Gruppe 1 (EXP1) beinhaltet 60 Umdrehungen pro Minute, die Experimentelle Gruppe 2 (EXP2) 30 Umdrehungen pro Minute, die Experimentelle Gruppe 3 (EXP3) 15 Umdrehungen pro Minute und die Experimentelle Gruppe 4 (EXP4) 8 Umdrehungen pro Minute.

Die Kontrollgruppe beinhaltet die Gruppe, die lediglich per Hand aufbereitet wurden.

## 3.2 Ergebnisse in der Schnittebene 2

In der Schnittebene 2, die 4 mm vom Apex entfernt ist, findet man in den EXP1 (45% [ KI\*:29,3-61,5% ] (Versuchsparameter s.S.36), EXP2 (47,5% [ KI\*:31,5-63,9% ]) und EXP3 (52,5% [ KI\*:36,1-68,5% ]) ähnlich erhöhte Menge an belassenem Pulpagewebe. Auch die Kontrollgruppe (66,3% [ KI\*:5,7-29,8% ]) weist einen hohen Anteil an belassenem Pulpagewebe auf. Signifikant erniedrigt ist die Menge an belassenem Pulpagewebe in der EXP4 (15% [ KI\*:5,7-29,8% ]). Sektoren mit mechanisch bearbeiteter Oberfläche sind in den EXP1, EXP2, EXP3 und EXP4 nicht zu finden. In der Kontrollgruppe (28,8% [ KI\*:19,2-40,0% ]) findet man eine geringe Menge mit mechanisch bearbeiteten Oberflächen.

Dagegen findet sich in den EXP1 (27,5% [ KI\*:14,6-43,9% ]), EXP2 (35% [ KI\*:20,6-51,7% ]) und EXP3 (37,5% [ KI\*:22,7-54,2% ]) dieser Schnittebene eine niedrigere Menge an Oberflächen mit Lasereinwirkung als in der EXP4 (47,5% [ KI\*:31,5-63,9% ]). In dieser Schnittebene findet man in der Kontrollgruppe (5% [ KI\*:1,4-12,3% ]) und in EXP3 (10% [ KI\*:2,8-23,7% ]) kleine Mengen an Flächen mit unbearbeiteter Wurzelkanaloberfläche, wobei die Menge in der EXP1 (27,5% [ KI\*:14,6-43,9% ]), EXP2 (17,5% [ KI\*:7,3-32,8% ]) und EXP 4 (37,5% [ KI\*:22,7-54,2% ]) tendenziell höher ist (Tabelle3).

---

\* KI = Konfidenzintervall = Mittelwert von Prozentwerten

	Gesamte Sektoren	UP1	%	KI	UP2	%	KI	UP3	%	KI	UP4	%	KI
Gruppen													
EXP1	40	18	45,0	29,3-61,5	0	0,0	0	11	27,5	14,6-43,9	11	27,5	14,6-43,9
EXP2	40	19	47,5	31,5-63,9	0	0,0	0	14	35,0	20,6-51,7	7	17,5	7,3-32,8
EXP3	40	21	52,5	36,1-68,5	0	0,0	0	15	37,5	22,7-54,2	4	10,0	2,8-23,7
EXP4	40	6	15,0	5,7-29,8	0	0,0	0	19	47,5	31,5-63,9	15	37,5	22,7-54,2
Kontrollgruppe	80	53	66,3	54,8-76,4	23	28,8	19,2-40,0	0	0,0	0	4	5,0	1,4-12,3

**Tabelle 3:** Schnittebene 2 = 4 mm vom Apex entfernt

Jeder Sektor aller Gruppen wurde daraufhin kontrolliert, ob nekrotisches Restmaterial (Untersuchungsparameter 1 = UP 1) (Versuchsparameter s.S.36), ob eine mechanisch aufbereitete Wurzeloberfläche (Untersuchungsparameter 2 = UP 2), ob Spuren einer Laseranwendung (Untersuchungsparameter 3 = UP 3), oder ob Oberflächen ohne Gewebsauflagerungen (Untersuchungsparameter 4 = UP 4) vorlagen. KI=Konfidenzintervall (Mittelwert von Prozentwerten).

Die Experimentellen Gruppen unterscheiden sich durch ihre Umdrehungszahl:

Die Experimentelle Gruppe 1 (EXP1) beinhaltet 60 Umdrehungen pro Minute, die Experimentelle Gruppe 2 (EXP2) 30 Umdrehungen pro Minute, die Experimentelle Gruppe 3 (EXP3) 15 Umdrehungen pro Minute und die Experimentelle Gruppe 4 (EXP4) 8 Umdrehungen pro Minute.

Die Kontrollgruppe beinhaltet die Gruppe, die lediglich per Hand aufbereitet wurden.

### 3.3. Ergebnisse in der Schnittebene 3

Die Anzahl der Oberflächen mit belassenem Pulpagewebe ist in den EXP1 (60% [ KI\*:43,3-75,1% ]) (Versuchsparameter s.S.36) und EXP3 (57,5% [ KI\*:40,9-73,0% ]) signifikant erhöht, tendenziell erhöht dagegen in den EXP2 (20% [ KI\*:9,1-35,7% ]) und den EXP4 (35% [ KI\*:20,6-51,7% ]). Die Kontrollgruppe (41,3% [ KI\*:30,4-52,8% ]) zeigt eine tendenzielle Erhöhung.

Nur die EXP2 (20% [ KI\*:9,1-35,7% ]) zeigt eine geringe Menge an Sektoren mit mechanisch bearbeiteten Oberflächen; EXP1, EXP3 und EXP4 zeigen keine; in der Kontrollgruppe (45% [ KI\*:33,8-56,5% ]) findet sich eine erhöhte Menge an Sektoren mit mechanisch bearbeiteter Oberfläche. In der Kontrollgruppe (0% [ KI\*:0% ]) findet man keine Sektoren mit Lasereinwirkung. Die Anzahl der Sektoren mit Lasereinwirkung ist in der EXP1 (7,5% [ KI\*:1,6-20,4% ]) signifikant niedriger als in den EXP2 (45% [ KI\*:29,3-61,5% ]), EXP3 (32,5% [ KI\*:18,6-49,1% ]) und EXP4 (55% [ KI\*:38,5-70,7% ]). In dieser Schnittebene findet man in allen Experimentellen Gruppen, sowie in der Kontrollgruppe tendenziell ähnlich niedrige Mengen an Sektoren mit unbearbeiteter Wurzelkanaloberfläche, d. h. solche, die eine NaOCl-Einwirkung zeigen. Nur in der EXP1 (27,5% [ KI\*:14,6-43% ]) findet man tendenziell höhere Mengen an Sektoren mit unbearbeiteter Wurzelkanaloberfläche (Tabelle 4).

---

\* KI = Konfidenzintervall = Mittelwert von Prozentwerten



	Gesamte Sektoren	UP1	%	KI	UP2	%	KI	UP3	%	KI	UP4	%	KI
Gruppen													
EXP1	40	24	60,0	43,3-75,1	0	0,0	0	3	7,5	1,6-20,4	11	27,5	14,6-43
EXP2	40	8	20,0	9,1-35,7	8	20,0	9,1-35,7	18	45,0	29,3-61,5	6	15,0	5,7-29,8
EXP3	40	23	57,5	40,9-73,0	0	0,0	0	13	32,5	18,6-49,1	4	10,0	2,8-23,7
EXP4	40	14	35,0	20,6-51,7	0	0,0	0	22	55,0	38,5-70,7	4	10,0	2,8-23,7
Kontrollgruppe	80	33	41,3	30,4-52,8	36	45,0	33,8-56,5	0	0,0	0	11	13,8	7,1-23,3

**Tabelle 4:** Schnittebene 3 = 6 mm vom Apex entfernt

Jeder Sektor aller Gruppen wurde daraufhin kontrolliert, ob nekrotisches Restmaterial (Untersuchungsparameter 1 = UP1) (Versuchsparameter s.S.36), ob eine mechanisch aufbereitete Wurzeloberfläche (Untersuchungsparameter 2 = UP 2), ob Spuren einer Laseranwendung (Untersuchungsparameter 3 = UP 3), oder ob Oberflächen ohne Gewebsauflagerungen (Untersuchungsparameter 4 = UP 4) vorlagen. KI=Konfidenzintervall (Mittelwert von Prozentwerten).

Die Experimentellen Gruppen unterscheiden sich durch ihre Umdrehungszahl:

Die Experimentelle Gruppe 1 (EXP1) beinhaltet 60 Umdrehungen pro Minute, die Experimentelle Gruppe 2 (EXP2) 30 Umdrehungen pro Minute, die Experimentelle Gruppe 3 (EXP3) 15 Umdrehungen pro Minute und die Experimentelle Gruppe 4 (EXP4) 8 Umdrehungen pro Minute.

Die Kontrollgruppe beinhaltet die Gruppe, die lediglich per Hand aufbereitet wurden.

## 4. Diskussion

### 4.1 Bewertung der eigenen Ergebnisse

Die lichtmikroskopische Untersuchung der vorliegenden In-vitro-Studie mit dem Dentek<sup>®</sup>-Diodenlaser ergab hinsichtlich verbliebener organischer Gewebsreste saubere Kanäle mit weniger Gewebsresten nach der Laserbehandlung.

Eindeutig führte die laserassistierte Aufbereitung zu einem signifikant geringeren Verbleib von nekrotischem Restmaterial, vor allem in den apexnahen Schnittebenen im Vergleich zur konventionellen Handaufbereitung.

Die Säuberung, Aufbereitung und Desinfektion von Wurzelkanälen ist eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche endodontische Behandlung. Ziel der endodontischen Behandlung ist die Vorbeugung und die Ausheilung einer apikalen Parodontitis. Wie bereits vor langem eindeutig nachgewiesen wurde, spielen Mikroorganismen im Wurzelkanal bei der Entstehung einer apikalen Läsion eine entscheidende Rolle. Bei der endodontischen Behandlung geht es darum, die bestehende bakterielle Infektion zu eliminieren. Bei einer infizierten Pulpanekrose findet man quasi den Gewebstod der Pulpa mit bakterieller Infektion vor (42). Die Pulpakammer enthält abgestorbene Zellen und Gewebe, stagnierende Gewebsflüssigkeiten, zelluläre Abbauprodukte, Granulozyten, Makrophagen, Plasmazellen, Lymphozyten und Mikroorganismen (42). Nach einer Wurzelexstirpation ist in der Regel die Wurzelpulpa weitgehend steril, vorausgesetzt man hält aseptische Behandlungsprinzipien ein (Verwenden von Kofferdam z. B.).

Viele Studien beschäftigten sich mit der laserassistierten Wurzelkanalaufbereitung, um die sterilisierende Eigenschaft des Laserstrahls zu nutzen (17). An dieser Stelle sollte betont werden, dass auch nach Behandlung mit dem Laser nicht von einem vollständigen sterilen Wurzelkanal ausgegangen werden kann. Sowohl hier als auch in anderen Studien ist immer Restgewebe vorhanden, sowohl bei Laserbehandlung als auch bei konventioneller Handaufbereitung (2, 17). Eindeutig ist jedoch, dass eine erhebliche Bakterienreduzierung, besonders bei Anwendung des Lasers (unabhängig von der Art des Lasers) erfolgt (17, 18, 19, 2). So konnte auch in einer Studie mit dem Diodenlaser über einen Vierjahreszeitraum hinweg festgestellt werden, dass man

eindrucksvolle Ergebnisse bei der Bekämpfung der gramnegativen, anaeroben Problem-Keimspektren erzielte (2).

In-vitro-Untersuchungen mit anderen Lasern ergaben ähnlich signifikante Unterschiede (17). Es konnte festgestellt werden, dass die Bestrahlung von Wurzelkanälen mit einem Nd:YAG-Laser zu einer Bakterienreduzierung (*Bacillus stercorophilus*) von 99 % führte (14, 15). In einem Laborversuch erreichte man eine 100fache Reduzierung hitzebeständiger Bakterien (*Enterokokkus faecalis*), indem diese mit einem gepulsten Nd:YAG-Laser bestrahlt wurden (46). Weil die Eindringtiefe des Diodenlasers (810 nm) sehr viel geringer ist als die des Nd:YAG-Lasers scheint das Risiko unerwünschter Wärmeeinwirkung sogar noch niedriger zu sein (30, 17). Weiter konnte festgestellt werden, dass zwar ein Temperaturanstieg des Diodenlasers festgestellt wurde, aber nur bei Bestrahlung ohne Bewegung der Faserspitze (17). Sobald die Faserspitze mit gleichmäßigen kreisförmigen Bewegungen geführt wurde, ergab sich eine reduzierte Wärmeeinwirkung (17). Die Studie zeigt also die Beeinflussung der Bewegung der Faserspitze auf den Temperatureinstieg (17), jedoch gibt es in dieser Studie keinen Hinweis darauf, wie diese kreisförmigen Bewegungen zustande kommen. Es wäre interessant, zu vergleichen, wie die Wärmeentwicklung sich verändert (mit den Werten der anderen Studie (17) nach Einführen der Faserspitze), wenn man sich die reproduzierbaren Standardeinstellungen der vorliegenden Studie zunutze nimmt. Dieses würde auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie erweitern, da hier bisher nicht das Verhalten der Faserspitze ohne Bewegung im Wurzelkanal (17) untersucht wurde. In der vorliegenden Studie gab gerade die Regulierung der Drehzahl einen guten Hinweis für den klinischen Einsatz des Lasers. Diese Studie mit der histologischen Auswertung der Präparate ergab, dass die Reduzierung der Drehzahl bei den apexnahen Schnittebenen deutlich weniger nekrotisches Restmaterial zeigte, als bei einer hohen Geschwindigkeit. In der oben erwähnten Studie spricht man von einer langsam in ständig kreisenden Bewegungen von der Spitze bis zur Krone des Lasers im Wurzelkanal (17), es bleibt unerwähnt, wie diese Bewegungen entstehen, wie eine Rotation des Zahnes bzw. des Handstückes, oder mit welcher Drehzahl diese erfolgen. Dieser Parameter sollte doch kritisch betrachtet werden, um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erreichen.

In der vorliegenden Studie wurde deshalb ein etwas aufwendigerer Versuchsaufbau geschaffen, damit durch die exakte Anordnung (exzentrisch 2 mm) eines jeden Zahnes auf dem elektrisch betriebenen Drehteller ermöglicht, dass jeder Zahn die gleiche Bewegung erfährt. Auch wurde

entgegengesetzt der anderen Studie (17) nicht eine kreisrunde, sondern eine spiralförmige Bewegung sowie von apikal nach koronal (wie vom Hersteller empfohlen) der Faserspitze gewählt, diese Bewegung war aufgrund des Versuchsaufbaus möglich und reproduzierbar.

Außerdem stellte man in anderen In-vivo-Studien fest, dass die Risiken der Hitzeentwicklung durch den Dentek<sup>®</sup>-Diodenlaser sehr gering sind (28). Eine relativ lange Bestrahlungsdauer und angemessene Führung der Licht leitenden Faser in Verbindung mit einer Vergrößerung des Strahlendurchmessers bei kurzer Entfernung von der Austrittsöffnung lassen eine ausreichende Behandlung der gesamten Wurzelkanalwand und Bestrahlung aller Bakterien erhoffen (28). Kritisch sollte man aber bei dieser In-vivo-Studie berücksichtigen, dass nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, dass lebensfähige Bakterien während einer Laserbehandlung in die Umgebung verteilt werden. Vergleicht man die In-vivo-Studie (28) mit der vorliegenden und ganz allgemein mit In-vitro-Studien, so bieten In-vitro-Tests (17, 30, 16) den Vorteil, dass man bei diesen die Möglichkeit der Implementierung von Kontrolle während der einzelnen Arbeitsschritte hat, um eine gute Reproduzierbarkeit auch im Hinblick auf den Vergleich mit anderen Verfahren zu schaffen (17).

In der vorliegenden Studie gab gerade die Regulierung der Drehzahl einen guten Hinweis für den klinischen Einsatz des Lasers. Diese Studie mit der histologischen Auswertung der Präparate ergab, dass die Reduzierung der Drehzahl bei den apexnahen Schnittebenen deutlich weniger nekrotisches Restmaterial zeigte, als bei einer hohen Geschwindigkeit.

Auch eine neuere In-vitro-Studie (16), die die antibakterielle Wirkung mit einem Diodenlaser (Wellenlänge: 980 nm) untersuchte, beschreibt nur eine konstante Bewegung der Faserspitze, ohne Angabe der Art der Bewegung oder gar Drehgeschwindigkeit (16). Schwerpunkt dieser Studie war die Untersuchung des bakteriziden Effektes des Diodenlasers im Wurzelkanal, abhängig von der verschiedenen Dentindicke (100, 200 und 300  $\mu\text{m}$ ) bei verschiedenen Ausgangsleistungen (1,75, 2,3 und 2,8 W) (44). Diese Studie zeigte, dass der Diodenlaser in der Lage ist, auch in tieferen Schichten des Dentins Bakterien zu entfernen, die besten Ergebnisse wurden bei höheren Ausgangsleistungen erzielt (44). Ähnlich findet man in der vorliegenden Studie in der apexnahen Schnittebene bei niedriger Geschwindigkeit eine geringe Anzahl von pulpalem Restgewebe.

Die Bestrahlung mit dem Diodenlaser ergab bei einer Ausgangsleistung von 4 W die besten bakteriziden Effekte im Wurzelkanal, sowie einen vollständigen Verschluss der Dentinkanäle, eine Ausgangsleistung von 2 und 3 W ergab schlechtere Ergebnisse (17). In der vorliegenden Studie

wurde aufgrund der positiven Erfahrung anderer Studien (17) mit dem Diodenlaser eine höhere Ausgangsleistung von 4 W gewählt (diese wurde auch vom Hersteller empfohlen). Auch andere Studien mit anderen Lasern berichten über gute bakterizide Wirkung bei höheren Ausgangsleistungen (16, 23).

Da in den anderen Studien (17, 30, 16) keine Angaben über die Regelung der Drehgeschwindigkeiten gemacht werden, können diese mit der vorliegenden Studie auch nicht verglichen werden.

In der vorliegenden Studie stellte man fest, dass in den vom Apex weiter entfernten Schichten (4 mm) bei niedriger Geschwindigkeit die Sektoren mit Lasereinwirkung erhöht waren. In der apexnahen Schicht (2 mm vor Apex) findet man bei niedriger Geschwindigkeit (EXP4) weniger pulpaless Restgewebe als bei hoher Geschwindigkeit (EXP1); allerdings waren die Werte in der Kontrollgruppe für pulpaless Restgewebe deutlich erhöht. Weiter stellte man hier fest, dass bei einer Schnittebene, die am weitesten vom Apex entfernt ist (6 mm), die Ergebnisse von hand- und laserassistierter Aufbereitung sich immer mehr angleichen; unabhängig der Drehgeschwindigkeiten.

In anderen Studien mit dem Diodenlaser stellte man fest, dass zwar auch in tiefen Dentinschichten Bakterien eliminiert werden können (beste Erfolge bei hoher Ausgangsleistung (2,8 W) und geringe Dentindicke 100 Mikrometer: Maximale Bakterienreduzierung von 97 % / bei 500 Mikrometer 86 % (2,8 W) und 57 % bei 1,75 W), aber auch (ähnlich wie in der vorliegenden Studie) gerade die hohe Dentindicke weniger Bakterienreduzierung erzielen (16).

Gemeinsam haben aber die Studien (17, 30, 23, 16); auch wenn hier der Schwerpunkt in der Feststellung der bakteriziden Wirkung des Diodenlasers lag; mit der vorliegenden Studie, dass der Dentek<sup>®</sup>-Laser zu einer Reduzierung von bakteriellem Gewebe führt.

Vergleicht man noch mal das Vorgehen bezüglich Material und Methoden in der vorliegenden Studie und in anderen Studien, so kann man Folgendes beobachten:

Die Vorbereitung der Proben (25 menschliche einwurzelige Zähne) erfolgte in der vorliegenden Studie generell in der Einteilung in zwei Hauptgruppen, nämlich, die der laserassistierten und die der Handaufbereitung. Beide Gruppen wurden konventionell aufbereitet (bis ISO-Größe 30 / anschließend mit der Step-back-Technik, um eine Konvexität des Kanals zu erhalten und damit auch einen besseren apikalen Stopp) und in einer NaCl-Lösung gelagert wurden.

In einer anderen Studie erfolgt die Vorbereitung der Proben (44 menschliche Frontzähne) ähnlich, wobei hier zwar bis ISO-Größe 50 aufbereitet wurde, die Step-back-Technik aber nicht angewandt wurde (17). Da es sich bei der in der Studie verwendeten Zähnen überwiegend um grazile Unterkieferzähne handelte, wurden die Zähne nur bis ISO-Größe 30 aufbereitet, da die Fraktur eines Zahnes bei zu großer Aufbereitungsgröße vermieden werden sollte. Eine andere In-vitro-Studie wählt für ihre Untersuchungen Rinderzähne aus (16). Inwieweit die Wahl von nicht menschlichen Zähnen zu anderen Ergebnissen führt, wird nicht erwähnt (16).

Allen oben erwähnten Studien ist aber gemeinsam, dass die gesamte Wurzelkanalfläche mit dem Laser bearbeitet wurde (16, 17, 28, 30). Eine andere Studie hat hier in der Behandlung eine andere Vorgehensweise (zwar mit dem ER:YAG-Laser) der Proben, so gibt es neben der Gruppe mit laserassistierter Aufbereitung und nur Aufbereitung, noch eine Gruppe, die Zähne enthält, die nicht behandelt sind (also nicht aufbereitet / Kontrollgruppe) und außerdem noch eine Gruppe, die Zähne enthält, die 3 mm kürzer mit dem Laser bestrahlt werden, als die der Gruppe der laserassistierten Aufbereitung (36). Die Gruppe der um 3 mm kürzeren Laserbehandlung wies auch weiterhin infiziertes Gewebe auf, dass nicht durch die übrige Laserstrahlung eliminiert wurde (36). Gegenüber der vorliegenden Studie muss festgestellt werden, dass hier eventuell die Erweiterung der Gruppen um die oben erwähnten Gruppen, deutlichere Ergebnisse hätte erzielen können, doch die Anzahl der untersuchten Zähne (25 Zähne) hätte durch zwei weitere Gruppen, nicht so deutliche Ergebnisse bezüglich der Handhabung des Diodenlasers (welches in dieser Studie Schwerpunkt war) gezeigt. Allerdings ist die Einteilung der Proben in vier Gruppen bei der Anzahl von 48 Zähnen und bei Schwerpunktlegung der Studie auf den bakteriziden Effekt sicherlich sinnvoll (36).

Eine andere In-vitro-Studie (mit dem GaAlAs-Laser) bereitet die Proben der 72 menschlichen Zähne so vor, dass jeder Zahn auf eine Länge von 12 mm gekürzt wird (wobei die Krone komplett entfernt wird) (23). Diese Vorgehensweise erleichtert sicherlich das Aufbereiten des Zahnes und ermöglicht ein genaues Arbeiten, schon alleine durch die vorgegebene Länge. Auch diese Studie untersucht den bakteriziden Effekt des Lasers und findet bei einer hohen Ausgangsleistung von 4,5 W die höchste Bakterienreduzierung (23).

In der vorliegenden Studie ist der Verbleib von pulpaalem Restgewebe als Parameter (und nicht der bakterizide Effekt wie in anderen Studien (17, 30, 28, 24, 23, 16, 36)) für den Erfolg der Laserhandlung im Hinblick auf die Drehzahlgeschwindigkeit entscheidend.

Die Anzahl des pulpalen Restgewebes ist in beiden Schnittebenen der vorliegenden Studie in Kontrollgruppe deutlich erhöht, folglich führt die laserassistierte Laseraufbereitung zur deutlichen Verringerung des pulpalen Restmaterials. Die Erniedrigung der Geschwindigkeit führt in beiden Gruppen der laserassistierten Aufbereitung zur Reduktion des pulpalen Restmaterials.

Vergleicht man alle Ergebnisse dieser vorliegenden Studie, so stellt man fest, dass je weiter man sich vom Apex weg entfernt, umso mehr gleichen sich die Werte von Handaufbereitung und laserassistierter Aufbereitung an. Deutliche Reduzierung von pulpaalem Gewebe konnte aber eindeutig im apexnahen Bereich festgestellt werden.

So ergibt sich für den klinischen Einsatz des Lasers eine niedrige Drehzahl (8 - 15 U/min).

Abschließend ist festzustellen, dass sowohl die vorliegende Studie, als auch die obengenannten Studien (17, 30, 24, 23, 16, 36) sowie die In-vitro-Studie gezeigt haben (wenn auch mit verschiedenen Vorgehensweisen), dass im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren der Wurzelkanalspülung mit z. B. NaOCl-Lösung (17), die Anwendung des Lasers zu einem niedrigeren Verbleib von nekrotischem Restmaterial führt, bzw. einen hohen bakteriziden Effekt hat. Ein deutlicher Vorteil bei der Laser unterstützten Wurzelbehandlung ist das Fehlen von Nebenwirkungen (z. B. zytotoxische Wirkung), die bei konventionellen medikamentösen Einlagen und Kanalspülungen mit der antibakteriellen Wirkung verknüpft sein können (7).

Abschließend sollte noch erwähnt werden, dass während der Studie insgesamt vier Faserspitzen des Diodenlasers frakturiert sind. Da dieses unabhängig vom Versuchsprotokoll geschah und die Bruchstücke sofort entfernt wurden, wurde das Ergebnis nicht davon beeinflusst.

## 4.2. Dignität der Ergebnisse

Im Versuchsaufbau wurde die Bewegung der Faserspitze so gewählt, dass sie den Empfehlungen des Herstellers entsprach, nämlich von apikal nach koronal. Diese Vorgehensweise hat sich im Versuchsverlauf auch bewährt und hat auch zu einem reibungslosen Verlauf geführt und kann damit in der Praxis auch empfohlen werden. In einer zusätzlichen Versuchsreihe hätte man die Bewegung der Faserspitze von koronal nach apikal durchführen können. Anschließend hätte man die Ergebnisse mit den vorliegenden Ergebnissen vergleichen können. Dieser Parameter könnte durch weiterführende Untersuchungen beleuchtet werden.

Befasst man sich mit der Frage, ob wirklich alle Kanalabschnitte eindeutig mit dem Laser bearbeitet wurden, so kann man feststellen, dass man histologisch an allen laserbehandelten Zähnen Karbonisierungseffekte (histologisch sichtbares Merkmal der Laserbehandlung). Allerdings zeigen nicht alle Kanalabschnitte einen Karbonisierungseffekt auf. Die Kanalabschnitte, die 4 mm und 6 mm vom Apex entfernt sind, weisen bei niedrigster Geschwindigkeit den höchsten Anteil an lasermodifizierten Sektoren auf, es handelt sich aber nicht um signifikante Unterschiede innerhalb der verschiedenen Schichtebenen.



### **4.3. Schlussfolgerung**

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das günstigste Ergebnis mit dem Dentek<sup>®</sup>-Laser erreicht wird, wenn im apexnahen Bereich eine geringe Geschwindigkeit bei vom Hersteller empfohlener Applikationstechnik zur Bearbeitung des Wurzelkanals von apikal nach koronal und spiralförmig gewählt wird. Bei geringer Umdrehungszahl (8 bzw. 15 U/min) erhält man mit der laserassistierten Aufbereitung eine deutlich geringere Menge an pulpalem Restgewebe im Wurzelkanalsystem.

## 5. Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, die Wirkungen einer Dioden-Laser-Bestrahlung in einem konventionell aufbereiteten Wurzelkanal zu untersuchen. Durch eine standardisierte und reproduzierbare Bewegung der Laserspitze im Kanal sollten vom Ausmaß dieser Bewegung abhängige Effekte im Wurzelkanal untersucht werden.

Insgesamt wurden 25 Zähne endodontisch mit Handinstrumenten aufbereitet; hiervon wurden 5 Zähne nicht der laseradjuvanten Applikation unterzogen (Kontrollgruppe). Die übrigen 20 Zähne wurden in vier experimentelle Gruppen unterteilt, die sich in Bezug auf die Umdrehungszahl der Applikationsfaser unterschieden.

Der Versuchsaufbau wurde so gestaltet, dass die Bewegung der Faserspitze entsprechend den Angaben des Herstellers von apikal nach koronal und spiralförmig erfolgte.

Von jedem Zahn wurden nach der Bearbeitung der 3 histologische Schnitte in den verschiedenen Schnittebenen 2, 4 und 6 mm vom Apex angefertigt und lichtmikroskopisch untersucht. In den ersten beiden apexnahen Schnittebenen wurde festgestellt, dass weniger nekrotisches Restmaterial bei geringer Geschwindigkeit vorlag als bei hoher Geschwindigkeit. So blieben in der ersten Schnittebene der experimentellen Gruppe 4 ca. 20% der Sektoren mit zurückgebliebenem Gewebe zurück. Bei erhöhter Drehzahl betrug dieser Wert ca. 48 %. Weiter ergab die Studie, dass die Drehzahl in den apexfernen Gebieten (Schnittebene 3 = 6 mm) den Umfang an zurückgelassenem Gewebe nicht beeinflusste. Besonders deutliche Unterschiede zeigten sich in der Schnittebene 1 beim Vergleich von konventionellem Vorgehen und laserassistierter Aufbereitung. Nach konventioneller Aufbereitung wurde in ca. 93 % der Sektoren noch Restmaterial gefunden.

Die vorliegende Studie zeigt, dass die laserassistierte Aufbereitung zu einer Reduzierung von nekrotischem Restmaterial führt. Weiter gibt die Studie einen wichtigen und bisher noch nicht untersuchten Hinweis über die Handhabung des Diodenlasers bezüglich der Praxisrelevanz:

Die langsame Rotation der Applikationsfaser führt zu deutlich günstigeren Ergebnissen.

## 6. Literaturverzeichnis

- (1) Altinger, EP, Parakkal. The relevance of Biomedical engineering to dentistry.  
In: Altinger, EP, Parakkal, HRSG.  
Workshop of the National Institute of Health.  
Bethesda Maryland: National Institute of Dental Research, 1976: 77-1198
- (2) Bach G, Mall Ch, Krekeler G. Konventionelle versus laserunterstützte Therapie marginaler Parodontopathien ein Vierjahresvergleich. ZMK 1998; 4: 6-10
- (3) Baume LJ. Dental pulp conditions in relation to carious lesions.  
Int Dent J 1970; 20, 309-337
- (4) Bender IB. Pulp biology conference: a discussion.  
J Endod 1978; 4: 37-52
- (5) Beveridge EE, Brown AC. The measurement of human dental intrapulpal pressure and its response to clinical variables.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1965; 19, 665
- (6) Braun A, Nolden R. Applikation eines Kalziumhydroxid-Pastenpräparats in ISO-genormten Kanallumina. Dtsch Zahnärztl Z 1999; 54, 4
- (7) Chong BS, Pitt Ford TR. Die Bedeutung medikamentöser Wurzelkanaleinlagen.  
Endodontie 1993; 2: 255-268
- (8) Frentzen M. Laser in der Endontie - eine Übersicht. ZWR 2002; 111: 375-390

- (9) Frentzen M, Koort HJ, Nolden R. Aufbereitung von Wurzelkanälen mit Excimer-Lasern.  
Dtsch Zahnärztl Z 1991; 46: 288-289
- (10) Frentzen M, Koort HJ. Lasertechnik in der Zahnheilkunde.  
Dtsch Zahnärztl Z 1991; 46: 443- 454
- (11) Guldner PHA, Langeland K. Endodontologie, Diagnostik und Therapie.  
Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1987; 2, 40
- (12) Guldner PHA, Langeland K. Endodontologie, Diagnostik und Therapie.  
Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1987; 2, 41
- (13) Guldner PHA, Langeland K. Endodontologie, Diagnostik und Therapie.  
Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1987; 2: 137-138
- (14) Guldner, HA, Langeland, K. Endodontologie, Diagnostik und Therapie.  
Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1987; 2, 184
- (15) Guldner, HA, Langeland, K. Endodontologie, Diagnostik und Therapie.  
Stuttgart: Georg Thieme Verlag Stuttgart; 1987; 2: 200-210
- (16) Gutknecht N, Franzen R, Schippers M, Lampert F. Bactericidal effect of a 980-nm diode laser in the root canal wall dentin bovine teeth.  
J Clin Laser Med Surg. 2004; 22: 9-13
- (17) Gutknecht N, Moritz A, Conrads, Lampert F. Der Diodenlaser und seine bakterizide Wirkung im Wurzelkanal - eine In-vitro-Studie.  
Endodontie 1997; 3: 217-222

- (18) Hardee MW, Miserendino L, Kos W. Evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd:YAG laser irradiation. In: Hardee MW, Miserendino L, Kos W, HRSG., 47th Annual Association of endodontics. Las Vegas Nevada: 1990
- (19) Hardee MW, Miserendino L, Kos W. Evaluation of the antibacterial effects of intracanal Nd:YAG laser irradiation.  
J Endod 1994; 20: 377-380
- (20) Hassel HJ. Physiology of the human dental pulp. In: Siskin M, HRSG. The Biology of Human Dental pulp. Mosby: St. Louis, 1978; 16
- (21) Henriques FC, Moritz AR. Studies of thermal injury II.  
Am J Pathol 1947; 23: 695-720
- (22) Koort HJ, Frentzen M. YAG-Lasers in restorative Dentistry,  
A historical investigation. SPIE, Laser Surgery 199 2; 16,43: 403-411
- (23) Kreisler M, Kohnen W, Beck M, Al Haj H, Christoffers AB, Gotz H, Duschner H, Jansen B, D'Hoedt B. Efficacy of NaOCl/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> irrigation and GaAlAs laser in decontamination of root canals in vitro. Lasers Surg Med 2003; 32(3): 189-96
- (24) Lee MT, Bird PS, Walsh LJ. Photo-activated disinfection of the root canal: a new role for lasers in endodontics. Aust Endod J. 2004; 30(3): 93-98
- (25) Levy G. Gepulste Neodym-YAG-Laser: Thermoefekte in der Endodontie.  
Phillip J 1994; 11:223-225
- (26) Levy G. Wurzelkanalbehandlung mit dem Nd: YAG-Laser - eine vergleichende Studie.  
ZWR 1994; 103: 40-43

- (27) Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls.  
J Endod.1984; 10: 477-483
- (28) Moritz A, Gutknecht N, Schoop U, Goharkhay K, Doertbudak O, Sperr W.  
Bestrahlung infizierter Wurzelkanäle mit dem Diodenlaser in vivo. Laser-Surg-Med. 1997;  
21:221-226
- (29) Moritz A, Gutknecht N, Goharkhay K, Schoop U, Wernisch J, Sperr W. In vitro irradiation of infected root canals with a diode laser: Results of mikrobiologic, infrared spectometric, and stain penetration examinations. Quintessence International 1997; 28/3: 205-209
- (30) Moritz A, Gutknecht N, Goharkhay K, Schoop U, Wernisch J, Sperr W.  
Mikrobiologische und infrarotspektroskopische Untersuchungsergebnisse und Farbpenetrationsversuche nach In-vitro-Bestrahlung infizierter Wurzelkanäle mit einem Diodenlaser. Quintessenz Verlag 1997; 28: 205-209
- (31) Müller G, Ertl TH. Angewandte Laser-Zahnheilkunde II-2.1.  
Ecomed 1995; 2.1, 4
- (32) Müller G, Ertl TH. Angewandte Laser-Zahnheilkunde II-2.1.  
Ecomed 1995; II.-5.1.6; 7, Erg. Lfg. 1997; 7
- (33) Müller G, Ertl TH. Angewandte Laser-Zahnheilkunde II-2.1.  
Ecomed 1995; II-5.1.6; 1,3
- (34) Müller G, Ertl TH. Angewandte Laser-Zahnheilkunde II-2.1.  
Ecomed 1997; II-5.1.6; 4

- (35) Nolden R. Zahnerhaltungskunde. Stuttgart Georg Thieme Verlag, 1984; 6: 207-211
- (36) Perin FM, Evaluation of the antimicrobial effect of Er: YAG Laser irradiation versus 1 % sodium hypochlorite. Aust Endod 2004; 30(1): 2-20
- (37) Petschelt A, Endodontie. Maschinell - Manuell? Die Aufbereitung und Spülung des Wurzelkanals. Dtsch zahnärztl Z 1989; 44: 407-413
- (38) Raab HM, Diagnostische Aspekte des Zahnschmerzes. ZM 2000; 10: 58
- (39) Rooney J, Midda M, Leeming J. A laboratory investigation of the bactericidal effect of a Nd:YAG laser. Br Dent J 1994; 176: 61-63
- (40) Selzer S, Bender J. The Dental Pulp, Biologic Consideration in Dental Procedures, 3<sup>rd</sup> ed. Lippincott, Philadelphia, 1984; 78-151
- (41) Siqueira JF. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after Instrumentation and irrigation with 1 %, 2,5 % and 5,25 % Sodium Hypochlorite. J Endod.2000; 26(6): 331-334
- (42) Siqueira JF. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after Instrumentation and irrigation with 1 %, 2,5 % and 5,25 % Sodium Hypochlorite. J Endod.2000; 6: 331-334
- (43) Tseng P, Gilkeson CF, Palmer J, Liew V. The bacteriocidal effect of a Nd:YAG laser in vitro. J Dent Res 1991; 70:650

- (44) Valera MC. Effect of sodium hypochlorite and five intracanal medications on *Candida albicans* in root canals.  
J Endod. 2001; 27(6): 401-403
  
- (45) Weichmann JA, Johnson FM. Laser use in endodontics:a preliminary investigation.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1971;31:416-420
  
- (46) White, JM, Goodis, HE, Cohen, JN. Bacterial reduction of contaminated dentine by Nd:YAG laser. Dent Res 1991; 70,412-416



## Lebenslauf

Name: Beck Moreno-Sedaghat geborene Beck Moreno

Vorname: Maria-Josefa

Geburtsdatum: 19.11.1964

Geburtsort: Dortmund

Familienstand: verheiratet (seit 1992)  
ein Sohn

Eltern: Josefa Moreno, geborene Orge  
Guillermo Beck Bejarano

Schulbildung: 1969 - 1974 Grundschule in Dortmund  
1974 - 1983 Gymnasium in Dortmund  
1983 Abitur

Berufsausbildung: 1983 - 1984 Sprachaufenthalt in Spanien  
1984 - 1986 Sprachstudium in Köln  
1986 - 1989 Groß- und Außenhandelskauffrau  
bei Firma Gerl / Dentalkaufmann  
1989 - 1993 Tätigkeit bei Firma Gerl / Vertrieb

Studium: 1997 - 2003 Zahnmedizin an der  
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Beruf: 01.10.2003 - 30.09.2005 Vorbereitungsassistentin in  
einer Gemeinschaftspraxis in Bergisch-Gladbach  
seit 01.10.2005 Vorbereitungsassistentin Köln