

**Laserassistierte Bearbeitung der Wurzelspitze im Rahmen resektiver  
endodontischer Therapiemaßnahmen**

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

Natalia Ehrlichmann geb. Bronovytska  
aus Kirowograd/Ukraine

2010

Angefertigt mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

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

Tag der Mündlichen Prüfung: 10.02.2010

Aus der Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde  
des Zentrums für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde der Universität Bonn,

Direktor: Prof. Dr. Dr. S. Jepsen

Für meine Großmutter Zahnärztin Klara Ehrlichmann



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einleitung</b> .....	7
1.1 Einführung .....	7
1.2. Grundlagen der chirurgischen Wurzelkanaltherapie.....	12
1.3. Apikoektomie/Technische Ausführung bei konventionellem Vorgehen.....	20
1.3.1. Einführung .....	20
1.3.2. Abtrennen der Wurzelspitze / Technisches Vorgehen.....	20
1.3.3. Eine Literaturübersicht zu den verschiedenen Techniken im Rahmen der WSR....	21
1.4. Anwendung der Lasertechnologie im Rahmen der Apikoektomie .....	30
1.5. Ziel der Untersuchung.....	38
<b>2. Material und Methode</b> .....	40
2.1. Versuchssystematik.....	40
2.2. Auswahl des Untersuchungsmaterials.....	40
2.3. Wurzelkanalaufbereitung und Füllung.....	41
2.4. Randomisierte Aufteilung in drei Gruppen.....	42
2.5. Resektion.....	44
2.5.1. Konventionelle Resektion mit Hilfe eines diamantierten Instrumentes .....	44
2.5.2. Konventionelle Resektion unter adjuvanter Anwendung eines Nd:YAG-Lasers ...	44
2.5.3. Entfernung der Wurzelspitze mit einem Er:YAG-Laser .....	44
2.6. REM-Dokumentation der Schnittflächen.....	45
2.7. Fotografische Dokumentation.....	46
2.8. Penetrationstest .....	46
2.9. Vermessung der Farbpenetrationstiefe.....	49
2.10. Dokumentation der Befunde .....	50
2.11. Statistische Auswertung .....	50
<b>3. Ergebnisse</b> .....	51
3.1. Einführung .....	51
3.2. Morphologische Bewertung der Resektionsflächen vor Farbpenetration.....	51
3.3. Bewertung der Resektionsflächen nach Farbpenetration.....	54

3.4. Bewertung der Penetrationstiefe .....	55
3.5. Bewertung des Querschnitts 5mm von Resektionsfläche .....	56
3.6. Morphologische Struktur der Resektionsflächen im REM .....	57
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>63</b>
4.1. Zusammenfassung, Bewertung der experimentellen Ergebnisse.....	63
4.2. Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zum vorliegenden Literaturbefund.....	64
4.3. Klinische Relevanz der experimentellen Ergebnisse .....	65
4.4. Ausblick .....	66
<b>5. Zusammenfassung.....</b>	<b>67</b>
<b>6. Anhang .....</b>	<b>68</b>
<b>7. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>75</b>
<b>8. Danksagung .....</b>	<b>81</b>

# 1. Einleitung

## 1.1 Einführung

Die Wurzelspitzenresektion zählt zu den Standardtherapieverfahren der endodontischen Zahnerhaltung. Trotz der unbestrittenen Fortschritte in der konservativen Endodontie hat die Wurzelspitzenresektion nach wie vor ihren festen Stellenwert bei der Therapie der chronischen apikalen Parodontitis. Sie stellt niemals einen Ersatz für die in jedem Falle gewissenhaft und sorgfältig durchzuführende Wurzelkanalbehandlung dar; vielmehr ergänzt sie die konservative Therapie in sinnvoller Weise, wenn mit dieser Behandlungsmaßnahme allein der gewünschte Behandlungserfolg nicht zu erreichen ist (Horch, 1995).

Die ersten Berichte über eine Absetzung der Wurzelspitze gehen auf Farrar (1884) zurück. Es ist jedoch das unbestrittene Verdienst von Partsch (1896), die Methode wissenschaftlich begründet und ausgebaut zu haben. Seit dieser Zeit ist die Wurzelspitzenresektion eine allgemein anerkannte Behandlungsmaßnahme zur Ausheilung einer chronisch apikalen Parodontitis (Schwenzer und Grimm, 1990).

Für den Eingriff wurden die unterschiedlichsten Bezeichnungen gewählt, u.a. Wurzelspitzenamputation, chirurgische Wurzelfüllung, Apikoektomie. Obwohl der Begriff „Wurzelspitzenresektion“ sich eigentlich nur auf einen Teil des Eingriffes beschränkt, hat er sich allgemein durchgesetzt. Das Vorgehen umfasst neben dem Abtragen der Wurzelspitze mit der Regio ramificationis immer auch die Entfernung des periapikalen pathologischen Gewebes und häufig eine intraoperative Wurzelkanalbehandlung. Von einer exakten Wurzelkanalfüllung hängt in erster Linie der Erfolg des Eingriffes ab (Tetsch, 1986).

Das eigentliche Ziel der Wurzelspitzenresektion besteht darin, die Schwachpunkte der konventionellen Wurzelkanalbehandlung zu beseitigen und einen bakteriendichten Kanalabschluss am Resektionsquerschnitt zu erreichen, der eine Reinfektion verhindern soll.

In den letzten Jahrzehnten sind eine Reihe von unterschiedlichen Techniken entwickelt worden, um diese Ziele zu erreichen. Im Rahmen dieser Entwicklung werden auch die Möglichkeiten einer Laseranwendung untersucht.

Schon sehr bald nach der Erfindung des Lasers fanden erste Versuche statt, die Wirkung des Laserlichtes auch für die Zahnheilkunde zu nutzen (Goldman et al., 1964; Schulte, 1964; Schulte et al., 1965). Trotzdem konnten sich laserassistierte Behandlungsmethoden in der Zahnheilkunde bis heute nur in begrenztem Umfang durchsetzen, da eine Überlegenheit solcher Verfahren über konventionelle Methoden in vielen Fällen bisher nicht eindeutig demonstriert werden konnte.

Man bemüht sich aber systematisch darum, Laseranwendungen für die Bedürfnisse der Zahnheilkunde zu optimieren (Rechmann et al., 1992; Stabholz et al., 2003).

In den Tabellen 1 und 2 werden einige Beispiele für Laseranwendungen in der Zahnheilkunde sowie der genutzten Lasersysteme aufgelistet.

Unter anderem können Laser zu diagnostischen Zwecken in der Kariestherapie sowie in der Kiefer- und Gesichtschirurgie genutzt werden. Die Kieferchirurgie bietet im operativen Bereich zurzeit das breiteste Indikationsspektrum zur Anwendung von Lasern.

Es werden auch Versuche unternommen, Laserstrahlung auf vielfältige Weise zur Bearbeitung der Zahnhartgewebe zu nutzen (Tab.3). Zahlreiche Studien wurden in den Gebieten der präventiven Zahnheilkunde, der Endodontie, der Kariestherapie und der Parodontologie durchgeführt. Während in der Zahn-, Mund-, und Kieferchirurgie bereits klinische Erfahrungen vorliegen, handelt es sich hierbei jedoch in vielen Fällen um In-vitro-Untersuchungen (Frentzen und Koort, 1991).

Laseranwendungen bei der Wurzelspitzenresektion sind noch in Entwicklung begriffen (Panzer, 1993). Im Rahmen der Endochirurgie wurde auch die Möglichkeit der Laserapikoektomie beschrieben; wobei oft auch der „sterilisierende“ Effekt der Infrarotlaserstrahlung als besonders vorteilhafter Nebeneffekt angegeben wird (Frentzen und Koort, 1991).

Die wissenschaftliche Erprobung und Dokumentation von Laseranwendungen bei der WSR ist noch nicht ausreichend, um die klinische Relevanz endgültig beurteilen zu können.



<b>Beispiele für mögliche Anwendungen</b>	<b>Lasertyp</b>
Diagnostik - Laser-Doppler-Flussmessungen - Holographie - Spektroskopie (Kariesdiagnostik)	HeNe-, Dioden-Laser HeNe-Laser Dioden, Farbstoff-, Argonionen-Laser
Chirurgie - Schneiden - Abtragen - Koagulieren - Photodynamische Therapie	CO <sub>2</sub> -, Ho:YAG-, Er:YAG-Laser CO <sub>2</sub> -, Ho:YAG-Laser Nd: YAG-, Argonien-Laser Farbstoff-, Au-Dampf-Laser
Biostimulation, analgetische Effekte	HeNe-, Dioden-Laser
Laserschweißen	Nd:YAG-, CO <sub>2</sub> – Laser
Photopolymerisation Aushärtung von lichtpolymerisierenden Kunststoffen	Argonionen-, Farbstofflaser
Kariesprävention und –therapie - Kariesdiagnostik (Spektroskopie) - Schmelzhärtung - Fissurenversiegelung - Kariesentfernung - Präparation - Oberflächenkonditionierung - analgetische Effekte - Photopolymerisation (Aushärtung von lichtpolymerisierenden Kunststoffen)	Dioden-, Farbstoff-, Argonionen-Laser Nd:YAG-, CO <sub>2</sub> – Laser CO <sub>2</sub> –, Nd:YAG-, Excimer-Laser Er:YAG-, TEA-CO <sub>2</sub> -, Excimer-Laser Er:YAG-, TEA-CO <sub>2</sub> -, Excimer-Laser CO <sub>2</sub> –, Nd:YAG-, Er:YAG-, Excimer-Laser HeNe-, Dioden-Laser Argonionen-, Farbstofflaser
Endodontie - Vitalitätsprüfung (Laser-Doppler) - Caries profunda-Behandlung - Wurzelkanalsterilisation - Wurzelkanalaufbereitung - Versiegelung des apikalen Deltas - Thermoplastische Wurzelkanalfüllung	HeNe-, Dioden-Laser CO <sub>2</sub> –, Nd:YAG-Laser Nd:YAG-, CO <sub>2</sub> –, Ho:YAG-Laser Excimer-, Nd:YAG-Laser CO <sub>2</sub> –, Nd:YAG-Laser CO <sub>2</sub> –, Nd:YAG-Laser
Parodontologie - Gingivaexzision - Sterilisation der Wurzeloberfläche - Reinigung der Wurzeloberfläche - Kürettage des Taschengewebes - Biostimulation	CO <sub>2</sub> –, Nd:YAG-Laser Nd:YAG-, CO <sub>2</sub> – Laser Nd:YAG-, CO <sub>2</sub> –, Excimer-Laser CO <sub>2</sub> –, Nd:YAG-Laser HeNe-, Dioden-Laser

**Tab. 1:** Beispiele für Laseranwendungen in der Zahnheilkunde (Frentzen und Koort, 1991; Frentzen, 1994)

<b>Lasermedium</b>	<b>max.Leistung bzw. Energie</b>	<b>Pulslänge</b>	<b>Wellenlänge</b>	<b>Laserart</b>	<b>Transmissions- System</b>
<b>ArF-Excimer</b>	500 mJ/Puls	15 ns	193 nm	Gas	Gelenkarm
<b>KrF-Excimer</b>	1 J/Puls	15-30 ns	249 nm	Gas	opt. Faser
<b>XeCl-Excimer</b>	500 mJ/Puls	151-200 ns	308 nm	Gas	opt. Faser
<b>XeF-Excimer</b>	400 mJ/Puls	15 ns	351 nm	Gas	opt. Faser
<b>Argon-Ionen</b>	20 W	cw	488; 514,5 nm	Gas	opt. Faser
<b>Farbstoff</b>	3 W	cw	400-950 nm	Farbstoff	opt. Faser
<b>He-Ne</b>	50 mW	cw	633 nm	Gas	opt. Faser
<b>Rubin</b>	1,5 J/Puls	0,5 ms	694 nm	Festkörper	opt. Faser
<b>Alexandrit</b>	1 J/Puls	50 ns-100 $\mu$ s	752 nm, 377nm*	Festkörper	opt. Faser
<b>Nd:YLF</b>	1 mJ/Puls	14 ps**	1,053 $\mu$ m	Festkörper	opt. Faser
<b>Nd:YAG</b>	1-50 J/Puls	100 ns - 1 ms	1,064 $\mu$ m	Festkörper	opt. Faser
<b>Ho:YAG</b>	800 mJ/Puls	100 ns - 350 $\mu$ s	2,06 $\mu$ m	Festkörper	opt. Faser
<b>Er:YAG</b>	1 J/Puls	100 ns - 250 $\mu$ s	2,94 $\mu$ m	Festkörper	opt. Faser
<b>CO<sub>2</sub></b>	1000 J/Puls	100ns - 10 $\mu$ s	10,6 $\mu$ m	Gas	Gelenkarm
<b>CO<sub>2</sub></b>	100 kW	cw	10,6 $\mu$ m	Gas	Gelenkarm

**Tab. 2:** Zusammenstellung von Lasersystemen für zahnmedizinische Anwendungen(Gilde, 1994)

\* Frequenzverdopplung, \*\* Modenkopplung

	<b>ArF 193 nm</b>	<b>XeCl 308 nm</b>	<b>320 nm- 520 nm</b>	<b>Nd:YAG 1064 nm</b>	<b>Er:YAG 2,94 µm</b>	<b>CO<sub>2</sub> 9,6 µm</b>	<b>CO<sub>2</sub> 10,6 µm</b>
<b>Abtragung von</b>							
- Schmelz	+	-	-	-	++	++	+
- Dentin	+	+	+	+	++	++	+
- Karies, selektiv	-*	+	++	-	-	-	-
<b>Transmission durch optische Fasern</b>	-	+	++	+	0	-	-
<b>keine thermische Schädigung</b>	++	+	+	+	+	0	-
<b>Wasserkühlung ohne Energieabsorption</b>	-	+	++	++	-	-	-
<b>Betriebskosten</b>	-	-	+	+	+	+	++

**Tab. 3:** Vergleich verschiedener Laser für die Zahnhartsubstanzabtragung  
(Rechmann et al., 1992)

++ sehr gut/(niedrige Betriebskosten)

+ gut/(durchschnittliche Betriebskosten)

0 eingeschränkt

- nicht möglich/(hohe Betriebskosten)

\* ohne Rückkopplungssystem

## 1.2. Grundlagen der chirurgischen Wurzelkanaltherapie

Die genauen pathologischen Abläufe, die zu einer chronischen apikalen Ostitis mit Granulombildung führen, sind z.Z. noch hypothetisch. Es liegen Untersuchungen vor, welche eine Erklärung des multifaktoriellen Geschehens bieten (Nair und Schröder, 1983). Der primäre Infektionsweg ist die bakterielle Besiedelung des Wurzelkanals. Wegen der lokalen Verhältnisse kann sich eine selektiv anaerobe Mischflora etablieren. Die Produkte dieser Mischflora haben unterschiedliche biologische Eigenschaften, wie Antigenität, mitogene Aktivität, Chemotaxie, enzymatische Histolyse, Endo- und Exotoxinbildungen. Innerhalb des Wurzelkanals sind diese Bakterien durch körpereigene Abwehrmechanismen nicht eliminierbar, folglich zeigt die Läsion auch keine Heilungstendenz. Allerdings kann die Körperabwehr die Ausbreitung der Bakterien ins periapikale Gewebe verhindern. Aus diesem Grund werden im periapikalen Granulom auch höchst selten Bakterien nachgewiesen.

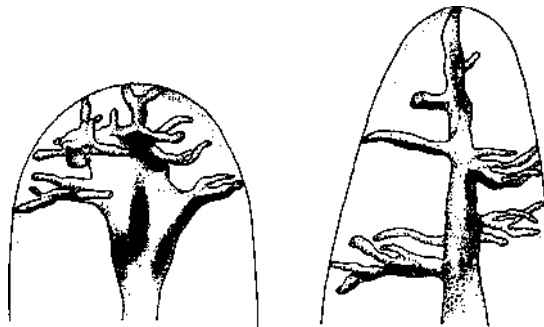
Die apikale Entzündung wird durch bakterielle Produkte hervorgerufen. Dies hat Gewebeeinschmelzung und Aktivierung von Osteoklasten zur Folge. Dadurch entsteht die apikale Osteolyse, welche der Granulombildung vorausgeht.

Die Entzündung kann je nach Abwehrkapazität als akute Infektion in Erscheinung treten – mit Durchbruch nach außen und Abszessbildung oder Knochenmarksentzündung (Osteomyelitis). Bei chronischer Entwicklung wird ein Ruhezustand erreicht mit Abkapselung der entzündlichen Läsion (Granulom); die Ausbreitung von Bakterien in den Periapex wird unterbunden. Dieser Zustand kann über längere Zeit bestehen bleiben. Das Gleichgewicht zwischen bakterieller Flora im Apex und der Abwehrreaktion kann durch Veränderung der immunologischen Abwehr jederzeit umkippen und so wieder zu einem akuten Entzündungszustand werden. Diese Vorstellung spielt auch bei der Beurteilung potenzieller oder manifester Infektionsherde eine Rolle (Sailer und Pajarola, 1996).

Die chronische periapikale Ostitis ist wohl die Erkrankung, die am häufigsten durch eine Wurzelspitzenresektion behandelt wird. Wenn auch konservative endodontische Methoden grundsätzlich apikale Entzündungen zur Abheilung bringen können, so bestehen doch häufiger anatomische und technische Probleme, die Ursachen des apikalen Infektes zu eliminieren (Lin et al., 1991). Entsprechend den Vorstellungen über die Pathogenese einer apikalen Ostitis ist der bakteriendichte Verschluss des Wurzelkanals die wesentliche Voraussetzung für einen Erfolg der Resektion.

Auch parodontale Tascheninfekte können als kombinierte endodontisch-parodontal bedingte Entzündungen zur apikalen Ostitis führen. In solchen Fällen soll primär der endodontische Faktor der Infektion eliminiert werden (König et al., 1994).

Durch die Wurzelspitzenresektion soll eine apikale Parodontitis unter Erhaltung des Zahnes beseitigt werden. Dabei wird die Wurzelspitze nach operativer Freilegung gekürzt, das entzündlich veränderte Gewebe in der Umgebung entfernt und der Wurzelkanal abgefüllt (Krüger, 1993).



**Abb. 1:** Beispiele für das apikale Verzweigungssystem des Wurzelkanals oberer Frontzähne mit Ramifikationen und Seitenkanälchen (Meyer, 1959).

Die Untersuchungen über Makro- und Mikromorphologie der Wurzelkanäle von Meyer und Schele (1954) und Meyer (1960) erbringen den Nachweis für die Grenzen endodontischer Behandlung (Kirschner, 1996).

Das Behandlungsprinzip der Wurzelspitzenresektion beruht auf der Erkenntnis, dass sich im apikalen Drittel der Wurzel, der Regio ramificationis, Seitenäste des Wurzelkanals befinden, die auch bei scheinbar exakt durchgeführter Wurzelfüllung einen chronisch entzündlichen periapikalen Prozess auslösen oder unterhalten können (Abb. 1). Nach Entfernung der Wurzelspitze wird im Idealfall ein bakteriedichter Kanalabschluss erreicht und damit eine Reinfektion verhindert. Die Wurzelspitzenresektion stellt somit keinen Ersatz für eine exakte Wurzelkanalbehandlung dar (Schwenzer und Grimm, 1990).

Es können nur an den Zähnen ohne wesentliches Risiko Wurzelspitzenresektionen durchgeführt werden, deren apikale Region sich übersichtlich darstellen und abtrennen lässt. Die Voraussetzungen für diesen Eingriff sind bei allen Schneidezähnen, Eckzähnen und Prämolaren im Ober- und Unterkiefer gegeben. Hierzu muss jedoch bemerkt werden, dass die Operation an den unteren Prämolaren wegen der Nachbarschaft zum Foramen mentale und am zweiwurzigen 1. oberen Prämolaren größere klinische Erfahrungen voraussetzt. Wegen der Erfolgsunsicherheit

endodontischer Behandlungsmaßnahmen von Molaren war in der Vergangenheit die Indikation zur Wurzelspitzenresektion an diesen Zähnen begrenzt. Trotz der Gefahr der Läsion des N. alveolaris inferior im Unterkiefer durch die vielfach unmittelbare Nachbarschaft zu den Wurzelspitzen hat das Verfahren auch im Seitenzahnggebiet an Bedeutung gewonnen. Entscheidend wirkten sich hierbei verbesserte Techniken zur übersichtlicheren Darstellung der periapikalen Region aus. Im Oberkiefer konnte das Vorgehen durch die planbare Schaffung eines transantralen Zugangsweges oder den indikationsgerechten Einsatz einer zusätzlichen palatinalen Schnittführung standardisiert werden.

Die Behandlung des erkrankten Parodontium apicale muss in einen wohlüberlegten Gesamttherapieplan einbezogen werden. Bei dem üblichen Untersuchungsgang einschließlich der Erhebung des Parodontalbefundes sind auch die Belastungsverhältnisse (Okklusion, Artikulation, Parafunktionen, Habits) gebührend zu berücksichtigen. Der einzelne Zahn darf nicht isoliert als Behandlungsobjekt betrachtet werden, sondern stets nur im Zusammenhang mit dem gesamten Gebisszustand. Es versteht sich von selbst, dass hierbei die Röntgenaufnahme ein unentbehrliches Hilfsmittel ist. Pulpatote Nachbarzähne des für eine Resektion vorgesehenen Zahnes verdienen eine besondere Beachtung. Sie müssen unter Umständen in die Operationsplanung einbezogen werden.

Neben der Erhaltbarkeit des für den Eingriff vorgesehenen Zahnes ist auch seine Erhaltungswürdigkeit zu prüfen. Letztlich ist ein Zahn nur dann als erhaltungswürdig anzusehen, wenn auch der Patient die Erhaltung dieses Zahnes zu würdigen weiß.

Resektive Intervention ist angezeigt:

- Bei Fortbestehen oder Rezidiv von Parodontitis apicalis; trotz röntgenologisch korrekt erscheinender Wurzelkanalfüllung lässt der apikale Prozess nach mehrere Monaten noch keine Rückbildungstendenz erkennen oder er breitet sich sogar noch aus.

In diesen Fällen darf angenommen werden, dass die Ursache des Misserfolges in Seitenkanälen am Apex zu suchen ist. Diese Feststellung kann jedoch sehr problematisch sein. Einmal kann im Röntgenbild eine vollständige Wurzelfüllung vorgetäuscht werden, zum anderen erlaubt der Röntgenbefund nur bedingt Rückschlüsse über das Ausmaß und den Charakter des periapikalen Prozesses. Vor allem bei den heute noch vielfach üblichen Halbwinkeltechniken sind vergleichende Bewertungen von Röntgenaufnahmen nur bedingt möglich.

- Nach einer unvollständigen Wurzelkanalfüllung, wenn sich diese nicht entfernen oder verbessern lässt.  
Krümmungen der Wurzelspitze oder partielle Undurchgängigkeiten des Wurzelkanals können eine ordnungsgemäße Abfüllung verhindern. Nicht entfernbare, alte unvollständige Wurzelkanalfüllungen oder nicht entfernbare Stift- bzw. Schraubenverankerungen versperren den Zugang zum weiter apikalwärts gelegenen, revisionsbedürftigen Abschnitt des Wurzelkanals. Aber auch nach prothetischen Versorgungen mit Stift- oder Mantelkronen stellt die Resektion mitunter die einzige wirkungsvolle Maßnahme zur Erhaltung des Zahnes dar. Bei unvollständiger Wurzelkanalfüllung ist im Rahmen der Resektion eine retrograde Füllung zur hermetischen Abdichtung des Kanals u.U. möglich.
- Nach einer Wurzelfüllung mit übergepresstem Wurzelfüllmaterial.  
Eine Ausheilung der chronisch apikalen Parodontitis ist danach nicht zu erwarten. Es kann bereits wenige Stunden nach der Wurzelfüllung zur Exazerbation kommen, so dass die Ausbildung eines submukösen Abszesses nur durch eine sofortige Wurzelspitzenresektion verhindert werden kann.
- Bei konservativ nicht durchführbarer Wurzelkanalfüllung.  
Eine anhaltende Exsudation und wiederholte Blutungen verhindern die Trockenlegung des Kanals und damit eine Wurzelkanalfüllung.  
Weiterhin können unvorhergesehene Komplikationen die konservative Versorgung des Zahnes verhindern. Hierzu gehören Frakturen von Instrumententeilen, die sich von der Krone her nicht entfernen lassen, sowie Perforationen der Wurzel in der Region des Apex („fausse route“, „via falsa“). Durch Kürzung der Wurzelspitze bis zur Stelle, wo der falsche Weg vom richtigen abzweigt, kann noch ein günstiges Resultat erzielt werden. Abgebrochene Instrumente, die das Lumen des Kanals verlegen, lassen sich manchmal nach Resektion der Wurzelspitze entfernen.
- Bei Vorhandensein entzündlicher Zysten oder Gewebsneubildungen mit autonomem Wachstum im Parodontium periapicale.
- Bei Zahnfrakturen im apikalen Drittel mit Diastase der Fragmente.  
Bei intraalveolären Frakturen mit dem Bruchlinienverlauf im apikalen Drittel ist die Entfernung der Wurzelspitze dann angezeigt, wenn die Pulpa mit Sicherheit nekrotisch ist. Dies ist in der Regel der Fall, wenn eine breite Diastase besteht. Bei linearem Bruchspalt ist das Gefäß-Nerven-Bündel selten irreversibel geschädigt. Die sofortige Entfernung ist

daher nicht angezeigt, wenn Aussicht besteht, dass es über Pulpa und Parodont zur Verbindung der Fragmente kommt.

- Bei chronischer apikaler Parodontitis bei den Zähnen mit noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum, in denen die konservative Therapie nicht zum Erfolg geführt hat.

Kontraindikationen der resektiven Interventionen:

- Eine akute Exazerbation einer chronischen apikalen Parodontitis.
- Vernachlässigter Gebisszustand (multiple Karies, zerstörte Kronenhartsubstanzen, Parodontitis marginalis profunda).
- Schwere Erkrankungen mit lokalen, humoralen und zellständigen Abwehrschwächen, z.B. auch kurz vor oder längerfristig nach Radiatio und /oder Zytostase.
- Strenge ärztliche Indikation zum Fokusausschluss, z.B. bei Endoprothesenträgern (Allo- und Homoplastik), Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises etc.
- Systemerkrankungen mit einhergehenden Vasopathien.
- Gerinnungsstörungen, die therapeutisch nur schwer und aufwendig beeinflussbar sind.
- Kurzwurzelige Zähne, ggf. auch Vorliegen von Wurzelanomalien.

### *Wurzelkanalfüllung*

Die ordnungsgemäße Wurzelkanalaufbereitung mit standardisierten Reamern und Feilen sowie die anschließende Füllung sind die wichtigsten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Wurzelspitzenresektion. Von der Qualität dieser Füllung hängt das Ergebnis des Eingriffs wesentlich ab. Das Material muss hermetisch abdichten, darf nicht resorbiert werden, wandständig und gewebefreundlich sein. Die Bioverträglichkeit ist schon deshalb von besonderer Bedeutung, weil das Wurzelfüllmaterial nach der Applikation mit der Gewebeflüssigkeiten in Kontakt kommt und im Verlauf der weiteren Wundheilung die Anlagerung von vitalem Bindegewebe am Resektionsquerschnitt nicht negativ beeinflussen darf.

Die Tatsache, dass in der Praxis sehr verschiedenartige Wurzelfüllmaterialien im Rahmen der Wurzelspitzenresektion verwendet werden, macht deutlich, dass ein allen Anforderungen gerecht werdendes Füllungsmaterial bis heute nicht zur Verfügung steht. Die früher verwendeten Kunststoffe (z.B. Diaket), aber auch Füllungen mit Phosphatzement und Silber- bzw. Kunstharzstiften sind nicht biokompatibel und haben sich als nicht hermetisch dicht erwiesen. Die Forderungen nach Biokompatibilität erfüllen nach dem Erkenntnisstand nur Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik, Zirkonoxid-Keramik, Titan und bedingt Guttapercha. Die Gewebeverträglichkeit auch



passgenauer Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik-, Titan- oder Guttaperchastifte erfährt jedoch durch die Einsatznotwendigkeit eines Sealers (z.B. Polyketonpräparat Diaket, Epoxidharz AH 26) Einschränkungen (Schwenzer und Grimm, 1990). Diese Sealer weisen zwar gute physikalische Eigenschaften auf, sind aber allesamt geringfügig resorbierbar und zumindest anfänglich geringgradig geweberreizend. Deshalb sollte ihr Anteil bei der prä- und intraoperativen Wurzelkanalfüllung auf ein Mindestmaß beschränkt werden (Horch, 1995).

Die Frage, ob eine Wurzelkanalfüllung vor oder während der Operation durchgeführt werden sollte, kann nicht eindeutig beantwortet werden. Nach Untersuchungen von Khoury et al. (1987) und Lindemann et al. (1987) sind die Unterschiede nicht signifikant. Der Vorteil der präoperativen Wurzelkanalfüllung liegt in der kürzeren Operationszeit mit entsprechend geringerer Traumatisierung und Kontamination der Wunde mit Mikroorganismen und Füllmaterialien, während die Vorteile der intraoperativen Wurzelkanalfüllung im Verzicht auf Röntgenmessaufnahmen, in der visuellen Kontrollmöglichkeit mit Ausweitung zur transdentalen Fixation und in der oft möglichen Applikation von geteilten Wurzelfüllungen mit der Erleichterung des späteren Stiftaufbaues gesehen werden (Tetsch, 1986).

Die *präoperative Wurzelfüllung* wird unmittelbar vor der Operation durchgeführt. Alle in der Zahnerhaltung gebräuchlichen Materialien sind geeignet. Nach Resektion der Wurzelspitze wird der Randschluss der Wurzelfüllung mit einer Sonde kontrolliert. Lässt sich ein Spalt tasten, so ist zusätzlich eine retrograde Füllung erforderlich.

Die *intraoperative Wurzelfüllung* wird in den Operationsgang einbezogen. Der Wurzelkanal muss vorher trepaniert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass die Öffnung im Kronenbereich so liegt, dass man die Nadel in gerader Richtung in den Kanal einführen kann.

Die intraoperative Wurzelfüllung erfolgt nach präoperativer ISO-normgerechter Aufbereitung und Resektion der Wurzelspitze (s. Abschnitt 1.3.2.).

Eine *retrograde Wurzelkanalfüllung* soll im Sinne einer Ergänzungsfüllung Mängel des Kanalabschlusses am resezierten Wurzelstumpf beheben und auf diese Weise eine Reinfektion aus dem Wurzelkanal verhüten. Sie ersetzt niemals die orthograde Wurzelkanalfüllung, die prinzipiell voranzugehen hat, wo immer sie möglich ist. Als ausschließliche Behandlungsmaßnahme zur Versorgung des infizierten Wurzelkanals ist der retrograde Verschluss indiskutabel.

Während die retrograde Wurzelkanalfüllung früher zum Teil routinemäßig angewendet wurde, steht heute fest, dass sie als ein schlechter Kompromiss angesehen werden muss. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn eine alte, unvollständige und womöglich weit unterhalb des

apikalen Drittels endende Wurzelkanalfüllung nicht mehr entfernt und von orthograd her erneuert werden kann. Zwischen dem retrograden Verschluss und der alten Wurzelkanalfüllung bleiben dann mehr oder weniger große Kanalabschnitte mit darin befindlichen infizierten und nekrotischen Gewebe unversorgt, was prognostisch ungünstig zu bewerten ist. Aus diesem Grund sollte bei Zähnen, die mit einer Stiftkrone oder einem Stiftaufbau versorgt sind, stets versucht werden, diese Restaurationen zu entfernen, um eine neue ordnungsgemäße orthograde Aufbereitung und Abfüllung des Wurzelkanals durchzuführen.

### *Beurteilung des Heilungsergebnisses*

Eine Heilung, wie sie die pathologische Anatomie im Sinne der Restitutio ad integrum definiert, gibt es weder nach der konservativen noch nach der endodontisch-chirurgischen Therapie der chronischen apikalen Parodontitis. Das Behandlungsziel der Wurzelspitzenresektion besteht darin, im Bereich des Wurzelstumpfes einen biologisch tragbaren, beschwerdefreien und funktionstüchtigen Zustand zu erreichen.

Nach komplikationsloser Abheilung der Operationswunde, womit in der Regel gerechnet werden kann, lässt sich der Erfolg einer Wurzelspitzenresektion nur nach klinischen Gesichtspunkten beurteilen. Wenn die Symptome einer periapikalen Entzündung (frühzeitige Lockerung, stärkere Perkussionsempfindlichkeit, schmerzhaftes Schwellen, Fistel) fehlen, gilt die Operation als erfolgreich, auch wenn das Röntgenbild noch eine apikale Restaufhellung erkennen lässt. Trotzdem kommt dem Röntgenbild eine besondere Bedeutung bei der Verlaufskontrolle zu.

- Röntgenologischer Verlauf im Idealfall:

Der unmittelbar nach der Operation aufgenommene Zahnfilm zeigt die Knochenhöhle als scharf begrenzte apikale Aufhellung. Der im Bereich der Aufhellung erkennbare Wurzelstumpf überragt die Wurzelfüllung bei den nicht über den Wurzelquerschnitt hinausgehenden Füllungen etwas, weil sich der palatinale bzw. linguale Rand des Wurzelquerschnitts über das Ende des Wurzelkanals projiziert, was den Anschein einer unvollständigen Wurzelfüllung erweckt. Bei der Titan- und Aluminiumoxidstift- bzw. Zirkonoxidstiftfüllung überragt das Stiftende gewöhnlich den Wurzelquerschnitt.

Zwei bis drei Monate nach der Operation finden sich im Röntgenbild oft schon deutliche Anzeichen von Knochenbildung.

Nach vier bis fünf Monaten oder auch später kann eine vollständige Knochenregeneration mit Ausbildung eines neuen Parodontalspalts erkennbar sein. Die Amputationsfläche bleibt nicht in der ursprünglichen Form erhalten, sie wird unter günstigen Verhältnissen

kuppelförmig umgebaut, wobei die Ränder durch Resorption abgerundet werden. Auf die bei der Operation freigelegte Dentinfläche wird Zementsubstanz abgelagert.

- Röntgenologischer Verlauf ohne komplette Knochenbildung:

Der Erfolg einer Wurzelspitzenresektion kann nur nach klinischen Gesichtspunkten beurteilt werden. Als Erfolg muss die klinische Beschwerdefreiheit in Verbindung mit einer röntgenologischen Verkleinerung der postoperativen periapikalen Aufhellung angesehen werden. Es bleibt allerdings ungewiss, ob der Entzündungsprozess vollständig abgeklungen ist oder ob noch latente entzündliche Infiltrate vorhanden sind.

Unter den als Erfolg verbuchten Fällen befinden sich mit Sicherheit auch solche Zähne, die im periapikalen Gewebe noch chronisch entzündliche Prozesse aufweisen. Da diese Fälle bei klinischer Symptommfreiheit nicht zu erfassen sind, können sie von echten Erfolgen nicht abgegrenzt werden. Der Röntgenbefund hilft in dem Fall nicht weiter, weil vorhandene Restaufhellungen sowohl bindegewebige Narben als auch entzündliche Infiltrate sein können und eine röntgenologisch nachweisbare vollständige Knochenregeneration eine entzündliche Infiltration nicht ausschließen kann.

Periapikale Entzündungsprozesse nach Wurzelspitzenresektion ohne klinische Symptome, die als Erfolge verbucht werden, können jederzeit akut oder subakut exazerbieren und sich so als Misserfolg erweisen. Ein solcher Zahn sollte dann entfernt werden; nur in besonderen Fällen wird man sich zu einer Nachresektion entschließen.

Es besteht heute Übereinstimmung darüber, dass die röntgenologische Untersuchung erst ein Jahr nach dem Eingriff eine verlässliche Aussage über das Ergebnis der Wurzelspitzenresektion erlaubt.

### **1.3. Apikoektomie/Technische Ausführung bei konventionellem Vorgehen**

#### **1.3.1. Einführung**

Die Lokalanästhesie ist die Methode der Wahl zur Erzielung einer völligen Schmerzfreiheit. Die Schnittführung muss prinzipiell die Verhältnisse des Einzelfalles berücksichtigen. In der Literatur werden hierzu zahlreiche Modifikationen angegeben. Entscheidend ist, dass der zu bildende Lappen den Grundregeln der Chirurgie und den Erfordernissen des Eingriffes gerecht wird. Er muss gut ernährt sein, eine Übersicht über das Operationsgebiet gewährleisten und, wenn erforderlich, verlängert werden können. Die spätere Wundnaht darf nicht über der Resektionshöhle liegen, sondern muss auf knöcherner Unterlage ruhen. Die Funktion der Lippe darf durch die einsetzenden Narbenzüge nicht beeinträchtigt werden.

Bestehen keine sichtbaren Veränderungen der vestibulären Knochenwand, so kann mitunter schon das kräftige Abtasten der Knochenwand mit einer spitzen Sonde beim Aufsuchen der Wurzelspitze weiterhelfen. Meist vermittelt die über vielen Zähnen, besonders im Oberkiefer, vorhandene Vorwölbung der Knochenoberfläche (Jugum alveolare) Hinweise auf die Verlaufsrichtung und oft auch das Ende der Wurzel. Fehlen zusätzliche Orientierungsmöglichkeiten, so muss man die Lage der Wurzelspitze anhand der vorhandenen Nadelaufnahme bestimmen. Das Abtragen der über der Wurzelspitze gelegenen Knochendecke wird mit einem innengekühlten großen Rosenbohrer bzw. einer kleinen Kugelfräse vorgenommen. Die Größe des Eingangs sollte der größten Ausdehnung des Knochenprozesses entsprechen. Von diesem Grundsatz darf lediglich in Ausnahmefällen im Bereich der unteren Prämolaren zur Schonung des N. mentalis abgewichen werden. Nach einer Empfehlung von Wassmund wird nicht primär die Wurzelspitze aufgesucht, sondern die beabsichtigte Resektionsstelle freipräpariert und in dieser Region die Wurzel durchtrennt. Die Luxation des apikalen Fragments erfolgt dann mit graziilen Instrumenten unter Schonung des Nervs.

#### **1.3.2. Abtrennen der Wurzelspitze / Technisches Vorgehen**

Die Wurzelspitze selbst kann mit einem Rosen- bzw. Fissurenbohrer oder mit einer runden bzw. birnenförmigen Fräse abgetragen werden. Dies erfolgt möglichst senkrecht zum Wurzelquerschnitt, lässt sich aber aus technischen Gründen nicht immer so durchführen. Eine leicht tangentielle Resektion ermöglicht in schwierigen Fällen doch den nötigen Zugang zum Verschluss. Eine zu starke Abschrägung ist jedoch ungünstig, weil damit der Querschnitt vergrößert und somit die Zahl der angeschnittenen, möglicherweise infizierten Dentinkanälchen

unnötig erhöht wird. Eine übertriebene Abschrägung hat sogar die gleichen Nachteile wie belassene Anteile der Wurzelspitze. Um Überhitzung und damit die thermische Schädigung des Knochens zu vermeiden, sollte die Umdrehungszahl der rotierenden Instrumente 2000U/min nicht überschreiten (Horch, 1995). Außerdem muss das Operationsfeld während des Fräsens permanent mit steriler physiologischen Kochsalzlösung gekühlt werden. Die Resektion sollte im Allgemeinen in dem Ausmaß erfolgen, wie sie durch den chronisch entzündlichen Prozess entblößt ist. Die Wurzelspitze wird um ca. 2 bis 3mm reseziert. Dadurch werden die meisten Ramifikationen erfasst und die Voraussetzungen für eine Ausheilung des Prozesses geschaffen. Das Ausmaß der Resektion wird weitgehend von der Größe des periapikalen Prozesses bestimmt. Eine zu stark gekürzte Wurzel gefährdet die Funktion des Zahnes. Eine zu geringe Resektion birgt die Gefahr eines Rezidives in sich. Reichen Granulationen teilweise über die Resektionsstelle hinaus, ist es nicht erforderlich, die Wurzelspitze weiter zu kürzen. Die Ränder des Wurzelquerschnitts werden mit einem kleineren Rosenbohrer allseitig sorgfältig abgerundet. Wird eine intraoperative Wurzelfüllung durchgeführt, wird das noch im Granulom vorhandene Gewebe möglichst erst nach Vollendung der Wurzelfüllung entfernt, damit die Trockenlegung des Wurzelkanals nicht durch die dadurch provozierte Blutung behindert wird.

Der periapikale Prozess ist zwar in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle entzündlicher Natur, eine sichere Diagnose ist jedoch allein durch die pathohistologische Untersuchung möglich. Das durch Exkochleation gewonnene Gewebe sollte daher der feingeweblichen Untersuchung zugeführt werden (Seiler und Pajarola, 1996).

### **1.3.3. Eine Literaturübersicht zu den verschiedenen Techniken im Rahmen der WSR**

Zu den verschiedenen WSR-Techniken liegt eine große Anzahl von Studien vor. Allein schon in der Frage, wo oder wie hoch der Resektionsschnitt durchgeführt wird, stößt man auf die unterschiedlichen Meinungen in der Literatur. Nach Angaben von Seiler und Pajarola (1996) wird die Wurzelspitze um ca. 2mm reseziert. Nach Meyer (1963) sollten jedoch im Durchschnitt 3mm von der Wurzelspitze abgetragen werden. Krüger (1993) empfiehlt ebenfalls die Wurzelspitze um 3mm zu kürzen; die Wurzellänge sollte danach etwa noch drei Viertel der ursprünglichen Länge betragen. Nach Kirschner (1996) soll die Länge des Resektats etwa 1/5 der Gesamtwurzellänge nicht überschreiten.

Die retrograden Kavitäten werden traditionell mittels kleiner runder oder umgekehrt kegelförmiger Bohrer in einem kleinen Winkelstück präpariert. Seit dem schall- bzw. ultraschallbetriebene mikrochirurgische Retrospitzen in den frühen neunziger Jahren auf dem

Markt erschienen, hat sich diese neue Technik der retrograden Wurzelkanalinstrumentation als wesentliches Adjuvans etabliert (von Arx und Walker, 2000). Zahlreiche experimentelle Studien, die die retrograde Präparation mittels mikrochirurgischer Spitzen mit der Präparation mittels Bohrer verglichen, haben aber auch andere Vorteile dieser neuen Technik gezeigt, so wie tiefere Kavitäten, die dem Wurzelkanalverlauf genauer folgen. Durch die mehr zentrierte retrograde Präparation wird auch das Risiko der seitlichen Perforation gemindert. Außerdem wird die Abschrägung der Resektionsfläche durch die Geometrie des Retrospitzen-Designs überflüssig; dadurch verringert sich die Anzahl der exponierten Dentintubuli. Umstritten bei dieser Präparationstechnik ist die Bildung von Sprüngen bzw. Mikrorissen und deren Auswirkung hinsichtlich der Heilung und des Behandlungserfolges.

Die Anwendung von Ultraschall ermöglicht eine Behandlung der schwer durchgängigen Wurzelkanäle, ohne dass viel Wurzelhartgewebe geopfert werden muss. In einer klinischen Studie von Marti-Bowen et al. (2005) wurden 71 Zähne, die insgesamt 100 Wurzelkanäle hatten, mit Ultraschall wurzelbehandelt und mit retrograden Amalgamfüllungen versorgt. Der Verlauf und der kurzfristige Erfolg dieser Behandlung wurden im Bezug auf die Größe der Läsion, die Höhe der Resektion und die Größe der retrograden Kavität ausgewertet. Die Patienten wurden ein Jahr lang beobachtet mit Nachbehandlungskontrollen nach 6 und 12 Monaten. Nach 6 Monaten betrug der klinische und radiologische Erfolg 92% bzw. 58%. Ein Jahr nach dem chirurgischen Eingriff waren die entsprechenden Prozentsätze 95% bzw. 80%. Der Gesamterfolg nach 6 Monaten betrug 63% und nach 12 Monaten 84,2%. Es wurde keine statistisch bedeutende Relation zwischen dem Behandlungserfolg und der Größe der periapikalen Läsion, der Höhe der Resektion oder der Größe der retrograden Füllung festgestellt. Es ist also eine hohe Erfolgsrate in einem Zeitraum von 12 Monaten nach der WSR unter Verwendung vom Ultraschall und vom Amalgam als retrogrades Füllungsmaterial zu erwarten.

Mittels Schall- bzw. Ultraschall wird eine präzise Präparation von retrograden Kavitäten ermöglicht. Es kann jedoch auf Grund der Vibration zur Mikrorissbildung bzw. marginalen Spaltbildung beim Einsatz solcher Instrumente kommen. Das Ziel einer Studie von Gondim et al. (2002) war, die Effekte auf der Resektionsfläche nach der Präparation von retrograden Kavitäten mit Hilfe von Schall- (sonic) und Ultraschallspitzen zu untersuchen. 80 menschliche Frontzähne wurden je nach Größe in vier Gruppen aufgeteilt und folgendermaßen behandelt: Behandlung 1: WSR und retrograde Präparation mit KIS-Ultraschallretrospitze; Behandlung 2: WSR und retrograde Präparation mit nicht diamantierter Satelec S12/90-Ultraschallretrospitze; Behandlung 3: WSR und retrograde Präparation mit diamantierter Retrospitze an einem Schall-Gerät (Sonic);

Behandlung 4: WSR und Präparation mit diamantierter Satelec S12/90D-Ultraschallretrospitze. Um die Topographie der Resektionsflächen zu untersuchen, wurden von den Präparaten Polyvinylsiloxan-Abdrücke genommen und Epoxi(d)harz-Replicas hergestellt. Von jedem Präparat wurden vor und nach der Behandlung REM-Bilder gemacht. Diese Bilder wurden unter Verwendung eines Bildbearbeitungs- und -analyseprogramms ausgewertet. Es wurden Formqualität, das Vorhandensein von Rissen und marginalen Spalten analysiert. Die Untersuchung hat keine signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen anatomischen Zahngruppen, Behandlungsarten oder Zahngrößen gezeigt ( $p > 0,05$ ). Weil während der Behandlung 3 mehr Zahnschubstanz entfernt wurde, als bei den anderen Behandlungen, ist diese Behandlungsart bei den kleineren Zähnen nicht empfehlenswert.

Das Ziel einer in-vivo-Studie von Morgan und Marshall (1999) war, die Resektionsflächen nach der Wurzelspitzenresektion und nach der Präparation der retrograden Kavitäten mittels Ultraschall bei den Patienten zu untersuchen, die sich endodontisch-chirurgischem Eingriff unterzogen. Der Eingriff wurde an 25 Wurzeln bei 20 Patienten vorgenommen. Es wurden in vivo Polyvinylsiloxan-Abdrücke von den Resektionsflächen nach der WSR und dann erneut nach der retrograden Präparation genommen. Anschließend wurden von diesen Abdrücken Epoxi(d)harz-Replicas hergestellt und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Es wurden keine Risse nach der WSR nachgewiesen. Ein unvollständiger Riss im Wurzelkanalbereich wurde nach der retrograden Präparation festgestellt.

In einer Studie von Rainwater et al. (2000) wurden die Auswirkungen nach der Präparation von retrograden Kavitäten mittels konventioneller Ultraschallspitzen (CUS), diamantierter Ultraschallspitzen (DUS) und schneller Hartmetallbohrer (HSB) im Bezug auf Mikrorissbildung und Farbpenetration untersucht. Die Wurzelkanäle von 120 Schneidezähnen wurden aufbereitet und abgefüllt. Anschließend wurden die Zähne 3 mm vom Apex reseziert. 60 Zähne wurden auf das Vorhandensein von Mikrorissen vor und nach der Präparation mit CUS, DUS und HSB untersucht. Es wurden drei Arten von Mikrorissen beobachtet: intrakanale, extrakanale und kommunizierende. Vier von fünf Rissen, die nach der WSR (vor retrograder Präparation) festgestellt wurden, waren von extrakanaler bzw. intrakanaler Art. Nach retrograder Präparation waren 19 der 41 neu entstandenen Mikrorisse von kommunizierender Art. Es wurden keine signifikante Unterschiede zwischen den mit CUS, DUS oder HSB präparierten Zähnen bezüglich der Zahl und der Art der Sprünge festgestellt. Von den restlichen 60 resezierten Zähnen wurden 25 mit DUS, 25 mit CUS präpariert und 10 zur Kontrolle verwendet. Alle mit DUS und CUS präparierten Kavitäten wurden mit Super-EBA gefüllt. Die Farbpenetration wurde gemessen,

nachdem die Präparate für 5 Tage in die Pelikan-Tinte eingetaucht wurden. Es wurden dabei keine signifikanten Unterschiede zwischen DUS- und CUS-Präparation beobachtet.

Das Ziel einer Studie von Layton et al. (1996) war es, die Resektionsflächen der extrahierten menschlichen Zähne im Bezug auf Rissbildung unter Verwendung von den mit niedriger bzw. hoher Frequenz angetriebenen Ultraschallspitzen bei der retrograden Präparation zu bewerten. Dreißig bilateral zusammengehörende Paare einwurzeliger menschlicher Zähne wurden mittels langsamer Diamantsäge reseziert und auf Vorhandensein von Rissen im Bereich des Resektionsstumpfes untersucht. Die zusammengehörenden Zahnpaare wurden in zwei experimentelle Gruppen so eingeteilt, dass zwei Zähne eines Paares unterschiedlichen Gruppen zugeteilt wurden. In der Gruppe 1 wurden die retrograden Kavitäten mit einer Ultraschallspitze auf der niedrigsten Frequenzeinstellung präpariert, während in der Gruppe 2 diese mit einer Ultraschallspitze auf der höchsten Frequenzeinstellung präpariert wurde. Zwei Forscher untersuchten wiederholt die Resektionsstümpfe mit Hilfe eines Stereomikroskops mit der 20-fachen bzw. 63-fachen Gesamtvergrößerung und dokumentierten die Zahl, die Art und die Position der Risse. Es wurden drei Rissarten beobachtet: Kanalarisse, intradentale Risse und Zementrisse. Es wurden signifikant mehr Resektionsstümpfe mit den Rissen nach der retrograden Ultraschall-Präparation festgestellt, als nur nach der WSR. Außerdem wurden signifikant mehr Kanalarisse pro Wurzel nach der Ultraschall-Präparation auf der höchsten Frequenzeinstellung beobachtet, als nach der Präparation auf dem niedrigstem Frequenzlevel.

Eine Studie von Abedi et al. (1995) beschäftigt sich mit den Effekten bei der Präparation von retrograden Kavitäten auf der Resektionsfläche mittels Bohrer bzw. Ultraschallspitzen. Nach der Reinigung, Aufbereitung und nach dem Abfüllen der Wurzelkanäle von 47 einwurzeligen Zähnen wurden sie reseziert und es wurden 24 retrograde Kavitäten mit einem Bohrer präpariert und bei den restlichen 23 Zähnen wurden diese mit Ultraschallspitzen präpariert, die von zwei verschiedenen Geräten angetrieben wurden. Nachdem die präparierten Resektionsflächen fotografiert wurden, wurden von ihnen Replicas angefertigt und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Die Aufnahmen wurden ausgewertet im Hinblick aufs Vorhandensein von Rissen. Aus den Daten kann gefolgert werden, dass eine signifikant größere Rissbildung in den Wänden von den retrograden Kavitäten nach der Präparation mit Ultraschallspitzen, als mit dem Bohrer festgestellt wurde.

Eine klinische und radiologische Studie von Vallecillo Capilla et al. (2002) berichtet von den Ergebnissen der WSR, die mit unterschiedlichen Techniken durchgeführt wurde. 29 einwurzelige Zähne mit den periapikalen Läsionen von 29 Patienten wurden endodontisch behandelt und



anschließend in drei Versuchsgruppen aufgeteilt: Gr. A: bei 10 Patienten wurden rotierende Instrumente bei Durchführung von Osteotomie, Abtrennung der Wurzelspitze und Kavitätenpräparation verwendet; Gr. B: bei 10 weiteren Patienten wurde Osteotomie und Abtrennung der Wurzelspitze ebenfalls mit einem rotierendem Instrument und die Präparation von retrograder Kavität mit einem Ultraschall durchgeführt; Gr. C: bei 9 restlichen Patienten eine Mikrosäge (microsaw) bei der Osteotomie eingesetzt und bei der Präparation von retrograder Kavität wurde, ähnlich wie bei der Gr. B, Ultraschall benutzt. Alle Zähne wurden mit IRM (intermediate restorative material) gefüllt. Klinische und radiologische Untersuchungen wurden nach 10 Tagen, 1 Monat, 6 Monaten und nach 1 Jahr durchgeführt. In 17 Fällen (58,6%) wurde ein klinischer Erfolg mit dem Fehlen von Symptomen erzielt, wobei 16 Röntgenaufnahmen (55,2%) eine komplette knöcherne Regeneration zeigten (komplette Heilung). Die klinische Erfolgsrate nach einem Jahr war 40%, 70%, 66,7% in den Gruppen A, B und C, wobei eine komplette radiographische Heilung entsprechend in den 30%, 60% und 77,8% der Fälle beobachtet wurde. Es gab 3 Misserfolge in der Gruppe A und 2 in der Gruppe C. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die besten Ergebnisse nach dem Einsatz von Ultraschall für die Präparation von retrograden Kavitäten erzielt wurden.

Das Ziel einer klinischen Studie von Tsesis et al. (2006) war, die Ergebnisse nach konventionellen und modernen Techniken im Rahmen der endodontisch-chirurgischen Behandlung zu vergleichen. 110 Patienten unterzogen sich zwischen 2000 und 2002 endodontisch-chirurgischer Behandlung, die entweder mit konventioneller oder mit moderner Technik vorgenommen wurde, die Behandlungsergebnisse wurden anhand ihrer zahnmedizinischen Kartei verglichen. Die konventionelle Technik beinhaltete eine Wurzelspitzenresektion durchgeführt mit der 45-Grad-Abschrägung und eine retrograde Präparation mit einem runden Hartmetallbohrer. Die moderne Technik beinhaltete eine WSR mit minimaler oder gar keiner Abschrägung und eine retrograde Präparation unter Verwendung von Ultraschall-Retro-Spitzen (ultrasonic retro-tips) unter Zuhilfenahme eines dentalen Operationsmikroskops. Für retrograde Füllungen in beiden Gruppen wurde ein Universal-Composite verwendet. 71 von 110 Patienten mit 88 behandelten Zähnen entsprachen den einbezogenen Kriterien. Anteil der Komplettausheilungen bei den Zähnen, die mit modernen Techniken behandelt wurden, war signifikant höher (91,1%), als bei den konventionell behandelten Zähnen (44,2%) ( $p < 0,0001$ ). Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die modernen Techniken im Rahmen der WSR unter Verwendung vom Operationsmikroskop und

Ultraschall-Spitzen die Behandlungsergebnisse im Vergleich zu den konventionellen Methoden signifikant verbessern.

Zielsetzung einer weiteren klinischen Studie von Tsesis et al. (2005) war, die Anschätzung der Veränderungen in Lebensqualität der Patienten nach endodontisch-chirurgischen Eingriffen, die mit zwei verschiedenen Techniken durchgeführt wurden: Gruppe 1 – konventionelle Technik der WSR mit 45-Grad-Abschrägung und retrograder Präparation ohne Druck mittels eines Bohrers; bei der Gruppe 2 wurde ein dentaler Operationsmikroskop verwendet, die WSR wurde nach minimalinvasiver Osteotomie mit nur minimaler Abschrägung durchgeführt und retrograde Kavität wurde mit Ultraschall-Spitzen präpariert. 66 Patienten unterzogen sich einer endodontisch-chirurgischen Behandlung, alle Eingriffe wurden durch einen Operateur durchgeführt. Alle Patienten bekamen Fragebögen mit 15 Fragen, um ihre Lebensqualität innerhalb von 7 Tagen nach dem chirurgischen Eingriff. Am Tag 5 berichteten die Patienten der Gruppe 1 signifikant mehr über Schmerzen und mussten signifikant mehr Analgetika ( $p < .05$ ) einnehmen. An den Tagen 1 und 2 berichteten im Gegenteil die Patienten der Gruppe 2 von deutlich größeren Schwierigkeiten bei der Mundöffnung, beim Kauen und von der Beeinträchtigung der Sprachfunktion ( $p < .05$ ). Die Patienten beider Gruppen haben also von erheblichem Ausmaß an Symptomen berichtet. Nach der Verwendung moderner Techniken wurde von deutlich schwächeren postoperativen Schmerzen berichtet, dafür aber von mehr Schwierigkeiten bei der Mundöffnung, beim Kauen und von der Beeinträchtigung der Sprachfunktion direkt nach der Operation.

Eine in-vitro-Studie von Schultz et al. (2005) untersuchte Abdichtung der retrograden Kavität mit zwei Arten von Füllungsmaterial und eine mögliche Rissbildung nach der retrograden Präparation der Resektionsflächen unter Verwendung von diamantierten Ultraschall-Retrospitzen. Die retrograden Kavitäten wurden in 32 resezierten Wurzeln mittels diamantierten Ultraschall-Retrospitzen präpariert. Die Präparate wurden in zwei Versuchsgruppen aufgeteilt. Gruppe 1 wurde mit Super-EBA (Zinkoxidzement) gefüllt, und die Gruppe 2 mit Pro Root MTA (mineraltrioxide-aggregate). Nach der WSR, der retrograden Präparation und Füllung wurden die Präparate mit Hilfe von Makro-Zoom-Fotografie und Rasterelektronenmikroskopie untersucht. Die Randbeständigkeit von Füllungsmaterialien wurde durch den Farbpenetrationstest ermittelt. Die durchschnittliche Penetrationstiefe bei den mit Super-EBA gefüllten Präparaten betrug 2,19mm und bei den mit Pro Root MTA gefüllten Präparaten 0,44mm. Dementsprechend ist die abdichtende Wirkung von Pro Root MTA dieser von Super-EBA überlegen. Die retrograde

Konditionierung der Resektionsflächen mittels Ultraschall-Retrospitzen stellt eine effiziente und schonende Alternative zu den konventionellen Präparationstechniken im Rahmen der WSR dar.

In einer Studie von Lloyd et al. (1997) wurden die abdichtenden Effekte des Wurzelkanalfüllungsmaterials Diaket, der als Füllungsmaterial für retrograde Kavitäten verwendet wurde, mit solchen des Amalgams verglichen mit Hilfe der linearen Farbpenetration. Es wurden acht Versuchsgruppen mit jeweils 20 extrahierten Zähnen gebildet, 12 weitere Zähne dienten der Kontrolle. Die Zähne wurden wie folgt behandelt: 1) WSR mit einer 45-Grad-Abschrägung der Resektionsfläche, retrograde Präparation mit einem runden Bohrer der Größe 008, retrograde Amalgamfüllung; 2) 45-Grad-Abschrägung, Bohrer, Diaket; 3) 45-Grad-Abschrägung, Sonic-Retrospitzen, Amalgam; 4) 45-Grad-Abschrägung, Sonic, Diaket; 5) keine Abschrägung, Bohrer, Amalgam; 6) keine Abschrägung, Bohrer, Diaket; 7) keine Abschrägung, Sonic, Amalgam; 8) keine Abschrägung, Sonic, Diaket. Es wurden 3 mm tiefe retrograde Kavitäten präpariert. Die Präparate wurden zwei Wochen lang der Farbpenetration unterzogen. Anschließend wurden die Zähne demineralisiert, um Transparenz zu erzielen, und lineare Farbpenetration wurde notiert. Resultate zeigten, dass mit Diaket eine bessere Abdichtung im Vergleich zu Amalgam unabhängig von der Art der retrograden Präparation erzielt werden konnte. Der Grad der Abschrägung hatte keinen Einfluss auf die Penetration. Die retrograden Kavitäten nach der Sonic-Präparation waren größer als die nach der Präparation mit einem Bohrer.

Das Ziel einer Studie von Murray et al. (2004) war es, die abdichtenden Eigenschaften von vier selbststützenden Adhäsivsystemen, die auf die blutkontaminierten bzw. -nicht-kontaminierten Resektionsflächen aufgetragen wurden. Extrahierte Oberkieferschneidezähne und -eckzähne wurden randomisiert in vier Versuchsgruppen je zehn Zähne eingeteilt. Nach der Wurzelkanalaufbereitung und WSR wurden vier selbststützende Adhäsive (Clearfil SE Bond, One-Up Bond F, Unifil Bond und ABF) auf die Kontroll- und kontaminierten Resektionsflächen aufgetragen. Die Wurzeln wurden dann dem Druck von 15cm Wassersicht ausgesetzt, um den periapikalen Penetrationsdruck zu simulieren. Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass es keine signifikante Unterschiede zwischen den getesteten selbststützenden Adhäsivsystemen, die sowohl bei den kontaminierten, als auch nicht kontaminierten Gruppen appliziert wurden, bezüglich abdichtender Eigenschaften gab. Alle kontaminierten Gruppen zeigten signifikant höhere Penetrationswerte ( $p < 0.003$ ), als ihre nicht kontaminierten Paare.

Zielsetzung einer in-vitro-Studie von Taschieri et al. (2004) war, die Effekte von Ultraschall-Retrospitzen im Rahmen der WSR auf der Resektionsfläche nachzuforschen. An 45 extrahierten

einwurzeligen Zähnen wurde nach endodontischer Behandlung eine WSR durchgeführt. Die Ultraschallvorrichtung wurde auf die höchste Leistung eingestellt und in den 9 Präparaten wurden retrograde Kavitäten mit den Edelstahlspitzen präpariert (SS-FP). Bei den nächsten 9 Präparaten wurden diamantierte Spitzen verwendet (D-FP). Danach wurde die Leistung des Ultraschalls um die Hälfte reduziert, die nächsten 9 Präparate mit den Edelstahlspitzen präpariert (SS-HP) und die weiteren 9 mit diamantierten Spitzen (D-HP). Die übrigen 9 Präparate wurden nur reseziert und als Kontrollgruppe verwendet. Histologische Seriensegmente wurden rasterelektronenmikroskopisch untersucht im Bezug auf die Zahl und Art der Risse auf der Resektionsfläche und die Randschlussqualität. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den mit diamantierten und mit Edelstahlspitzen präparierten Gruppen festgestellt. Es wurden lediglich signifikante Unterschiede zwischen SS-FP und SS-HP Gruppen im Bezug auf die Zahl der Sprünge und Randschlussqualität festgestellt.

In einer Studie von Khabbaz et al. (2004) wurden Dentinwände der retrograden Kavitäten aufs Vorhandensein der Sprünge und Debris in Zusammenhang mit der Größe der Resektionsfläche untersucht. 100 extrahierte einwurzelige Zähne wurden endodontisch behandelt, in Acrylharzblöcke eingefasst und 2mm vom Apex reseziert. Entsprechend der Größe der Resektionsfläche wurden die Zähne in zwei Gruppen aufgeteilt: mit der großen ( $> 2\text{mm}$ ) und mit der kleinen Resektionsfläche ( $< 2\text{mm}$ ). Die retrograden Kavitäten wurden mit vier verschiedenen Techniken präpariert: ein langsames Handstück; diamantierte Ultraschall-Spitze aus Edelstahl; glatte Ultraschall-Spitze aus Edelstahl; und diamantierte Sonic-Spitzen. Die Präparationsdauer wurde notiert. Mit Hilfe eines Videomikroskops wurden die Zähne aufs Vorhandensein der Sprünge, Dentinspäne und Guttaperchareste an den Kavitätenwänden untersucht. Nach der Präparation mit den glatten Ultraschall-Spitzen aus Edelstahl wurde geringe Anzahl der intradentinalen Sprünge festgestellt. Nach der Präparation mit rotierenden Instrumenten wurde vermehrt Debris beobachtet, während die Guttaperchareste hauptsächlich an den mit Ultraschall präparierten Zähnen festgestellt wurden. Mit Schall- (sonic) und Ultraschallgeräten präparierte retrograde Kavitäten waren sauberer und besser zentriert, als die Kavitäten nach der Präparation mit rotierenden Instrumenten. Die bei der Präparation entstandenen Sprünge beziehen sich nicht direkt auf die Größe der Resektionsfläche, eher auf die Art der Retrospitzen, die für die Präparation der retrograden Kavität verwendet wurden.

In einer Studie von von Arx et al. (2003a) wurde die Genauigkeit der endoskopischen Diagnostik im Rahmen der periradikulären Chirurgie mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie untersucht. Das Untersuchungsmaterial bestand aus 22 extrahierten menschlichen Molaren, die

folgendermaßen behandelt wurden: orthograde Wurzelfüllung, Wurzelspitzenresektion und Präparation der retrograden Kavität mit diamantierten Sonic-Mikrospitzen. Nach jedem Schritt wurden die Resektionsflächen mit einem Endoskop untersucht und anschließend wurden Replicas für die REM-Auswertung hergestellt. Endoskopische Befunde wurden mit den nach der Rasterelektronenmikroskopie gewonnenen Befunden verglichen. Es wurde nach folgenden Strukturen, einschließlich Spezifik und Sensibilität (specificity and sensitivity) untersucht: Isthmen, Seitenkanälchen, Obturationsfehlstellen, Mikrorisse und Fehlstellen in den Kavitätenwänden. Spezifik und Sensibilität im Hinblick aufs Feststellen von Isthmen und Seitenkanälchen war in 100% der Fälle bei der Endoskopie vorhanden, verglichen mit der REM-Auswertung. Die Sensibilität bei der Feststellung von Obturationsfehlstellen, Mikrorissen und Fehlstellen in den Kavitätenwänden war in 73% bis 95% der Präparate zu beobachten (ausgenommen intradentale Risse mit nur 36%iger Sensibilität). Die Spezifik der gleichen Parameter bei der Endoskopie im Vergleich zur REM war zwischen 77% und 100%. Zusammenfassend konnte man feststellen, dass mit der Ausnahme von den intradentalen Sprüngen wurden nach der WSR und der retrograden Präparation mit Hilfe des Endoskops alle Mikrostrukturen genau beobachtet, und dass Endoskop in der periapikalen Chirurgie durchaus empfehlenswert ist.

In einer prospektiven klinischen Studie des gleichen Autors wurden 129 resezierte Zähne untersucht (von Arx et al., 2003b). Bei der Testgruppe (62 Zähne) wurde ein Endoskop (Tele-Otoscope mit dem 70-Grad-Blickwinkel) bei den folgenden Behandlungsschritten verwendet: Wurzelspitzenresektion, Präparation der retrograden Kavität und retrograde Wurzelfüllung. In der Kontrollgruppe (67 Zähne) wurde intraoperative Diagnostik mittels Mikrospiegel durchgeführt. 54 Zähne aus der ersten bzw. 61 Zähne aus der zweiten Versuchsgruppe wurden nach einem Jahr untersucht. Basiert auf dem klinischen und radiologischen Befund, wurden die Fälle als Erfolg, unsicheres Heilungsergebnis oder Misserfolg kategorisiert. In der Testgruppe mit Endoskopie wurde die Erfolgsrate von 88,9% erzielt, während in der Kontrollgruppe sie nur 75,4% betrug. Es wurde jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen festgestellt. Weitere experimentelle und klinische Studien sind notwendig, um die Erfolgsrate nach der WSR mit Hilfe eines Endoskops weiter steigern zu lassen.

Das Ziel einer weiteren prospektiven klinischen Studie des gleichen Autors war, die Ergebnisse der periapikalen Chirurgie an Molaren nach einem Jahr auszuwerten (von Arx et al., 2001). Das Untersuchungsmaterial bestand aus 25 Molaren mit 39 Wurzeln, die periradikuläre Läsionen des endodontischen Ursprungs aufwiesen. Bei den Zähnen wurde eine WSR durchgeführt, mit Hilfe

von den Sonic-Mikrospitzen wurden retrograde Kavitäten präpariert, die mit dem Super-EBA-Zement gefüllt wurden. Die klinischen und radiologischen Heilungsergebnisse wurden nach einem Jahr ausgewertet. Die Heilung wurde unter Verwendung von gut definierten Kriterien in drei Kategorien beurteilt: 1 – Erfolg; 2 – Verbesserung; 3 – Misserfolg. 88% der chirurgisch behandelten Zähne zeigten eine erfolgreiche Heilung, bei 8% wurde eine Verbesserung festgestellt und 4% der Fälle haben sich als Misserfolg erwiesen. Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die periradikuläre Chirurgie bei den Molaren mit persistierenden periapikalen Läsionen absehbare Behandlungsergebnisse bringen kann.

#### **1.4. Anwendung der Lasertechnologie im Rahmen der Apikoektomie**

Seit Jahrzehnten werden Laseranwendungen zur Zahnhartsubstanzbearbeitung beschrieben. Für dieses Anwendungsspektrum liegt eine Vielzahl von klinischen und in-vitro-Studien vor, die unter anderem auch über Anwendung von unterschiedlichen Lasertypen bei Durchführung der Wurzelspitzenresektion berichten. In der vorliegenden Literaturübersicht werden einige Beispiele für Laseranwendungen auf diesem Gebiet dargestellt.

Von Gutknecht (1999) wird die Anwendung unterschiedlicher Lasertypen bei der Durchführung der Apikoektomie vorgeschlagen. Sie kann mit vier verschiedenen Lasertypen und folgenden Leistungseinstellungen vorgenommen werden:

- Er:YAG (15Hz, 150mJ). Als Nachteil wird geringe Koagulation und dadurch blutiges, nicht sehr übersichtliches Operationsfeld angegeben.
- Nd:YAG (70Hz, 30-50mJ, 300µm Quarzfaser)
- CO<sub>2</sub> (6W, CW, 0,35 Metallspitze)
- Diodenlaser (6W, CW, Chirurgiespitze)

Bei dem Einsatz von Nd:YAG-, CO<sub>2</sub>- und Diodenlaser sind saubere blutungsfreie Schnittländer der Zugangskavität von Vorteil.

Die Abtragung der geschlossenen Knochendecke und die Darstellung der Wurzelspitze erfolgt mit dem Er:YAG-Laser (4Hz, 300mJ). Die Resektion der Wurzelspitze erfolgt ebenfalls mit dem Er:YAG-Laser (4Hz, 500mJ). Dabei wird eine Abschrägung nach bucco-labial vorgenommen, um den Resektionsquerschnitt und die Dichtigkeit der Wurzelfüllung zu beurteilen.

Die Entfernung des Granulationsgewebes erfolgt mit dem Er:YAG- (15Hz, 150mJ) oder dem CO<sub>2</sub>-Laser (4W, CW, 0,8mm Keramikspitze). Der Nd:YAG-Laser (2W / 20Hz, 100mJ) kann zur Keimreduktion in der Resektionshöhle eingesetzt werden.

Von Bürger (1996) wird die Anwendung vom Nd:YAG-Laser im Zusammenhang mit einer konventionell durchgeführten Wurzelspitzenresektion und vorheriger Wurzelfüllung, wobei der Laser eventuell zur Wurzelkanalsterilisation eingesetzt wurde, als eine nützliche Ergänzung vorgeschlagen. Mit dem Laser kann Granulationsgewebe in der knöchernen Resektionshöhle verdampft bzw. eingeschmolzen werden, womit die knöcherne Regeneration unterstützt werden soll. Es ist dabei darauf zu achten, den Knochen durch die Lasereinwirkung nicht zu karbonisieren oder zu nekrotisieren. Folgende Leistungseinstellungen wurden gewählt:

- Faserdurchmesser: 300µm
- Leistungseinstellung: 1,5W
- Repetitionsrate: 10 – 15Hz
- Energie je Puls: 100 – 150mJ

Der Autor bezieht sich auf die Angaben von Gutknecht et al. (1994) und Stabholz et al. (1992b), dass die von ihnen nachgewiesene Permeabilitätsveränderung mittels thermischer Wirkung der Laserstrahlung von Schmelzprozessen und Verschluss der Dentinkanälchen im Bereich des apikalen Resektionsstumpfes ausgeht. Diese Permeabilitätsveränderung trägt unterstützend zur Abdichtung, besonders der Lateralkanälchen im Bereich des apikalen Deltas sowie eröffneter Dentintubuli nach der Resektion bei. Hiermit wird die Permeabilität für Toxine sowohl aus dem Bereich der Wurzel in die Resektionshöhle als auch umgekehrt verhindert.

Dieser Effekt ist zu erzielen, indem die resezierte Wurzeloberfläche mit dem Ende der Glasfaser in Kontaktarbeitsweise bestrahlt wird, was die Verschmelzung des Dentins nach sich zieht. Eine eventuelle Karbonisationsschicht kann auf dem Wurzelstumpf belassen werden.

Durch diese Maßnahme sinkt die Permeabilität im Bereich des Resektionsquerschnittes. Zugleich ist es möglich, mit dem Laser Weichgewebsreste zu verdampfen. Besonders in unzugänglichen Bereichen bzw. ausgedehnten Granulomen, hinter der resezierten Wurzel soll die apikale Kürettage sodann erleichtert und sicherer sein. Die Leistungseinstellung des Lasers beträgt hierbei: 2,5W / 25Hz, Energie je Puls: 100mJ.

Nach Angaben von Benthin und Ertl (1995) führen Karbonisate bei der Laserosteotomie zu Heilungsverzögerungen. Ishikawa et al. (2004) berichten von glatten, sauberen Knochenkonturen mit minimaler Beschädigung und komplikationsloser, schneller Heilung nach der Er:YAG-Laserapplikation sowie von der effektiven Entfernung vom Granulationsgewebe mit dem ER:YAG-Laser. Der Einsatz von Er:YAG-Lasern führt zu einem der Sägeosteotomie vergleichbaren Heilungsergebnis (Dinkelaker, 1991; Scholz, 1992). Diese Ergebnisse sind auch auf die Laseranwendung zur Wurzelspitzenresektion zu übertragen.

Nach Applikation von gepulster Nd:YAG-Laserstrahlung auf die apikale Fläche von konventionell wurzelspitzenresezierten Zähnen wurde eine Verminderung der Farbstoffpenetration am Apex festgestellt (Stabholz et al., 1992a). Dies wird teilweise durch ein Aufschmelzen der Wurzeloberfläche einschließlich des Smear layers erklärt (Stabholz et al., 1992b).

Mit Er:YAG-Lasern (50-90mJ Pulsenergie, 6Hz Pulsrepetitionsrate, 250µs Pulslänge), wie eine Studie von Paghdiwala (1993) bestätigt, ist sowohl trocken als auch mit Wasserkühlung eine Apikoektomie in vitro möglich. Ohne Wasserkühlung treten thermisch bedingte Verfärbungen an der Schnittfläche auf. Mit Wasserkühlung wird eine thermisch unveränderte Schnittfläche im Wurzelentin erhalten. Diese guten Ergebnisse lassen bei einem klinischen Einsatz ein schnelles Heilungsergebnis erwarten.

Bei cw-CO<sub>2</sub>-Laseranwendung wurden an der bearbeiteten Wurzelspitze typischerweise Rekrystallisate und Karbonisation beobachtet, die aber sehr leicht durch Kürettage entfernt werden können. Vorteile werden besonders in einem blutungsarmen Operationsfeld und einer möglichen Sterilisation der infizierten Wurzeloberfläche gesehen (Miserendino, 1988). Aufgrund der besonders starken thermischen Nebenwirkungen und den daraus zu erwartenden Heilungsverzögerungen wird die Anwendung von cw-CO<sub>2</sub>-Lasern für die Resektion von Benthin und Ertl (1995) abgelehnt. Im Gegensatz zu diesen Überlegungen berichten Melcer et al. (1990) von mehr als 500 erfolgreichen Wurzelspitzenresektionen. Die radiologisch kontrollierte Heilung soll hervorragend und schnell sein und hält langfristig über mehrere Jahre an .

Misserfolge nach Wurzelspitzenresektionen werden im Allgemeinen der Permeabilität der Dentinoberfläche sowie nicht ausreichend abdichtenden Materialien für retrograde Wurzelfüllungen, die die Ausbreitung von Mikroorganismen und ihrer Produkte aus dem Wurzelkanalsystem ins periodontale Region erlauben, zugeschrieben. Ziel der Studie von Gouw-Soares et al. (2004) war die Untersuchung der marginalen Permeabilität sowie der Permeabilität von Dentin nach der Resektion und Bearbeitung der Resektionsfläche mit einem 9.6µm TEA CO<sub>2</sub>-Laser und einem 2.94µm Er:YAG-Laser. 65 einwurzelige endodontisch behandelte menschliche Zähne wurden in fünf experimentelle Gruppen aufgeteilt: Gruppe 1 (Kontrollgruppe) – WSR mit einem Bohrer; Gruppe 2 – gleiches Verfahren zu dem der Gruppe 1, gefolgt von der Behandlung der Resektionsfläche mit einem 9.6µm CO<sub>2</sub>-Laser; Gruppe 3 – gleiches Verfahren zu dem der Gruppe 1, gefolgt von der Behandlung der Resektionsfläche mit einem 2.94µm Er:YAG-Laser; Gruppe 4 – Resektion und Behandlung der Resektionsfläche mit einem 9.6µm CO<sub>2</sub>-Laser; Gruppe 5 – WSR und Behandlung der Resektionsfläche mit einem



2.94 $\mu$ m Er:YAG-Laser. Die Auswertung des mit einer Methylen-blau-Lösung durchgeführten Penetrationstests zeigte, dass die Proben von den mit den Lasern bestrahlten Gruppen erheblich niedrigere Penetrationstiefe im Bereich der Resektionsfläche und der retrograden Wurzelfüllung zeigten als die von der Kontrollgruppe. Diese Resultate wurden durch die REM-Untersuchungen der morphologischen strukturellen Veränderungen bestätigt.

Zielsetzung der von Gouw-Soares et al. (2001) durchgeführten dreijährigen klinischen Studie war es, durch die kombinierte Anwendung von drei Lasertypen im Rahmen der Apikoektomie die Erfolgsrate dieses endodontisch-chirurgischen Verfahrens zu ermitteln. Um eine Osteotomie und WSR vibrationsfrei im relativ sauberem Operationsfeld und ohne smear layer durchführen zu können, wurde ein Er:YAG-Laser mit 2.94 $\mu$ m Wellenlänge verwendet. Der anschließend benutzte Nd:YAG-Laser mit der 1.064 $\mu$ m Wellenlänge diente der Abdichtung der Dentintubuli und der Reduktion von Bakterienzahl in der knöchernen Resektionshöhle. Für die Verbesserung der postoperativen Heilung wurde noch ein Ga-Al-As-Laser mit der 790nm Wellenlänge eingesetzt. Bei der Abschlussuntersuchung nach drei Jahren wurden eine signifikante Verkleinerung der apikalen Aufhellungen und keine klinischen Symptome festgestellt. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass die oben beschriebene Methode eine Alternative zu einer konventionellen WSR sei.

Eine Studie von Oliveira et al. (2004) beschäftigt sich mit der Permeabilität des Dentins im Bereich der Resektionsfläche nach WSR, Wurzelkanalaufbereitung und Vorbereitung der retrograden Kavität mit einem Er:YAG- bzw. Nd:YAG-Laser. Außerdem wurden die laserbedingten morphologischen Veränderungen im Dentin rasterelektronenmikroskopisch untersucht. 24 extrahierte und wurzelbehandelte Zähne wurden in drei Gruppen aufgeteilt: Gruppe 1 – WSR mit einem Er:YAG-Laser (4Hz, 350mJ), mit demselben Laser (4Hz, 120mJ) und der optischen Faser 50/10 wurden die Resektionsflächen und die retrograden Kavitäten bearbeitet; Gruppe 2 – WSR wurde ähnlich wie bei der Gr. 1 durchgeführt, wobei die Resektionsflächen sowie die retrograden Kavitäten mit einem Nd:YAG-Laser (1,5W/15Hz, 100mJ) durch eine optische Faser bearbeitet wurden; bei der Gruppe 3 (Kontrollgruppe) wurden Schnellbohrer für die WSR verwendet. Die Auswertung des mit einer Methylen-blau-Lösung durchgeführten Penetrationstests zeigte, dass die Proben von den mit den Lasern bestrahlten Gruppen eine niedrigere Penetrationstiefe im Dentin zeigten als die von der Kontrollgruppe. Diese Resultate wurden durch die REM-Untersuchungen aufgrund der vorliegenden morphologischen Veränderungen bestätigt. Eine mit dem Er:YAG-Laser durchgeführte WSR mit darauf folgender Bearbeitung von Resektionsflächen und retrograden Kavitäten mit einem

Nd:YAG-Laser könnte ein alternatives klinisches Werkzeug zur Verringerung der Permeabilität des Dentins am Resektionsquerschnitt darstellen.

Eine in-vitro-Studie von Aranha et al. (2005) untersuchte Wirkungseffekte von Nd:YAG- und Er:YAG-Lasern hinsichtlich Versiegelung der Dentintubuli bzw. Permeabilitätssenkung des Dentins. Während der Nd:YAG-Laser inzwischen für seine Versiegelungseffekte an Dentintubuli bekannt ist, gibt es nur wenige Studien, die von der Wirkung des Er:YAG-Laser auf diesem Gebiet berichten. Bei dieser Untersuchung wurde der Nd:YAG-Laser mit zwei verschiedenen Einstellungsparametern verwendet: a) 1,0W/10Hz und b) 1,5W/15Hz. Der Er:YAG-Laser (2Hz, 60mJ) wurde vierfach angewandt jeweils 20s pro Anwendung, 6mm von der Dentinoberfläche entfernt. Nach der Laserbestrahlung wurden alle Proben in eine 1%ige Rodamine-B-Lösung eingetaucht, um eine eventuelle Permeabilitätsverringerng bzw. -erhöhung untersuchen zu können. Unter den in dieser Studie angegebenen Bedingungen wurde eine Permeabilitätsverringerng erzielt und zwar um 26,05%, wenn der Er:YAG-Laser (2Hz, 60mJ) eingesetzt wurde um 19,03% beim Einsatz des Nd:YAG-Lasers (1,5W/15Hz) und um 4,59%, wenn der Nd:YAG-Laser auf 1,0W/10Hz eingestellt wurde. Entsprechend den Resultaten dieser in-vitro-Studie ist die Verwendung vom Er:YAG-Laser (2Hz, 60mJ) und vom Nd:YAG-Laser (1,5W/15Hz) für die Permeabilitätssenkung vom Dentin zu empfehlen.

Von Komori et al. (1997a) wurde eine WSR an den extrahierten menschlichen Zähnen mit einem Erbium:YAG- und einem Holmium:YAG-Laser durchgeführt, um die klinische Anwendung des Lasers am harten Gewebe zu untersuchen. Ein CO<sub>2</sub>-Laser und ein Bohrer wurden zum Vergleich benutzt. Anschließend wurden die morphologischen Veränderungen auf den Resektionsflächen lichtmikroskopisch und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Präparate, die mit einem Er:YAG-Laser bestrahlt wurden, zeigten glatte, saubere Resektionsflächen ohne Anzeichen einer thermischen Schädigung. Die Obturation des Wurzelkanals wurde nach der Er:YAG-Laserbestrahlung beibehalten. Nach der Ho:YAG-Laserbestrahlung wurden jedoch Anzeichen thermischer Schädigung sowie verhältnismäßig große Spalten zwischen Guttapercha und Wurzelkanalwand festgestellt. Unter den Bedingungen dieser Studie wurde keine komplette Abdichtung der Dentintubuli erreicht.

Der gleiche Autor berichtet von 8 Fällen (13 Zähnen), bei denen die WSR mittels eines Er:YAG-Lasers durchgeführt wurde ohne Verwendung einer Luftturbine oder des roten Winkelstückes (Komori et al., 1997b). Obwohl die Geschwindigkeit der Schnittführung mit dem Laser etwas langsamer war als mit herkömmlichen Methoden, soll der Einsatz eines Er:YAG-Lasers für die WSR Vorteile aufweisen, wie z.B. eine erschütterungsfreie, angenehmere Schnittführung,

sauberes Operationsfeld sowie Verringerung der Gefahr einer Traumatisierung des angrenzenden Gewebes.

Um die Gewebekompatibilität der mit dem Nd:YAG-Laser resezierten Wurzeloberflächen zu untersuchen, wurde von Maillet et al. (1996) eine Studie mit der Zielsetzung durchgeführt, das sich nach einer bestimmten Zeit über die mit dem Nd:YAG-Laser bzw. mit dem Bohrer geschnittenen und einschließend eingepflanzten Wurzelsegmente gebildete Bindegewebe zu untersuchen. Endodontisch behandelte Wurzeln von 25 extrahierten menschlichen Zähnen wurden quer in 3,5mm dicke Scheiben abwechselnd mit einem Nd:YAG-Laser mit Wasserkühlung und mit einem ebenfalls wassergekühlten Fissurenbohrer geschnitten. Eine Gesamtmenge von 63 Scheiben wurde ins dorsale subkutane Gewebe von 16 Ratten eingepflanzt und nach einem Zeitraum von 3, 7, 14, 28, 60 und 90 Tagen zusammen mit dem umgebenden Gewebe explantiert und für lichtmikroskopische Untersuchung vorbereitet. Das an die Wurzelentinscheiben angrenzende Gewebe wurde nach Intensität und Umfang des Entzündungsprozesses sowie nach der Stärke der fibrosen Kapsel untersucht. Die Unterschiede zwischen den mit dem Laser und mit dem Bohrer geschnittenen Dentinflächen waren statistisch signifikant ( $p < 0.05$ ). Es wurde eine Verzögerung der Gewebeintegration über den lasergeschnittenen Dentinflächen im Vergleich zu den mit dem Bohrer geschnittenen Dentinflächen festgestellt.

Von Grgurevic et al. (2005) wurde eine in-vitro-Studie mit der Zielsetzung, die Effektivität eines variabel gepulsten (VSP) Er:YAG-Lasers im Vergleich zu einem mechanischen Handstück im Rahmen der WSR zu überprüfen und eine optimale Laserparameterkombination zu ermitteln, durchgeführt. 60 extrahierte einwurzelige menschliche Zähne mit einem runden apikalen Abschnitt wurden aufbereitet, wurzelgefüllt und in vier Versuchsgruppen aufgeteilt. Die Wurzeln wurden 2 mm vom Apex reseziert mit einem mechanischen Handstück bzw. einem Er:YAG-Laser mit drei unterschiedlichen Einstellungen: Laser A – 8Hz, 200mJ, 300 $\mu$ s; Laser B – 8Hz, 200mJ, 100 $\mu$ s; Laser C – 20Hz, 380mJ, 100 $\mu$ s. Resultate der Untersuchung wurden statistisch verglichen. Laser C-Einstellungen (20Hz, 380mJ, 100 $\mu$ s) haben sich als die leistungsstärksten erwiesen und wurden von den Autoren als optimale Einstellungen für einen Er:YAG-Laser im Rahmen der Apikoektomie vorgeschlagen.

In einer Studie von Leco Berrocal et al. (2007) wurde die Effektivität des Er:YAG-Laser im Granulationsgewebe der periapikalen Läsionen geprüft, basiert auf den klinischen und radiographischen Kontrolluntersuchungen. Untersucht wurden 45 Patienten, die sich der endodontisch-chirurgischen Behandlung apikaler Läsionen an den Schneidezähnen, Eckzähnen

und Prämolaren unterzogen hatten. Die Zähne wurden mit der konventionellen Technik reseziert; es wurden retrograde Füllungen aus Silberamalgam gelegt und die knöchernen Resektionshöhlen bzw. Resektionsflächen mit einem Er:YAG-Laser bestrahlt. Klinische und radiographische Kontrollen wurden innerhalb von 24 Monaten durchgeführt. Dabei wurden Symptomfreiheit oder aber Symptome wie Schmerz, Schwellung oder Fistelbildung und auch Ossifikation der Läsionen dokumentiert. In 95,5% der Fälle wurden keine klinischen Symptome festgestellt. Röntgenologisch zeigten 77,7% der Fälle nach 24 Monaten eine komplette Ossifikation, 13,3% waren in einem Vorstadium der Ossifikation, 4,5% befanden sich in einem Zwischenstadium und bei den ebenfalls 4,5% der Fälle war ein Erfolgsausfall zu verzeichnen. Ergebnis dieser Studie: Eine Kombination von Silberamalgam und Er:YAG-Laser in der periapikalen Chirurgie zeigt eine sehr hohe klinische Erfolgsrate mit einer kompletten Ossifikation der knöchernen Defekte in 77,7% der Fälle innerhalb von 24 Monaten.

In einer Untersuchung von Arens et al. (1993) wurde die Permeabilität der Dentintubuli nach laserassistierter und herkömmlicher WSR verglichen. 20 Wurzeln wurden aufbereitet und abgefüllt mit der lateralen Kondensation von Guttapercha. 10 Wurzeln wurden mit einem Bohrer reseziert und die restlichen 10 mit einem gepulsten Nd:YAG-Laser (35W) unter Luft-Wasser-Kühlung. Die Wurzeloberflächen wurden mit einem blauen Wachs beschichtet, wobei die resezierten Bereiche ausgespart wurden. Die Proben wurden für 36 Stunden in eine 2,5%ige Methylen-blau-Lösung eingetaucht, dann gewaschen und geteilt. Anschließend wurde die Penetrationstiefe ausgemessen. In der ersten Versuchsgruppe betrug die Penetrationstiefe 2,4mm und in der zweiten Versuchsgruppe 0,9mm. Der Lasereinsatz bei der Apikoektomie scheint die Permeabilität von Dentintubuli zu verringern.

Heilungsresistente Fälle bei apikalen Läsionen werden oft durch die bakterielle Kontamination im periapikalen Bereich verursacht. Durch Mikroorganismen und ihre Produkte wird auf dem Wurzelzement und -dentin apikal ein Biofilm gebildet. Die periapikale Chirurgie beschäftigt sich hauptsächlich mit der mechanischen Entfernung der Störfelder, um dadurch Heilungsprozesse im periapikalen Bereich zu fördern. Das Ziel einer Studie von Araki et al. (2006) war es, die Wirkung der Er:YAG-Laserstrahlung bei Beseitigung der mikrobiellen Kontamination auf der apikalen Drittel der Wurzeln von frisch extrahierten Zähnen zu untersuchen. Die apikalen Bereiche wurden mit einem Er:YAG-Laser (10Hz, 100mJ, 1W, 39J/cm<sup>2</sup>) mit einer experimentellen Kontaktspitze bestrahlt. Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung zeigte, dass durch die Laserbestrahlung der Wurzelzement teilweise entfernt und aufgeraut wurde, ohne dass das darunter liegende Dentin aufgedeckt wurde. Es wurde auch Verdampfung

des übrigen parodontalen Gewebes und eine Beseitigung des mikrobiellen apikalen Biofilms in den bestrahlten Bereichen beobachtet.

Das Ziel der in-vitro-Studie von Arisu et al. (2004) war, die morphologischen Veränderungen und die Farbpenetration der Dentinoberfläche im apikalen Bereich nach Nd:YAG-Laserbestrahlung mit unterschiedlichen Einstellungen zu untersuchen. 75 einwurzelige menschliche Oberkieferfrontzähne wurden für diese Untersuchung verwendet. Nach der Arbeitslängenermittlung wurden die Wurzelkanäle mit der Stepp-Beck-Technik aufbereitet. Alle Wurzeln wurden 3mm vom Apex senkrecht zu ihren Längsachsen reseziert. Danach wurden 2mm tiefe und genauso breite retrograde Kavitäten präpariert. Anschließend wurden die Zähne randomisiert in 5 Gruppen aufgeteilt. Die retrograden Kavitäten der Präparate der Gruppe 1 wurden mit einem Nd:YAG-Laser mit der 2W-Einstellung und die von der Gruppe 2 ebenfalls mit einem Nd:YAG-Laser mit der 3,2W-Einstellung bestrahlt. Die retrograden Kavitäten von den Präparaten der Gruppe 3 wurden mit einem Nd:YAG-Laser mit der 2W-Einstellung nach der Applikation von Tinte als Absorber bestrahlt. Nach einer mit Hilfe einer in Tinte getränkten und im Bereich der Resektionsfläche und im Wurzelkanal applizierten Papierspitze durchgeführten Farbpenetration wurden Präparate der Gruppe 4 mit den gleichen Einstellungen gelasert, wie die der Gruppe 2. Gruppe 5 war eine Kontrollgruppe. Fünf Präparate aus jeder Versuchsgruppe wurden rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Die Menge von smear layer, Debris und rekristallisiertem Dentin wurde ermittelt. Die retrograden Kavitäten von 10 Präparaten aus jeder Gruppe wurden mit Amalgam gefüllt, um die apikale Farbpenetration zu überprüfen. Anschließend wurden die Zähne für 48 Stunden in eine 2%ige Fuchsin-Lösung eingetaucht. Für die Auswertung der Farbpenetration wurde ein Stereomikroskop unter 10-facher linearer Vergrößerung verwendet. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei der Anwendung von Tinte zusammen mit dem Nd:YAG-Laser die Menge vom eingeschmolzenen bzw. rekristallisierten Dentin erhöht wurde und dass durch die Bestrahlung bei Anwendung eines Absorbers die Permeabilität des Dentins erhöht wird.

Eine Studie von Winik et al. (2006) beschäftigt sich mit der Problematik der unzureichenden marginalen Abdichtung der retrograden Kavität, die die Penetration von Mikroorganismen und ihren Produkten aus dem Wurzelkanalsystem ins periodontale Gewebe erlaubt. In dieser Studie wurden die tubuläre Penetration des Sealers und die marginale Permeabilität nach Er;Cr:YSGG-Laserbestrahlung der retrograden Kavität und der retrograden Füllung mit MTA (mineral-trioxid-aggregate) oder Zyanoakrylat (cyanoacrylate) untersucht. Bei 22 einwurzeligen Zähnen wurden die Kronen entfernt, die Wurzeln wurden endodontisch behandelt, anschließend 3mm vom Apex

reseziert. Auf den Resektionsquerschnitten wurden mit einem langsamen Bohrer retrograde Kavitäten präpariert. 20 Wurzeln wurden randomisiert in 4 Gruppen aufgeteilt: Gr. 1 und Gr. 2 – retrograde Füllung entsprechend mit MTA und Zyanoakrylat; Gr. 3 und Gr. 4 – Bestrahlung von retrograden Kavitäten mit einem Er:Cr:YSGG-Laser (2.78 $\mu$ m, 4W, 20Hz, 70.8J/cm<sup>2</sup>) und retrograde Füllung entsprechend mit MTA und Zyanoakrylat. Die restlichen 2 Wurzeln wurden für positive und negative Kontrolle verwendet. Bei der Auswertung der mit Rhodamin B durchgeführten Farbpenetration ( $p = 0.05$ ) wurde festgestellt, dass die Präparate der Gr. 3 signifikant höhere Permeabilitätswerte ( $p < 0.05$ ) zeigten. Bei den Präparaten der Gr. 2 und Gr. 4 waren signifikant niedrigere Permeabilitätswerte zu verzeichnen. Bei der REM-Untersuchung war mehr Penetration von Zyanoakrylat durch die Dentintubuli im Vergleich zu MTA festgestellt, was von einer effektiveren marginaler Abdichtung spricht. Basiert auf diesen Ergebnissen ist festzustellen, dass Zyanoakrylat, unabhängig von der Präparationsmethode der retrograden Kavität, ein wenig durchlässiges retrogrades Füllungsmaterial ist und erfolgreich bei chirurgischer Therapie der periapikalen Läsionen eingesetzt werden kann.

In vielen weiteren Studien wurden Morphologie und chemische Struktur von der laserbestrahlten Dentinoberfläche beschrieben (Gaspirc und Skaleric, 2001; Moriyama et al., 2004) und wurden die Möglichkeiten der Laseranwendung diskutiert, die bei der Durchführung einer WSR relevant sind, so wie z.B. der bakterizide Effekt der Laserstrahlung (Schultz et al., 1986; Folwaczny et al., 2002; Schoop et al., 2004; Bergmans et al., 2006). Der permeabilitätssenkende bzw. Versiegelungseffekt im Dentin, dem bei Desensibilisierung von überempfindlichen Zahnhälsen eine große Bedeutung beigemessen wird (Schaller et al., 1997; Liu et al., 1997; Botzenhart und Frentzen, 2007), spielt auch bei der Versiegelung der Resektionsflächen eine wichtige Rolle. In beiden Fällen wird ein dauerhafter Verschluss der Dentintubuli angestrebt, die auch durch eine Oberflächenmodifikation mit einem Laser durchgeführt werden kann.

### **1.5. Ziel der Untersuchung**

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Möglichkeiten des Einsatzes des Nd:YAG-Lasers als Adjuvans zur konventionellen Wurzelspitzenresektion bzw. des Er:YAG-Lasers für die Durchführung einer Apikoektomie. Bei dieser in-vitro-Untersuchung sollte unter Verwendung von extrahierten menschlichen Zähnen anhand von histologischen Präparaten dargestellt werden, welche charakteristischen morphologischen Unterschiede diese zwei Resektionstechniken zeigen.

Außerdem sollte untersucht werden, inwieweit eine Optimierung der Apikoektomie durch den Einsatz von Nd:YAG- bzw. Er:YAG-Laser hinsichtlich der Versiegelungseffekte auf der Resektionsfläche gegenüber dem konventionellen Vorgehen erreicht werden kann. Nach Möglichkeit sollten auch Rückschlüsse auf die Praxisrelevanz dieser Techniken gezogen werden.

## **2. Material und Methode**

### **2.1. Versuchssystematik**

Zur Untersuchung verschiedener Resektionstechniken wurden 33 extrahierte Zähne trepaniert, manuell aufbereitet und wurzelgefüllt. Danach wurden diese Zähne in drei Versuchsgruppen aufgeteilt. Die Präparate der drei Versuchsgruppen wurden mit unterschiedlichen Techniken reseziert: die erste Gruppe mit diamantiertem Schleifinstrumenten, die zweite Gruppe im Sinne einer adjuvanten Anwendung eines Nd:YAG-Laser nach mechanischer Resektion und die dritte Gruppe mit einem Er:YAG-Laser.

Anschließend wurden die Präparate lichtmikroskopisch und rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Im Rahmen der Untersuchungen erfolgte ein Penetrationstest, nachdem die Wurzeln 5 mm von der Resektionsfläche entfernt abgetrennt wurden.

### **2.2. Auswahl des Untersuchungsmaterials**

Für die Versuche wurden 9 Schneidezähne, 6 Eckzähne, 12 Prämolaren, 6 Molaren verwendet. Diese insgesamt 33 Zähne wurden entweder aus kieferorthopädischen oder parodontologischen Gründen extrahiert. Nach dem Ausmessen der Länge der Zähne wurden sie in physiologischer Kochsalzlösung, die mit Natriumacid in einer Konzentration von 0,001% versetzt war, gelagert, um eine antibakterielle Wirkung zu erzielen und im Kühlschrank bei 4°C aufbewahrt und katalogisiert (siehe Tab. 4).



Zahntyp	Präparat-Nr.	Zahn	Zahnlänge in mm	Aufbereitet bis ISO
1	6	11	21	60
	7	21	24	60
	8	11	25,5	60
2	17	22	22,5	35
	19	12	24	35
	20	22	23	35
3	22	42	21	35
	23	32	22	35
	24	31	19	35
4	11	13	25	60
	12	13	28	60
	13	23	24	60
	14	23	25,5	60
	15	33	24	60
5	25	24	22	b – 40 p – 40
	26	14	23	b – 40 p – 40
	37	24	19,5	b – 40 p – 40
6	28	15	24,5	40
	29	35	21,5	40
	30	25	20,5	40
7	2	34	23	b – 45 l – 40
	3	34	23	b – 45 l – 40
	4	44	23	b – 45 l – 40
	5	44	23	45
	9	44	21,5	45
8	31	17	19,5	bd – 35 bm – 35 p – 50
	32	27	20	bd – 35 bm – 35 p – 50
	33	26	21,5	bd – 35 bm – 35 p – 50
9	34	37	25,5	mb – 35 ml – 35 db – 45 dl – 45
	35	37	20,5	mb – 35 ml – 35 db – 45 dl – 45
	36	36	22	mb – 35 ml – 35 d – 45

**Tab. 4:** Katalogisieren der Zähne unter Angabe der Zahnlänge und des Aufbereitungsgrades nach ISO (b – buccal, p – palatinal, l – lingual, d – distal, m – mesial)

### 2.3. Wurzelkanalaufbereitung und Füllung

Alle Zähne wurden trepaniert und mit Handinstrumenten vom Typ Kerrflex® (Kerr GmbH Liststrasse 28 D-76185 Karlsruhe) von der Größe ISO 10 bis maximal ISO 60 1mm über Apex hinaus manuell aufbereitet. Als Endgröße wurde eine Aufbereitungsgröße zwischen ISO 35 und ISO 60 individuell gewählt, weil je nach Art der Zähne bzw. Wurzeln das Kanallumen unterschiedlich groß war. Danach wurden die aufbereiteten Kanäle zuerst mit einer 3%igen Wasserstoffperoxyd-Lösung und dann mit einer 5%igen Natriumhypochlorit-Lösung gespült. Im Anschluss daran erfolgte eine Trocknung mit genormten Papierspitzen.

Die Wurzelkanäle wurden durch Guttapercha-Points von Loser & Co. in der Zentralstifttechnik abgefüllt. Als Sealer wurde Endomethasone N® von Pharma-Dental verwendet.

### 2.4. Randomisierte Aufteilung in drei Gruppen

Die 33 Zähne wurden randomisiert und zufällig in drei experimentelle Gruppen aufgeteilt. Dabei wurde ihre Morphologie berücksichtigt, sodass in jeder Gruppe die Zahl der verschiedenen Zahntypen gleich häufig vorhanden war. Jede Gruppe bestand dementsprechend aus 3 Schneidezähnen, 2 Eckzähnen, 4 Prämolaren und 2 Molaren (siehe Tab. 5, 6, 7).

	Präparat-Nr.	Zahn
1	6	11
2	17	22
3	22	42
4	11	13
5	14	23
6a	25a	24 (vest. Wurzel (W))
6b	25b	24 (pal. W.)
7	28	15
8	2	34
9	4	44
10a	31a	17 (vest.mes. W.)
10b	31b	17 (vest.dist. W.)
10c	31c	17 (pal. W.)
11a	34a	37 (mes. W.)
11b	34b	37 (dist. W.)

**Tab. 5:** Gruppe I (konventionelle WSR).

Nach randomisierter Aufteilung bestand die Versuchsgruppe I aus 3 Schneidezähnen, 2 Eckzähnen, 4 Prämolaren und 2 Molaren.

	<b>Präparat-Nr.</b>	<b>Zahn</b>
1	7	21
2	19	12
3	23	32
4	12	13
5	15	33
6a	26a	14 (vest. W.)
6b	26b	14 (pal. W.)
7	29	35
8a	3a	34 (mes. W.)
9	5	44
10a	32a	27 (vest.mes. W.)
10b	32b	27 (vest.dist. W.)
10c	32c	27 (pal. W.)
11a	35a	37 (mes. W.)
11b	35b	37 (dist. W.)

**Tab. 6:** Gruppe II (konventionelle WSR+Nd:YAG).  
Die Versuchsgruppe II bestand ebenfalls aus 3 Schneidezähnen, 2 Eckzähnen,  
4 Prämolaren und 2 Molaren.

	<b>Präparat-Nr.</b>	<b>Zahn</b>
1	8	11
2	20	22
3	24	31
4	13	23
5	16	33
6a	37a	24 (vest. W.)
6b	37b	24 (pal. W.)
7	30	25
8	10	34
9	9	44
10a	33a	26 (vest.mes. W.)
10b	33b	26 (vest.dist. W.)
10c	33c	26 (pal. W.)
11a	36a	36 (mes. W.)
11b	36b	36 (dist. W.)

**Tab. 7:** Gruppe III (WSR mit Er:YAG).  
Der Versuchsgruppe III wurden ebenso 3 Schneidezähne, 2 Eckzähne,  
4 Prämolare und 2 Molare zugeteilt.

## **2.5. Resektion**

### **2.5.1. Konventionelle Resektion mit Hilfe eines diamantierten Instrumentes**

Bei den 11 Zähnen der ersten Versuchsgruppe wurden die Wurzeln konventionell mit einem Diamantbohrer Nr. 8836KR 314 012 (Gebr. Grasseler GmbH & Co KG, Trophagener Weg 25, 32657 Lemgo) mit Hilfe einer Turbine (KaVo Super-Torque lux 3 650B, Firma Kaltenbach & Voigt, Biberach) mit 300.000 Umdrehungen pro Minute mit Luft-Wasser-Kühlung (65ml Spray/min) 2mm von der Wurzelspitze entfernt abgetrennt.

### **2.5.2. Konventionelle Resektion unter adjuvanter Anwendung eines Nd:YAG-Lasers**

Bei den Zähnen der zweiten Versuchsgruppe wurden die Wurzelspitzen ebenfalls mit dem feinen Diamantbohrer mit Hilfe einer Turbine bei Luft-Wasser-Kühlung um 2mm gekürzt (siehe oben). Im Anschluss daran wurde die Gesamtfläche der apikalen Resektionsstümpfe mit einem Nd:YAG-Laser (Sunlase 800 von Sunrise Technologies Inc. 47257 Fremont Boulevard Fremont Kalifornien 94538, USA) 20s lang durch gleichförmige Bewegung bestrahlt. Die Faser wurde im geringen Abstand zur Bestrahlungsoberfläche geführt (<1mm).

Folgende Laserparameter wurden in der Untersuchung verwendet:

- Faserdurchmesser: 320µm
- Leistungseinstellung: 2.0W
- Repetitionsrate: 20Hz
- Energie je Puls: 100mJ

### **2.5.3. Entfernung der Wurzelspitze mit einem Er:YAG-Laser**

Bei den Zähnen aus der dritten Versuchsgruppe wurden die Wurzelspitzen mit Hilfe eines gepulsten Er:YAG-Lasers (KaVo K·E·Y Laser 1242 System, Firma Kaltenbach & Voigt, Biberach) unter Wasser-Kühlung um 2mm gekürzt. Dabei wurden folgende Laserparameter gewählt:

- Repetitionsrate: 15Hz
- Energie je Puls: 250mJ
- Wassermenge: 5ml/min
- Handstück: : P 2056

Die jeweilige Energieleistung bzw. Pulszahl für jede Resektion kann Tabelle 8 entnommen werden.

	<b>Präparat-Nr.</b>	<b>Zahn</b>	<b>Energie (J)</b>	<b>Pulse</b>
1	8	11	75	303
2	20	22	181	724
3	24	31	72	291
4	13	23	196	787
5	16	33	125	500
6a	37a	24 (vest. W.)	45	181
6b	37b	24 (pal. W.)	103	413
7	30	25	76	306
8	10	34	76	305
9	9	44	128	512
10a	33a	26 (vest.mes. W.)	109	438
10b	33b	26 (vest.dist. W.)	100	400
10c	33c	26 (pal. W.)	97	391
11a	36a	36 (mes. W.)	84	336
11b	36b	36 (dist. W.)	84	339

**Tab. 8:** Angabe der Energieleistung bzw. Pulszahl bei der Abtrennung der Wurzelspitze mittels eines Er:YAG-Lasers (Versuchsgruppe III).

Im Anschluss an die Resektion wurden bei den mehrwurzigen Zähnen aus allen Versuchsgruppen die einzelnen Wurzeln mit einem Diamantbohrer Nr. 859 314 010 (Gebr. Grasseler GmbH & Co KG, Trophagener Weg 25, 32657 Lemgo) und einer Turbine (KaVo Super-Torque lux 3 650B, Firma Kaltenbach & Voigt, Biberach) unter Luft-Wasser-Kühlung abgetrennt.

## 2.6. REM-Dokumentation der Schnittflächen

15 Resektionsstümpfe (5 aus jeder Versuchsgruppe) wurden mit dem additionsvernetzten Silikon-Elastomer PRESIDENT micro System™ light body (Colténe Whaledent Dentalvertriebs GmbH Fischenstr. 39 D-78462 Konstanz) abgeformt. Bei der Verarbeitung wurde nach Herstellerangaben vorgegangen. Die angegebene Mischzeit beträgt für alle Konsistenzen von PRESIDENT™ 45s. Die totale Verarbeitungszeit überschritt bei keiner der Abformungen 1min 30s (Nach Herstellungsangaben sollte sie für PRESIDENT light body™ kleiner als 1min 45s gehalten werden). Die Abbindezeit ist mit 3min angegeben. Die fertige Hohlform wurde anschließend mit dem Epoxidharz Stycast® 1266 Part A+B (Fa. T-E-Klebertechnik, H.P. Thielen, Vahrenwalder Str. 131, 30165 Hannover) ausgegossen, um die benötigten Replicas für die Rasterelektronenmikroskopie herzustellen. Die Replicas wurden vor der Untersuchung gesputtert. Im Anschluss daran konnten diese Replica-Präparate mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskopes (XL 30 W-THP Package, PW 6635/15 Scanning Electron

Microscopes von Fa. Philips Electronics N.V. Eindhoven, The Netherlands) im Sekundärelektronenbild unter 100-, 500- bzw. 2000-facher Vergrößerung untersucht werden. Während der Untersuchung der Präparate wurde eine Stromspannung von 10,0kV beibehalten.

## **2.7. Fotografische Dokumentation**

Vor dem Penetrationstest bei den Nativ-Präparaten wurden alle Resektionsoberflächen mit Hilfe des Lupenmikroskops von Wild Heerbrugg AG und entsprechender Fotoausrüstung (Wild MPS 51 Fotoautomat mit dem Film Sensia<sup>®</sup> 100 von Fujichrome) untersucht und fotografiert. Dazu wurde die 20-fache Gesamtvergrößerung gewählt. Die Bilder wurden dann nach folgenden Kriterien untersucht:

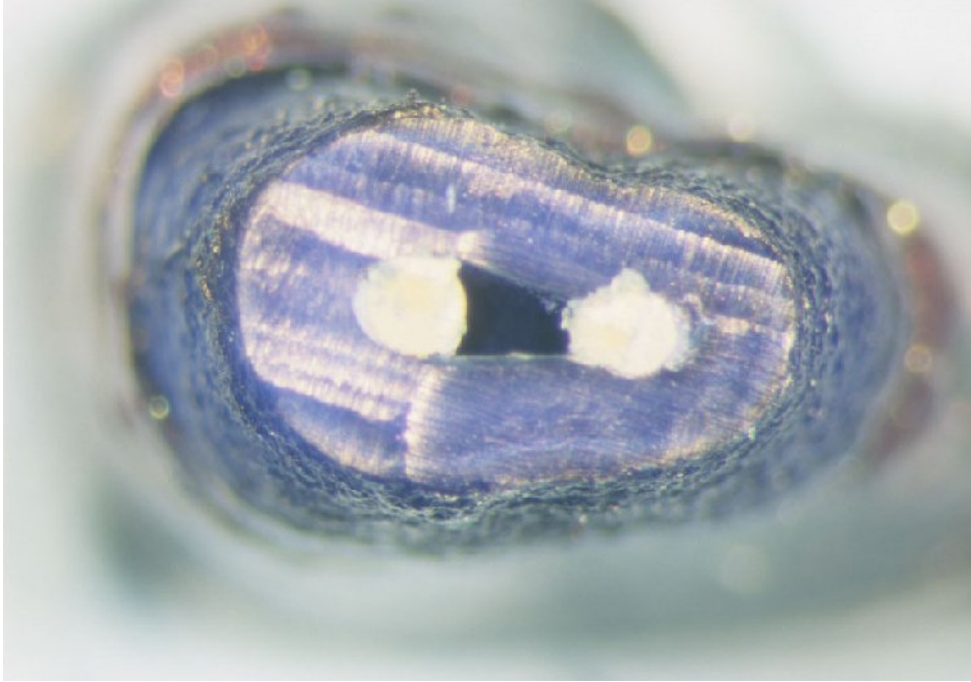
- ob die Wurzelfüllung im Querschnitt vollständig war
- ob Spalten zwischen Wurzelfüllung und Wurzelkanal vorhanden waren
- ob die Resektionsflächen Schliffspuren, farbliche Veränderungen oder Verbrennungsspuren enthielten (siehe Anhang, Tabelle 13)

## **2.8. Penetrationstest**

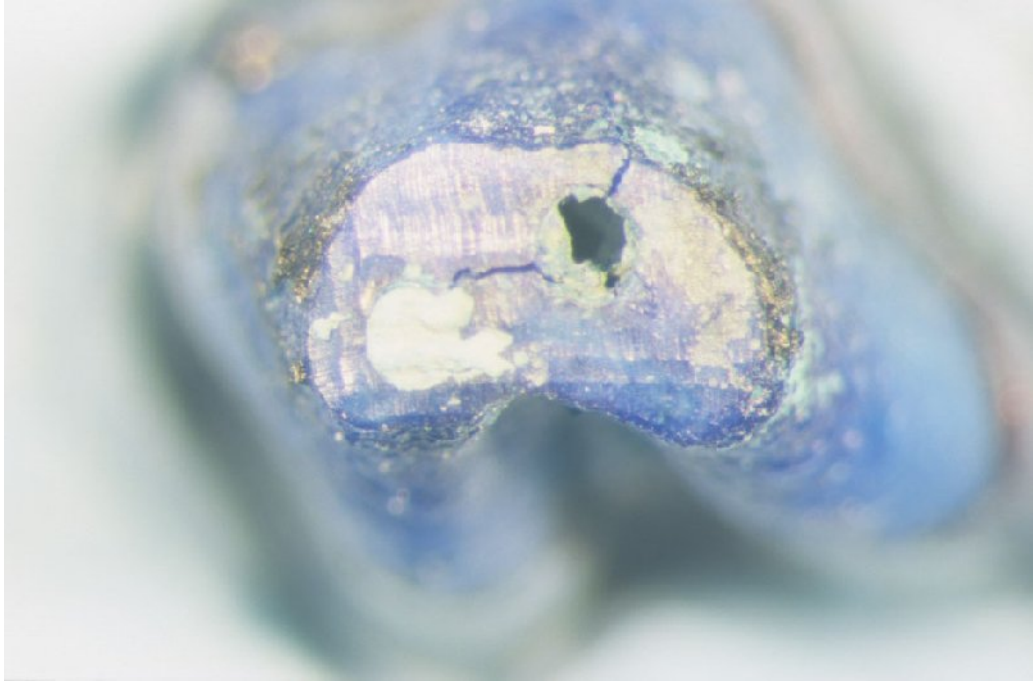
Die Wurzeloberflächen aller Präparate wurden mit zwei Schichten vom Nagellack versiegelt, wobei die Resektionsschnitte und an sie angrenzende 2mm der Wurzeloberfläche ausgespart blieben. Die Proben wurden in ein Tauchbad mit 0,5%ger Methylen-blau-Lösung bei Zimmertemperatur 5mm tief für 48 Stunden eingetaucht. Danach wurden die Präparate entnommen, 15min lang im laufenden Wasser ausgespült und 1 Stunde lang luftgetrocknet.

Zur Beurteilung der Farbpenetration wurden die Wurzeln so abgetrennt, dass der Schnitt 5mm von der Resektionsfläche entfernt war. Danach wurden diese Schnittflächen und die Resektionsflächen unter dem Lichtmikroskop unter 10-facher bzw. 20-facher Gesamtvergrößerung fotografiert. Die Bilder der Resektionsflächen nach dem Penetrationsversuch wurden nach folgenden Kriterien beurteilt (Beispiele siehe Abb. 3, 4, 5):

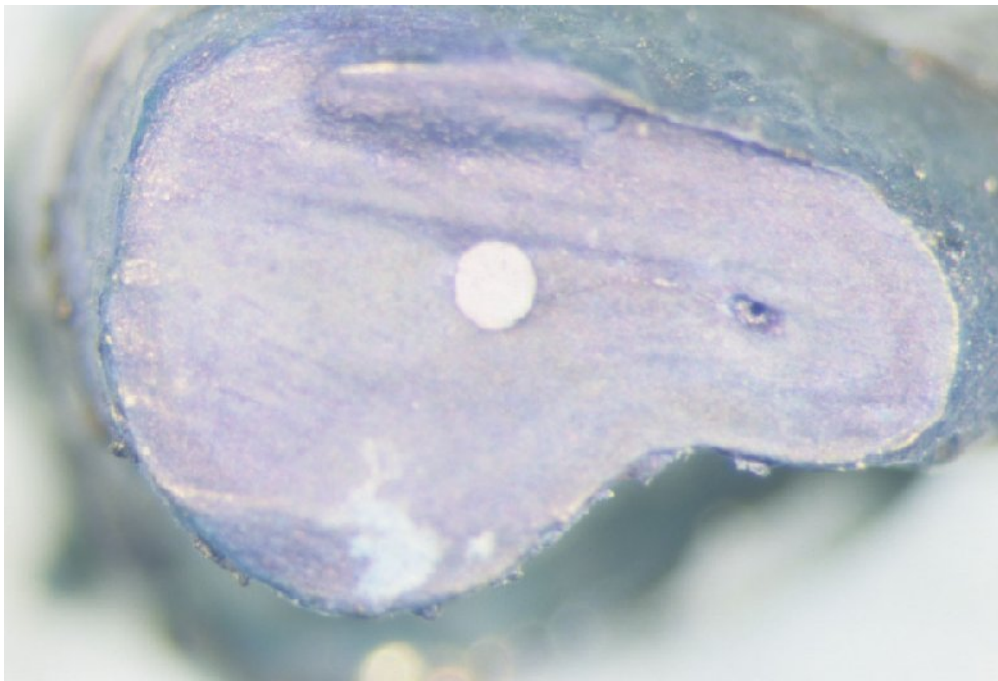
- Anfärbung der Resektionsfläche (schwach/mittel/stark)
- Anfärbung von Fehlstellen
- Anfärbung um den Kanal herum (siehe Anhang, Tab. 14)



**Abb. 3:** Präparat der Kontrollgruppe nach dem Farbpenetrationstest zeigt eine starke Anfärbung der Resektionsfläche, bei Fehlstellen und um den Kanal herum (Methylen blau, x20).



**Abb. 4:** Präparat der Versuchsgruppe 2 weist eine starke Anfärbung der Resektionsfläche, bei Fehlstellen und um den Kanal herum auf (Methylen blau, x20).

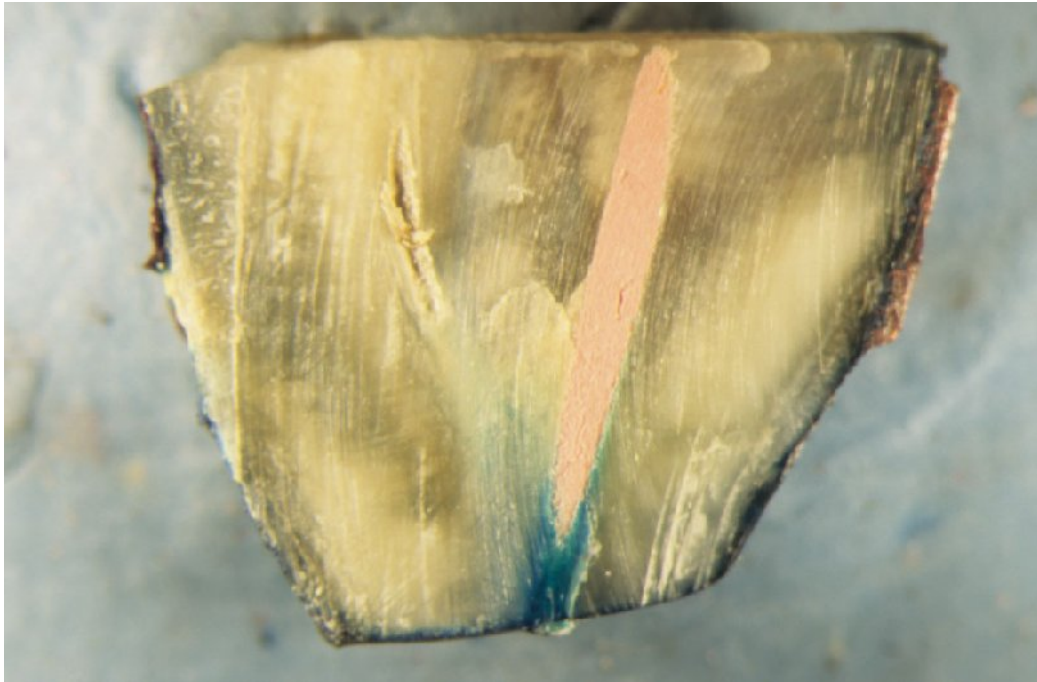


**Abb. 5:** Präparat der Versuchsgruppe 3, der eine mittelstarke Anfärbung der Resektionsfläche bzw. um den Kanal herum und eine starke Anfärbung bei Fehlstellen zeigt (Methylen blau, x20).



### 2.9. Vermessung der Farbpenetrationstiefe.

Um die Penetrationstiefe ausmessen zu können, wurden die Präparate mit einer dünnen diamantierten Trennscheibe buccolingual geteilt und anschließend unter 10-facher Gesamtvergrößerung lichtmikroskopisch untersucht und fotografiert (Beispiel siehe Abb. 6). Es wurde dann die maximale Farbpenetration im Bereich der Schnittstelle in den Spalt und in die Schnittfläche in mm ausgemessen und dokumentiert (siehe Anhang, Tab. 15).



**Abb. 6:** Präparat der Versuchsgruppe 3 nach der buccolingualen Teilung. Penetrationstiefe beträgt 2,6mm in den Spalt bzw. 0,1mm in die Schnittfläche.

## **2.10. Dokumentation der Befunde**

Alle relevanten Daten wurden tabellarisch zusammengefasst und ausgewertet.

Für eine fotografische Dokumentation wurden Diapositive herangezogen. Sie wurden digitalisiert und elektronisch ausgewertet.

Die Schnittflächen wurden erstmal unmittelbar nach der WSR fotografiert, um festzustellen, ob es zu Fehlstellen gekommen ist (siehe Tabelle 8). Angaben wurden in „+“ bzw. „-“ gemacht.

Nach der buccolingualen Teilung der angefärbten Präparate wurde die Tiefe der Farbpenetration in die Wurzelfüllung (WF), in den Spalt zwischen WF und der Wurzelkanalwand und in die Schnittfläche in mm ausgemessen.

Das Ziel der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung der Präparate war es, die bearbeiteten Oberflächen durch 100-, 500- bzw. 2000-fache Vergrößerung einer vergleichenden Untersuchung zu unterziehen. Es sollte festgestellt werden, welche charakteristischen Unterschiede sich zwischen einer konventionellen Resektion, einer Resektion unter adjuvanter Anwendung eines Nd:YAG-Lasers und einer Resektion mit einem Er:YAG-Laser ergeben.

## **2.11. Statistische Auswertung**

Über die diskriptive Darstellung der Ergebnisse hinaus wurde bezogen auf die Parameter „WF im Querschnitt vollständig“, „Spalten zwischen Guttepercha und Kavität vorhanden“, „Anfärbung der Resektionsfläche“, „Anfärbung bei Fehlstellen“, „Anfärbung um den Kanal herum“ mit dem CHI-Quadrat-Test untersucht, ob signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen 1, 2 und 3 bestehen [ $\alpha = 0,05$ ] (Exel-Version 2003).

## **3. Ergebnisse**

### **3.1. Einführung**

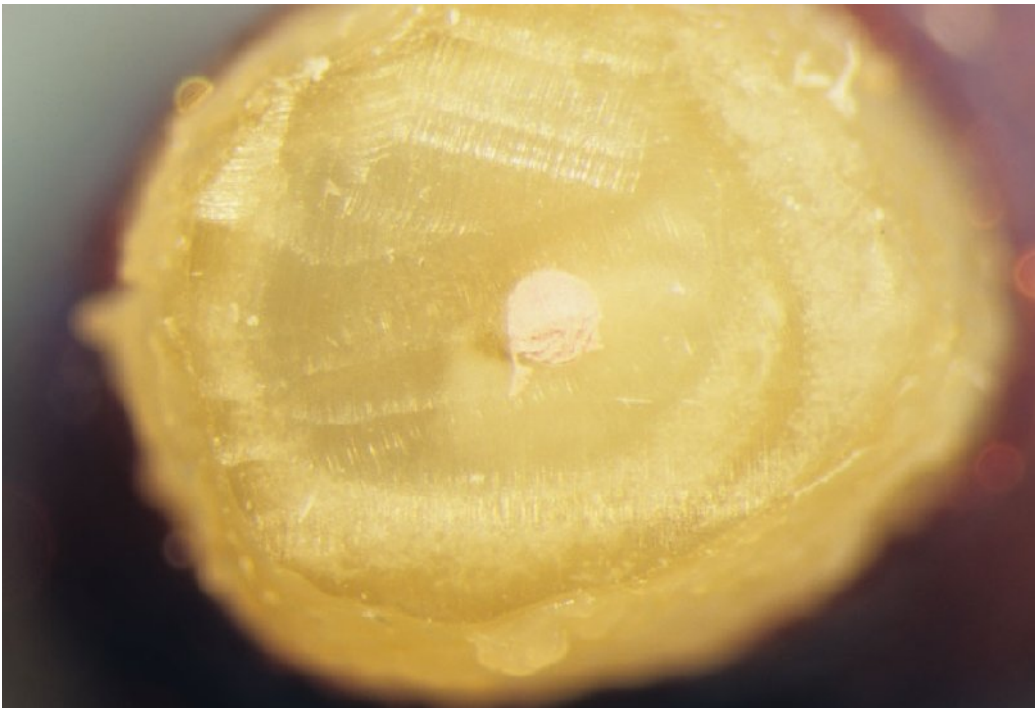
In der vorliegenden Untersuchung wurde die Resektion der Wurzelspitze mit drei Techniken durchgeführt. Als Versuchsmaterial wurden 33 extrahierte Zähne (45 Wurzeln) verwendet, die in drei Gruppen randomisiert aufgeteilt wurden. Die Zähne aus der ersten Versuchsreihe wurden konventionell reseziert. Die Resektionsflächen der Zähne aus der zweiten Versuchsreihe wurden nach mechanischer Resektion mit einem Nd:YAG-Laser bestrahlt. Die Zähne der dritten Versuchsgruppe wurden mit einem Er:YAG-Laser reseziert.

### **3.2. Morphologische Bewertung der Resektionsflächen vor Farbpenetration**

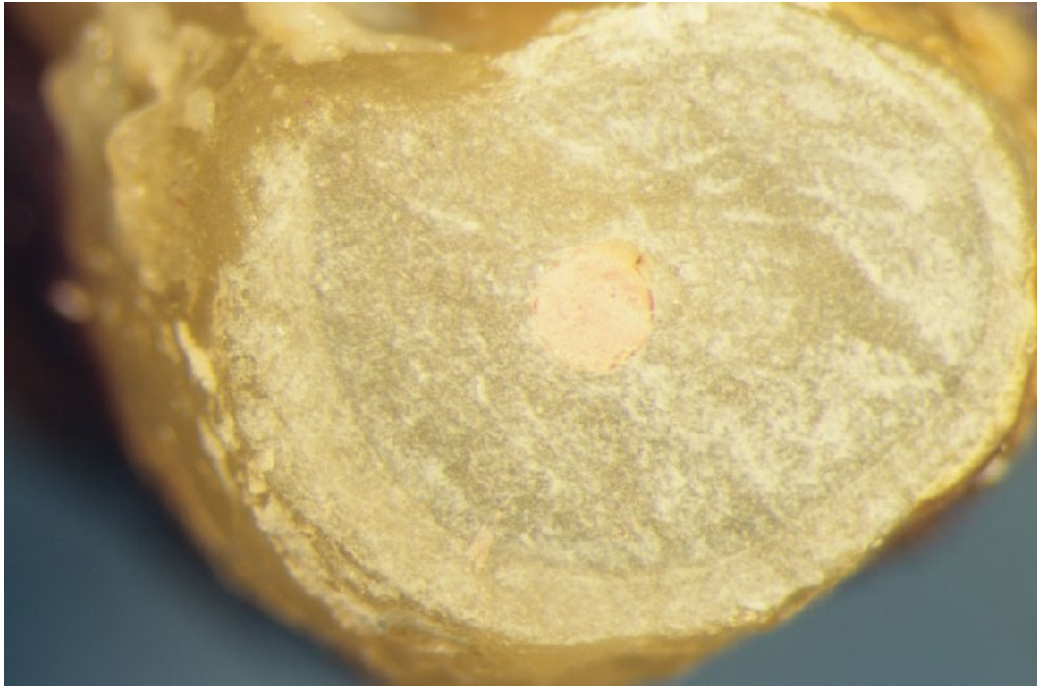
Bei der mikroskopischen Untersuchung der Oberfläche haben alle Präparate der Kontrollgruppe und der Versuchsgruppe mit den Zähnen, deren Resektionsflächen mit dem Nd:YAG-Laser bearbeitet wurden, Schliffspuren bedingt durch die mechanische Abtragung der Zahnhartsubstanz (Beispiele siehe Abb. 7 und 8). Bei den mit einem Er:YAG-Laser resezierten Präparaten wurden erwartungsgemäß keine Schliffspuren beobachtet. Sie zeigten aber weißliche Verfärbungen, die offensichtlich durch die Einwirkung des Er:YAG-Laser entstanden (Beispiel siehe Abb. 9). Im Gegensatz dazu zeigten alle Präparate der ersten beiden Gruppen keine farblichen Veränderungen. Verbrennungsspuren (Karbonisierungen) waren bei keinem der Präparate zu finden.



**Abb. 7:** Präparat der Versuchsgruppe 1 weist durch mechanische Abtragung der Zahnhartsubstanz entstandene Schliffspuren auf (x20).



**Abb. 8:** Präparat der Versuchsgruppe 2 zeigt ebenfalls durch die mechanische Abtragung entstandene Schliffspuren (x20).



**Abb. 9:** Präparat der Versuchsgruppe 3 zeigt durch die Einwirkung des Er:YAG-Lasers entstandene weißliche Verfärbungen (x20).

47% Präparate der ersten, 40% Präparate der zweiten und 53% Präparate der dritten Versuchsgruppe zeigten eine vollständige Wurzelfüllung im Querschnitt (Tab. 9).

Bei 47% Präparate der ersten, 40% Präparate der zweiten und 67% Präparate der dritten Versuchsreihe waren keine Spalten zwischen Guttapercha und Kavität zu beobachten (siehe Tab. 9). Die statistische Überprüfung (CHI-Quadrat-Test) ergab, dass im Bezug auf die Parameter „WF im Querschnitt vollständig oder nicht“ bzw. „Spalten zwischen Guttapercha und Kavität vorhanden oder nicht“ keine signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen 1,2 und 3 bestanden.

Versuchs- gruppe		Oberflächenmorphologie			WF im Querschnitt vollständig	Spalten zwischen Guttapercha und Kavität vorhanden
		Schliffspuren	farbliche Veränderung	Verbrennungs- Spuren		
I	+	15 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	7 / 47%	8 / 53%
	-	0 / 0%	15 / 100%	15 / 100%		
II	+	15 / 100%	0 / 0%	0 / 0%	6 / 40%	9 / 60%
	-	0 / 0%	15 / 100%	15 / 100%		
III	+	0 / 0%	15 / 100%	0 / 0%	8 / 53%	5 / 33%
	-	15 / 100%	0 / 0%	15 / 100%		

**Tab. 9:** Oberflächenstruktur der Resektionsfläche.

Schliffspuren waren in der Versuchsgruppen 1 und 2 nachweisbar. Verbrennungsspuren konnten nirgendwo nachgewiesen werden. Nach der Er:YAG-Laser-Applikation trat eine weißlich gefärbte Oberfläche auf. Die Wurzelfüllung (WF) war in allen Versuchsgruppen teilweise unvollständig [n = 15 / Versuchsgruppe].

### 3.3. Bewertung der Resektionsflächen nach Farbpenetration

Bei der Beurteilung der Farbpenetration wurde eine Abschätzung mit dreistufiger Entscheidung vorgenommen (siehe Tab. 10, Beispiele siehe Kapitel 2.8.). Die Bezeichnung „+“ steht hier für eine schwache Anfärbung, „++“ entsprechend für eine mittelstarke und „+++“ für eine starke Anfärbung.

Nach Durchführung des Farbpenetrationstests hat sich folgendes ergeben:

Alle Präparate der ersten Versuchsgruppe zeigten mittelstarke (37%) bis starke (67%) Anfärbung der Resektionsfläche und ebenfalls mittelstarke (27%) bis starke (73%) Anfärbung um den Wurzelkanal herum. Bei zwei Präparaten (14%) aus dieser Gruppe wurde eine Anfärbung der Fehlstellen beobachtet (schwach – 7%, stark – 7%) (siehe Tab. 10).

Alle Präparate der zweiten Versuchsgruppe zeigten eine starke Anfärbung der Resektionsflächen und Anfärbung um den Kanal herum. Bei einem Drittel der Präparate dieser Versuchsreihe wurde ebenfalls starke Anfärbung bei Fehlstellen der WF festgestellt (siehe Tab. 10).

Alle Präparate der dritten Versuchsgruppe zeigten mittelstarke (87%) bis starke (13%) Anfärbung der Resektionsfläche und ebenfalls mittelstarke (40%) und starke Anfärbung um den Kanal herum. Bei insgesamt 40% der Präparate war Anfärbung bei Fehlstellen zu beobachten (mittelstark -13%, stark – 27%) (siehe Tab. 10). Die statistische Überprüfung (CHI-Quadrat-Test) ergab, dass bezogen auf die Parameter „Anfärbung der Resektionsfläche“, „Anfärbung bei Fehlstellen“, „Anfärbung um den Kanal herum“ signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen 1,2 und 3 bestanden.

Daraus ergibt sich, dass bei den Präparaten der dritten Versuchsgruppe die günstigsten Ergebnisse erzielt wurden. Insgesamt war die Anfärbung der Resektionsfläche und die Anfärbung um den Wurzelkanal herum bei den meisten Präparaten dieser Gruppe weniger ausgeprägt als bei den Präparaten der ersten beiden Versuchsgruppen. Dagegen zeigten sich auch die meisten angefärbten Fehlstellen in der dritten Gruppe (40% der Präparate).

Versuchsgruppe		Anfärbung der Resektionsfläche	Anfärbung bei Fehlstellen	Anfärbung um den Kanal herum
<b>I</b>	+	0 / 0%	1 / 7%	0 / 0%
	++	5 / 33%	0 / 0%	4 / 27%
	+++	10 / 67%	1 / 7%	11 / 73%
<b>II</b>	+	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
	++	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
	+++	15 / 100%	5 / 33%	15 / 100%
<b>III</b>	+	0 / 0%	0 / 0%	0 / 0%
	++	13 / 87%	2 / 13%	6 / 40%
	+++	2 / 13%	4 / 27%	9 / 60%

**Tab. 10:** Ergebnisse des Farbpenetrationstests. Bis auf ein Präparat der Kontrollgruppe, das eine schwache Anfärbung bei Fehlstellen zeigte, wurde die Anfärbung der Resektionsfläche, bei Fehlstellen und um den Kanal herum als mittelstark bis stark eingestuft.

„+“ - schwach  
 „++“ - mittel  
 „+++“ - stark

### 3.4. Bewertung der Penetrationstiefe

Es wurde die durchschnittliche Penetrationstiefe im Bereich der Schnittstelle in den Spalt und in die Schnittfläche für jede Versuchsgruppe errechnet. Die Bewertung der Penetrationstiefe ergab, dass die Präparate der ersten Versuchsgruppe die tiefste durchschnittliche Farbpenetration in die Schnittfläche (0,8mm) zeigten. Die Werte der Farbpenetration in den Spalt waren hier am geringsten von den drei Gruppen (1,3mm) (siehe Tab. 11).

Bei den Präparaten der dritten Versuchsgruppe wurde dagegen die tiefste Farbpenetration in den Spalt (2,2mm) und die geringsten Werte bei der Farbpenetration in die Schnittfläche von 0,45mm festgestellt (siehe Tab. 11).

Die Werte der Präparate aus der zweiten Versuchsgruppe lagen dem entsprechend in der Mitte: Penetrationstiefe in den Spalt betrug 1,9mm und in die Schnittfläche 0,7mm (siehe Tab. 11).

Daraus erschließt sich, dass durch die Einwirkung vom Nd:YAG-Laserstrahlug nach einer konventionellen Resektion mit in dieser Untersuchung gewählten Parameter eine Senkung der

Permeabilität von 12,5% im Bereich der Schnittfläche erzielt wurde, gleichzeitig war eine Permeabilitätszunahme von 46,2% im Bereich der Grenze zwischen der Wurzelfüllung und der Kanalwand zu verzeichnen.

Nach der Anwendung eines Er:YAG-Lasers im Rahmen der Resektion wurde eine Permeabilitätssenkung von 43,75% im Bereich der Schnittfläche nachgewiesen; die Werte im Bereich des Spaltes waren um 69,2% höher im Vergleich zu der Kontrollgruppe, was auf eine wesentlich höhere Durchlässigkeit hindeuten könnte.

Versuchsgruppe	Farbpenetration im Bereich der Resektionsfläche (in mm)	
	in den Spalt	in die Schnittfläche
I	1,3 ± 0,17	0,8 ± 0,34
II	1,9 ± 0,51	0,7 ± 0,26
III	2,2 ± 0,37	0,45 ± 0,07

**Tab. 11:** Ermittlung der durchschnittlichen Penetrationstiefe. Im Vergleich zu der Kontrollgruppe ist die Penetrationstiefe in den Spalt nach der Nd:YAG-Laseranwendung um 46,2% und nach der Resektion mit einem Er:YAG-Laser um 69,2% angestiegen. Im Bereich der Schnittfläche wurde in der zweiten und dritten Versuchsgruppe eine Penetrationsminderung entsprechend um 12,5% bzw. 43,75% nachgewiesen.

### 3.5. Bewertung des Querschnitts 5mm von Resektionsfläche

Bei der Bewertung des Querschnitts 5mm von der Resektionsfläche ging es um die Dichtigkeit / Durchlässigkeit in dem Bereich der Schnittfläche (siehe Anhang, Tab. 16).

Bei Präparaten der Kontrollgruppe kam es zu keiner Anfärbung um den Kanal herum auf dieser Schnittebene.

Bei den Präparaten der zweiten Versuchsgruppe konnten bei einem Drittel der Präparate eine Anfärbung um den Wurzelkanal herum nachgewiesen werden.

Bei 20% der Präparate der dritten Gruppe wurden Anfärbungen festgestellt (siehe Tab. 12).



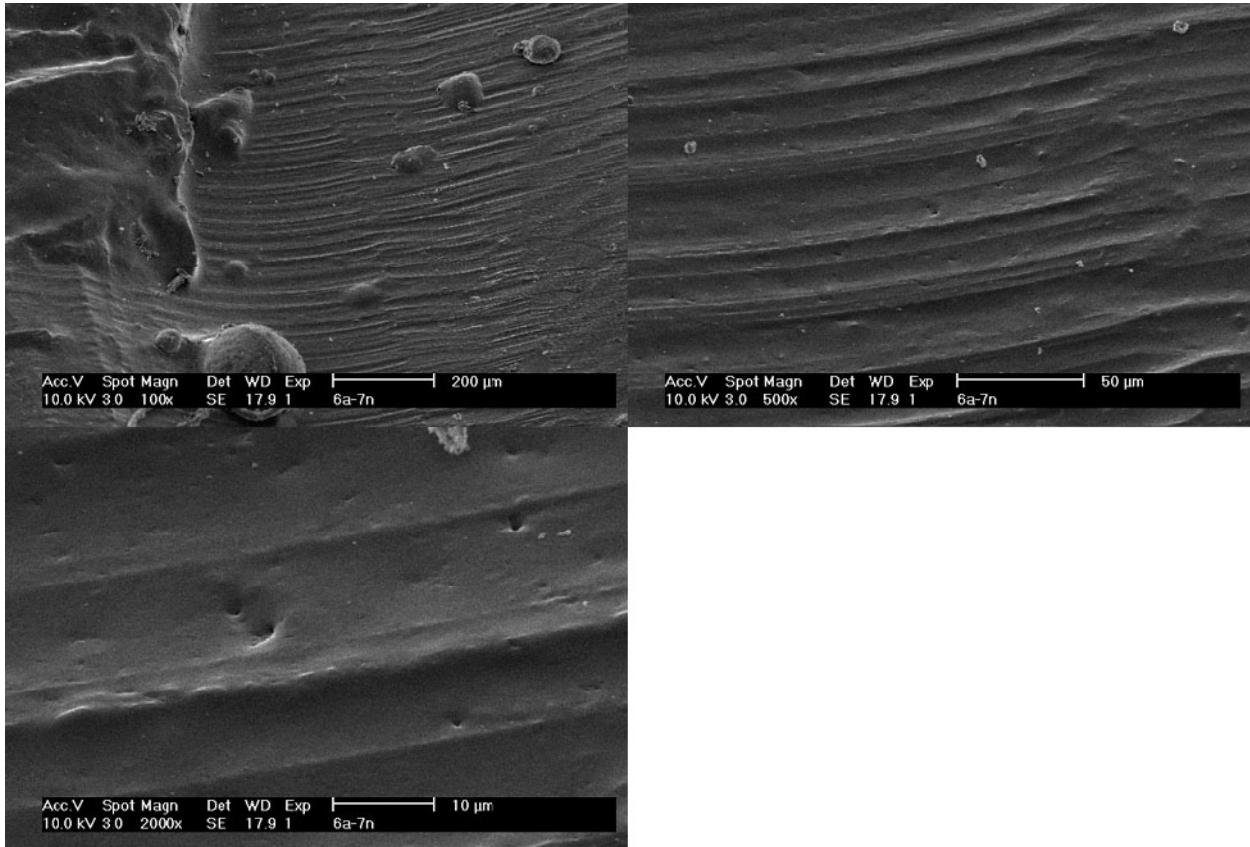
<b>Präparat-Nr.</b>	<b>Anfärbung der Schnittfläche um Kanal herum</b>
<b>Versuchsgruppe I</b>	0 / 0%
<b>Versuchsgruppe II</b>	5 / 33%
<b>Versuchsgruppe III</b>	3 / 20%

**Tab. 12:** Zusammenfassung (Auswertung des Querschnitts 5mm von Resektionsfläche entfernt).

### **3.6. Morphologische Struktur der Resektionsflächen im REM**

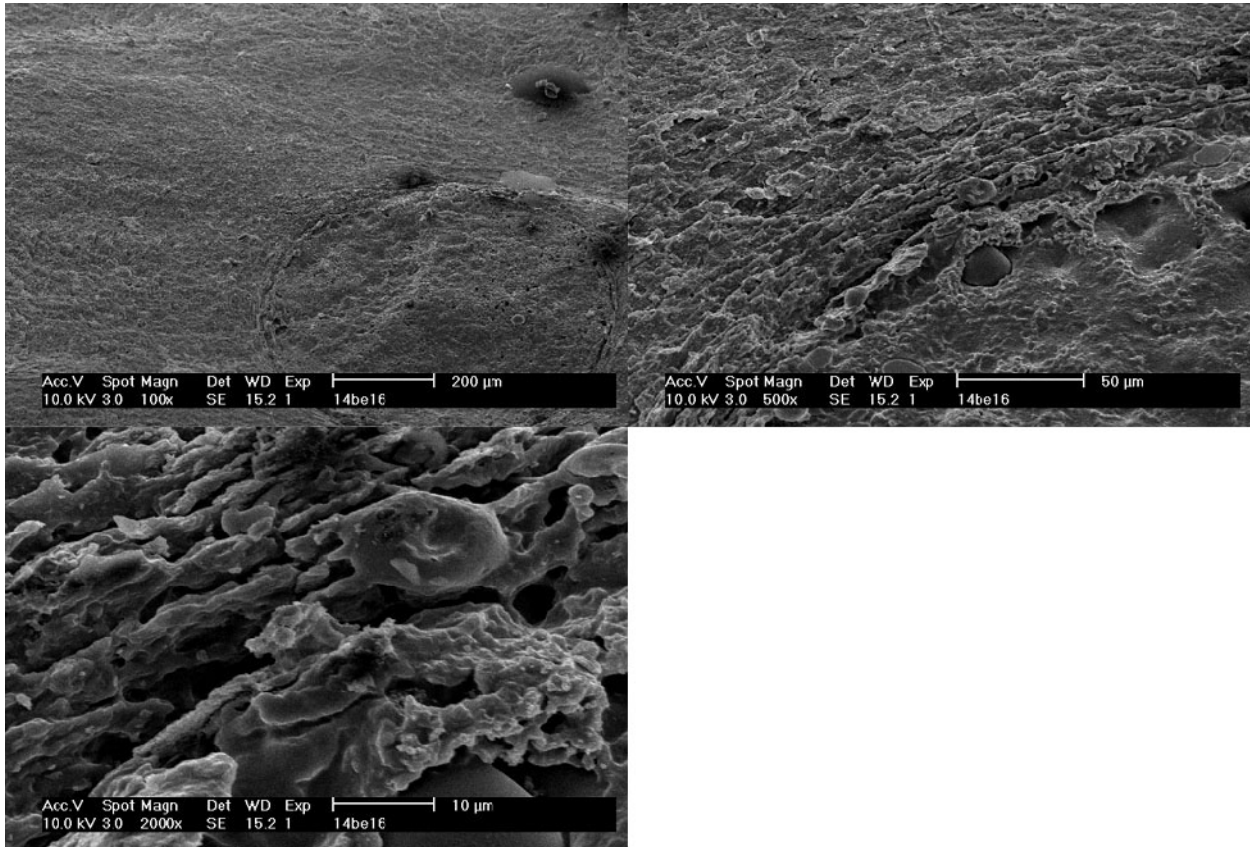
Es wurden 15 Replica-Präparate (5 aus jeder Versuchsgruppe) nach der im Abschnitt 2.6. beschriebenen Technik hergestellt. Sie wurden rasterelektronenmikroskopisch unter 100-, 500- bzw. 2000-facher Vergrößerung untersucht.

Eine Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Darstellung der Resektionsflächen zeigte bei allen Proben der Kontrollgruppe und bei den mit dem Nd:YAG-Laser bestrahlten Präparaten durch die mechanische Abtragung der Zahnhartsubstanz entstandene Schliffspuren und Unebenheiten (siehe Abb. 10).



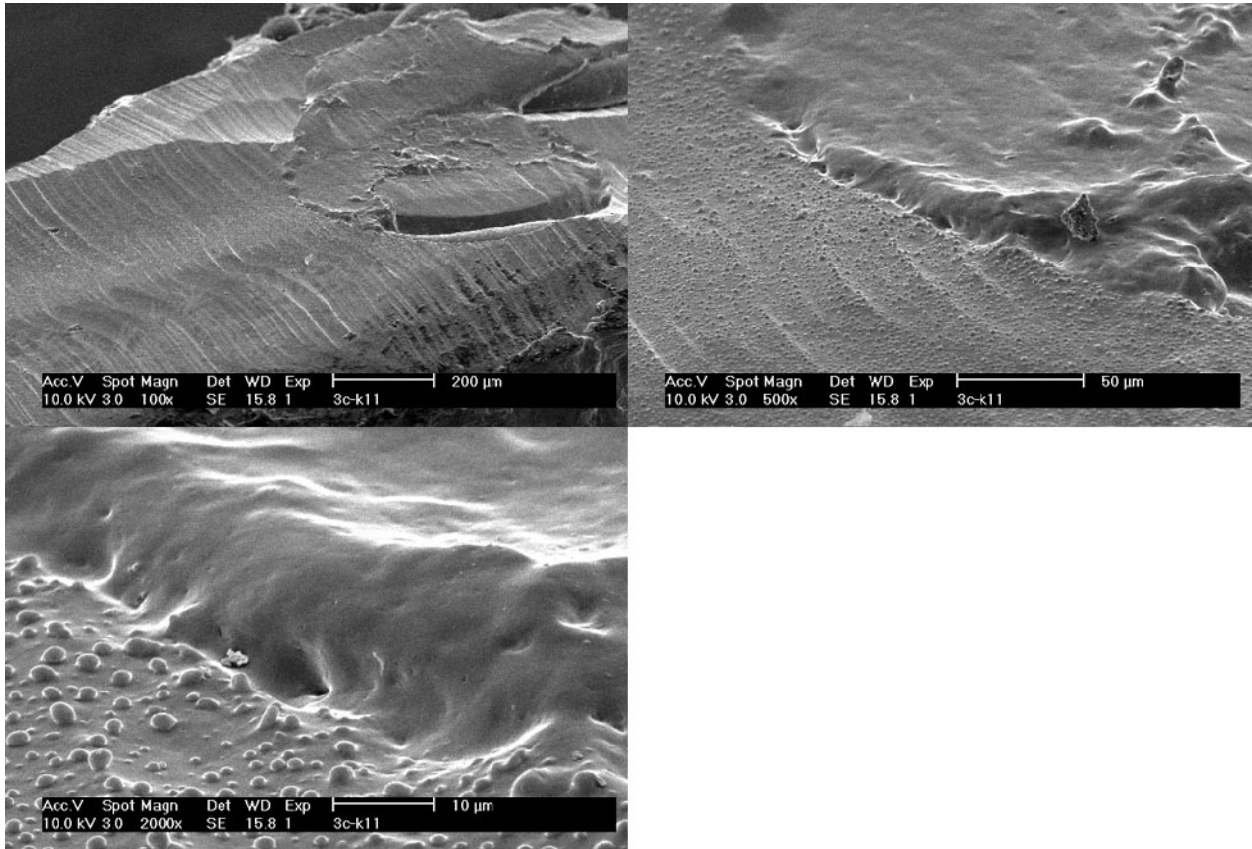
**Abb. 10:** REM-Abbildungen (1:100, 1:500, 1:2000) einer Resektionsfläche der Versuchsgruppe 2 zeigen beispielhaft Schliffspuren und Unebenheiten die durch die mechanische Abtragung der Zahnhartsubstanz entstanden sind.

Die mit dem Er:YAG-Laser resezierten Präparate zeigen eine raue, zerklüftete Oberflächenstrukturierung mit schollenartig abgeplatzten Trümmern und ungleichmäßig über die Oberfläche verteilten Einschmelzungen (siehe Abb. 11).

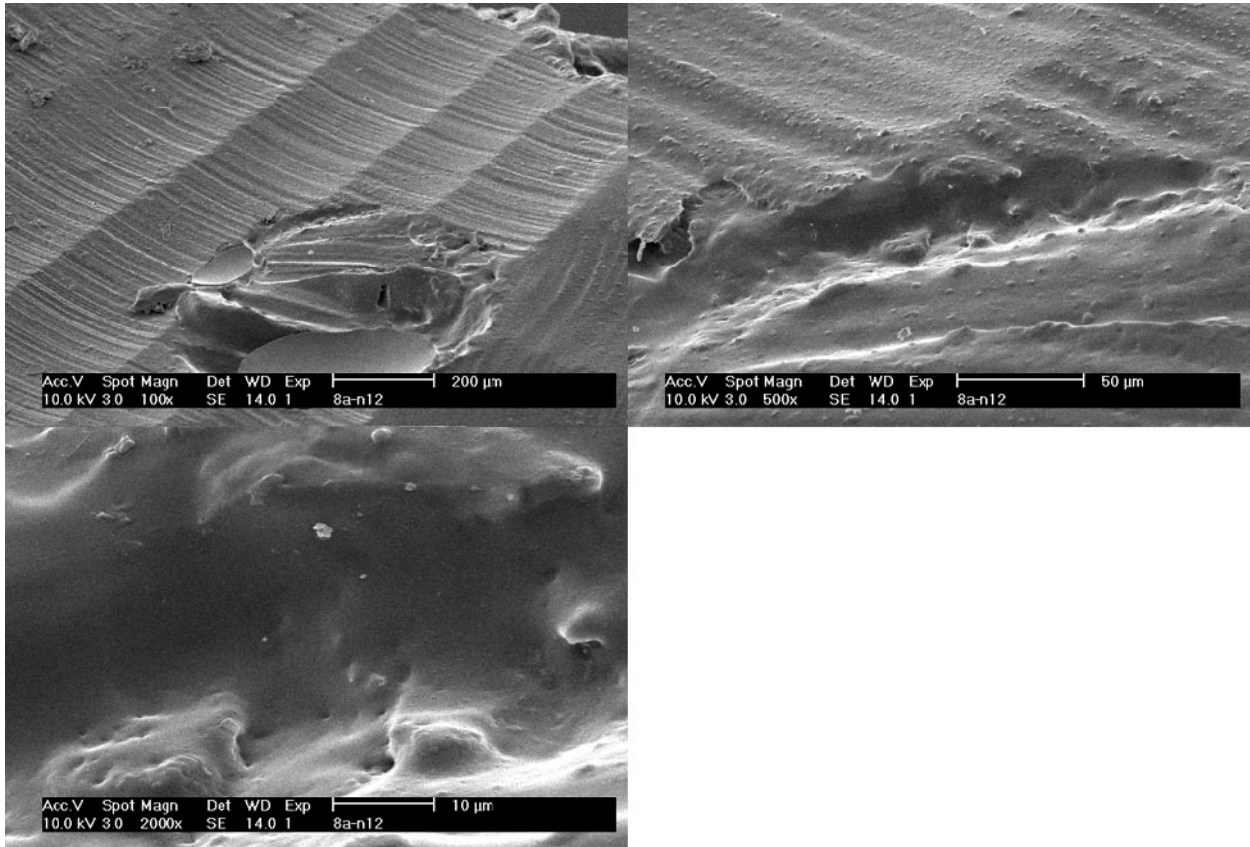


**Abb. 11:** REM-Abbildungen (1:100, 1:500, 1:2000) einer Resektionsfläche der Versuchsgruppe 3 zeigen Trümmer und Einschmelzungen auf der Oberfläche, die rau und zerklüftet erscheint.

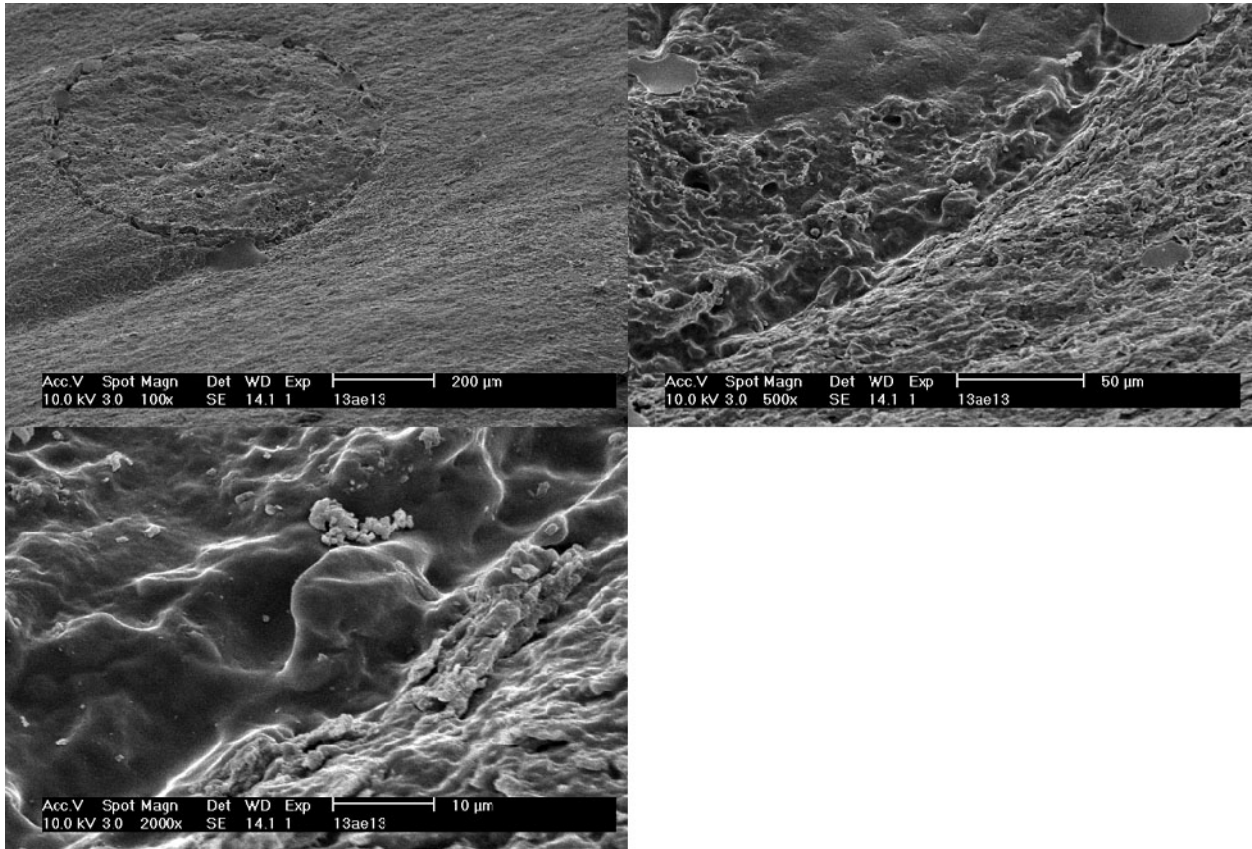
Der Spalt zwischen Kanalwand und Wurzelfüllung ist mehr oder weniger gut zu erkennen, wobei er bei den Präparaten der dritten Versuchsgruppe insgesamt weniger ausgeprägt erscheint (siehe Abb. 12, 13 und Abb. 14).



**Abb. 12:** REM-Abbildungen (1:100, 1:500, 1:2000) einer Resektionsfläche der Kontrollgruppe: sichtbar sind die Schliﬀspuren insbesondere im Bereich des Dentins. Der Spalt zwischen der Kanalwand und Guttapercha ist gut erkennbar. Kugelige Strukturen auf der sind Präparationsartefakte (Luft- / Wasserblasen).



**Abb. 13:** REM-Abbildungen (1:100, 1:500, 1:2000) einer Resektionsfläche der Versuchsgruppe 2: es zeigen sich Schliffspuren insbesondere im Dentin. Der Spalt zwischen der Kanalwand und Guttapercha ist relativ deutlich ausgeprägt.



**Abb. 14:** REM-Abbildungen (1:100,1:500,1:2000) einer Resektionsfläche der Versuchsgruppe 3:  
 - erkennbar ist eine raue Mikrostruktur der Oberfläche mit Trümmern und Einschmelzungen in Dentin und Guttapercha.  
 - Ein Spalt zwischen der Kanalwand und Guttapercha ist sichtbar. Die Fläche ist insgesamt relativ eben.

## 4. Diskussion

### 4.1. Zusammenfassung, Bewertung der experimentellen Ergebnisse

In der vorliegenden Untersuchung sollten Laseranwendungen im Rahmen einer Resektion der Wurzelspitze untersucht werden. Es wurden drei Untersuchungsgruppen gebildet, auf die 33 extrahierte Zähne randomisiert aufgeteilt wurden: In der Kontrollgruppe wurden die Präparate mit diamantiertem Schleifinstrumenten reseziert, bei der zweiten Gruppe wurde nach mechanischer Resektion ein Nd:YAG-Laser als Adjuvans angewendet und bei der dritten Gruppe erfolgte eine Resektion mit Hilfe eines Er:YAG-Lasers.

Die mikroskopische Oberflächenuntersuchung vor Farbpenetration zeigte in den Versuchsgruppen 1 und 2 Schliffspuren, in der Versuchsgruppe 3 weißliche Verfärbungen. Verbrennungsspuren konnten in keiner Gruppe nachgewiesen werden.

47% Präparate der ersten, 40% Präparate der zweiten und 53% Präparate der dritten Versuchsgruppe wiesen im Querschnitt eine vollständige Wurzelfüllung auf.

Bei 47% Präparate der ersten, 40% Präparate der zweiten und 67% Präparate der dritten Versuchsreihe wurden keine Spalten zwischen Guttapercha und Kavität festgestellt.

Nach dem durchgeführten Farbpenetrationstest haben Präparate der dritten Versuchsgruppe mikroskopisch weniger ausgeprägte Anfärbung gezeigt als die der beiden ersten Gruppen.

Nach Errechnung der durchschnittlichen Farbpenetrationstiefe ergab sich, dass bei den Präparaten der Kontrollgruppe 1,3mm in den Spalt und 0,8mm in die Schnittfläche gemessen wurden. In der zweiten Gruppe lagen die Werte entsprechend bei 1,9 bzw. 0,7mm und bei 2,2 bzw. 0,45mm in der dritten Gruppe. Nach der adjuvanten Anwendung eines Nd:YAG-Lasers im Rahmen der Resektion wurde eine Reduktion der Farbstoffpenetration von 12,5% im Bereich der Schnittfläche und eine Zunahme der Farbstoffpenetration von 46,2% im Bereich der Grenze zwischen der Wurzelfüllung und der Kanalwand festgestellt. Nach der Resektion mittels eines Er:YAG-Lasers wurde eine Permeabilitätssenkung von 43,75% im Bereich der Schnittfläche und gleichzeitig eine Erhöhung der Durchlässigkeit um 69,2% im Bereich des Spaltes im Vergleich zu der Kontrollgruppe nachgewiesen.

Bei der morphologischen Untersuchung wurden in den ersten beiden Gruppen Schliffspuren und Unebenheiten bedingt durch die mechanische Abtragung der Zahnhartsubstanz nachgewiesen. Außerdem zeigten diese Präparate kugelförmige Strukturen in der Größenordnung von 1 bis 2µm Durchmesser, die bei den mit einem Nd:YAG-Laser bestrahlten Präparaten stellenweise

eingeschmolzen erschienen. Es wurden auch abwechselnd recht saubere Abschnitte und Areale mit den lockeren Auflagen bzw. Verunreinigungen beobachtet.

Einzelne Präparate aus jeder Versuchsgruppe zeigten größere kugelige bzw. flache runde Strukturen, die wahrscheinlich auf die Luftblasenwirkung zurückzuführen sind.

Bei den Präparaten der dritten Versuchsgruppe trat eine raue, zerklüftete Oberflächenstruktur mit schollenartig abgeplatzten Trümmern und ungleichmäßig über die Oberfläche verteilten Einschmelzungen auf.

Der Spalt zwischen Kanalwand und Wurzelfüllung erschien bei den Präparaten der dritten Versuchsgruppe insgesamt weniger ausgeprägt, was auf eine bessere Abdichtung bei diesen Präparaten hindeuten könnte.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei den Untersuchungen keine Anzeichen der weitreichenden Nebenwirkungen des Lasers beobachtet wurden.

#### **4.2. Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zum vorliegenden Literaturbefund**

Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die Ergebnisse früherer Untersuchungen.

Es zeigte sich, dass in der Regel keine thermischen Schädigungen zu erwarten sind.

Bürger (1996) berichtet von der Verschmelzung des Dentins und einer eventuellen Karbonisationsschicht auf der Resektionsfläche nach der adjuvanten Anwendung eines Nd:YAG-Lasers. Die dadurch erzielte Permeabilitätsveränderung trägt nach seiner Ansicht zur Abdichtung der Lateralkanälchen im Bereich des apikalen Deltas bzw. eröffneter Dentintubuli nach der Resektion bei.

In der vorliegenden Untersuchung wurden bei den Präparaten der zweiten Versuchsgruppe nur stellenweise Einschmelzungen auf der Resektionsfläche beobachtet, was eine Permeabilitätsminderung vermuten lässt, vermag aber kaum eine zuverlässige Oberflächenversiegelung hervorzurufen.

Nach Angaben von Stabholz et al. (1992a) wurde nach Applikation von gepulster Nd:YAG-Laserstrahlung auf die apikale Fläche von konventionell resezierten Zähnen eine Verminderung der Farbpenetration festgestellt. Dies geschieht vermutlich durch ein Aufschmelzen des Smear layers auf die Wurzeloberfläche (Stabholz et al., 1992b).

Die eigenen Untersuchungen zeigten eine Minderung der Farbpenetrationstiefe in der Schnittfläche bei den Präparaten der zweiten Versuchsgruppe um durchschnittlich 12,5% gegenüber den Präparaten der Kontrollgruppe. Dagegen war die Farbpenetration in den Spalt nach der Applikation von der Nd:YAG-Laserstrahlung durchschnittlich um 46,2% tiefer im



Vergleich zu der Kontrollgruppe, was auf thermische Effekte auf die Guttapercha zurückgeführt werden kann.

Aranha et al. (2005) empfehlen die Verwendung von Er:YAG-Lasern (2Hz, 60mJ) und vom Nd:YAG-Laser (1,5W / 15Hz) für die Permeabilitätssenkung im Dentin. In ihrer Studie wurde Verringerung der Farbpenetration von 19,03% nach der Nd:YAG-Laseranwendung bzw. 26,05% nach dem Einsatz vom Er:YAG-Laser nachgewiesen. Die Ergebnisse dieser Studie korrelieren mit den eigenen Ergebnissen bei der Auswertung der Farbpenetrationstiefe in die Schnittfläche: es wurde eine Permeabilitätssenkung im Dentin von 12,5% bei den mit einem Nd:YAG-Laser bestrahlten Präparaten und von 43,75% bei den mit einem Er:YAG-Laser resezierten Präparaten im Vergleich zu der Kontrollgruppe festgestellt.

Auch von Arens et al. (1993) wurde in ihrer Untersuchung nach der Anwendung eines gepulsten Nd:YAG-Lasers im Rahmen der Resektion eine Verringerung der Permeabilität von Dentintubuli nachgewiesen. Die Penetrationstiefe betrug in dieser Studie in der Kontrollgruppe 2,4mm und nach der Laseranwendung 0,9mm.

Olivera et al. (2004) haben in ihrer Studie die Präparate einer Versuchsgruppe zuerst mit einem Er:YAG-Laser reseziert und anschließend mit einem Nd:YAG-Laser bestrahlt. Die Autoren berichten von einer Minderung der Penetrationstiefe im Dentin bei diesen Präparaten im Vergleich zu der Kontrollgruppe und empfehlen diese Methode, um die Permeabilität des Dentins am Resektionsquerschnitt zu verringern. Die eigenen Untersuchungen zeigten eine Minderung der Penetrationstiefe sowohl bei den mit einem Er:YAG-Laser resezierten Präparaten, als auch nach adjuvanter Anwendung eines Nd:YAG-Lasers.

### **4.3. Klinische Relevanz der experimentellen Ergebnisse**

Klinische Relevanz dieser In-vitro-Untersuchung kann aufgrund der bedingten Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die In-vivo-Situation nur abgeschätzt werden. Festzuhalten ist, dass in der Literatur bei in dieser Untersuchung einbezogenen Systemen über klinische Erfolge berichtet wird.

Im Allgemeinen werden Misserfolge nach Wurzelspitzenresektionen nicht ausreichend abdichtenden Wurzelfüllmaterialien bzw. der Permeabilität der Dentinoberfläche, die die Ausbreitung von Mikroorganismen und ihrer Produkte in die periapikale Region aus dem Wurzelkanalsystem erlauben, zugeschrieben.

Zahlreiche Studien haben sich mit der vorteilhaften Lasereinwirkung bezüglich Abdichtung von Apex beschäftigt.

Der mit einem Er:YAG-Laser erzielte Ablationsprozess ermöglicht bei geeigneten Parametern und Kühlung eine effektive Abtragung der Wurzelspitze mit Laserenergie ohne schwerwiegende thermische Schädigung. Dabei ist auch eine Permeabilitätsminderung der Resektionsfläche im Vergleich zu rotierenden Instrumenten zu erwarten. Eine mit dem Er:YAG-Laser durchgeführte WSR mit eventuell darauf folgender Bearbeitung der Resektionsfläche mit einem Nd:YAG-Laser kann durchaus als eine Alternative zu der konventionellen Methode angesehen werden, um die Permeabilität des Dentins am Resektionsquerschnitt zu verringern. Es sind allerdings noch vielfältige Untersuchungen notwendig. Vor umfangreichen klinischen Untersuchungen und Langzeitstudien muss die Laseranwendung bei der Apikoektomie in Studien, wie dieser, unter Versuchsbedingungen, die der klinischen Anwendung möglichst nah kommen, untersucht werden.

#### **4.4. Ausblick**

Die Laserzahnheilkunde wird als ein wichtiges Zukunftsthema angesehen. Es werden für die nähere Zukunft keine „revolutionären“ technischen Innovationen erwartet, sondern die Aktivitäten in der Entwicklung und Forschung werden sich eher auf Detailverbesserungen und -weiterentwicklungen konzentrieren. In noch mehr Indikationsbereichen als heute sollen Laser künftig in der Lage sein, teilweise bessere klinische Ergebnisse zu erzielen als konventionelle Behandlungsmethoden.

Ergebnisse dieser Studie haben bestätigt, dass Laser prinzipiell für die untersuchten Indikationen klinisch anwendbar erscheinen. Es wurden keine klinisch relevanten Nebenwirkungen bei den Laseranwendungen festgestellt. Mikrobiologische Tests und gezielte kontrollierte klinische Studien sind erforderlich, um die vorgestellten Techniken im Sinne einer “evidence based dentistry“ endgültig zu beurteilen.

## 5. Zusammenfassung

Alternativ zu konventionellen Methoden werden verschiedene Laser im Rahmen einer Apikoektomie propagiert. Dazu gibt es unterschiedliche Techniken. Zum einen die adjuvante Methode unter Nutzung des Nd:YAG-Lasers, mit dem die Resektionsflächen versiegelt werden sollen und zum anderen die Anwendung als Monotherapie, wobei die Wurzelspitze mit einem Er:YAG-Laser abgetragen wird.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde die Oberflächenstruktur der Resektionsflächen makroskopisch erfasst. Die Morphologie der Schnittfläche wurde darüber hinaus mit Hilfe der Replicatechnik im Rasterelektronenmikroskop analysiert. Außerdem wurde mit einem Farbpenetrationstest die Abdichtung des apikalen Kanallumens überprüft. Die Untersuchung wurde an 45 Resektionsflächen durchgeführt. Das konventionelle Vorgehen unter Anwendung rotierender Instrumente für die Abtrennung der Wurzelspitze diente als Referenz.

Während die Präparate der ersten beiden Gruppen Schliffspuren zeigten, wurden bei den Präparaten der dritten Versuchsgruppe weißliche Verfärbungen beobachtet. Verbrennungsspuren wurden in keiner Gruppe nachgewiesen. Die mit dem Er:YAG-Laser resezierten Präparate wiesen im Querschnitt die meisten vollständigen Wurzelfüllungen auf und die geringste Spaltbildung zwischen Guttapercha und Kavität.

Nach der Laseranwendung in der zweiten und dritten Versuchsgruppe wurde eine entsprechend 12,5%ige bzw. 43,75%ige Reduktion der Farbpenetrationstiefe in den Dentinkörper ausgehend von der Schnittfläche festgestellt. Gleichzeitig hatten wir in diesen beiden Gruppen eine entsprechend um 46,2% bzw. 69,2% erhöhte Farbpenetrationstiefe im Bereich der Spalten zwischen der Guttapercha und dem Zahnhartgewebe. Dies korreliert nicht ganz mit den rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen, wobei dieser Bereich in der dritten Versuchsgruppe weniger ausgeprägt erscheint im Vergleich zu den ersten beiden Gruppen, was eigentlich auf eine bessere Abdichtung hindeuten sollte.

Insgesamt wurden keine weitreichenden klinisch relevanten Nebenwirkungen der untersuchten Laser bei dieser Studie festgestellt. Die Ergebnisse dieser Arbeit haben auf der Ebene der in vitro-Untersuchung bestätigt, dass insbesondere der Er:YAG-Laser alternativ zu den konventionellen Resektionstechniken klinisch anwendbar erscheint.

## 6. Anhang

Präparat - Nr	WF im Querschnitt (vollständig oder nicht)	Spalten zwischen Guttapercha und Kavität (vorhanden oder nicht)	Oberfläche		
			Schliffspuren	farbliche Veränderung	Verbrennungsspuren
<b>Versuchsgruppe I (konv. Resektion)</b>					
6	-	+	+	-	-
17	-	+	+	-	-
22	-	+	+	-	-
11	-	+	+	-	-
14	+	-	+	-	-
25a	+	-	+	-	-
25b	+	-	+	-	-
28	+	-	+	-	-
2	-	+	+	-	-
4	-	+	+	-	-
31a	-	+	+	-	-
31b	+	-	+	-	-
31c	+	-	+	-	-
34a	+	-	+	-	-
34b	-	+	+	-	-
<b>Versuchsgruppe II (konventionelle Resektion+Nd:YAG)</b>					
7	-	+	+	-	-
19	+	-	+	-	-
23	+	-	+	-	-
12	+	-	+	-	-
15	-	+	+	-	-
26a	-	+	+	-	-
26b	-	+	+	-	-
29	+	-	+	-	-
3a	-	+	+	-	-
5	+	-	+	-	-
32a	+	-	+	-	-
32b	-	+	+	-	-
32c	-	+	+	-	-
35a	-	+	+	-	-
35b(Nd)	-	+	+	-	-
<b>Versuchsgruppe III (Resektion mit Er:YAG)</b>					
8	+	-	-	+	-
20	+	-	-	+	-

24	-	+	-	+*	-
13	+	-	-	+*	-
16	+	-	-	+*	-
37a	-	-	-	+*	-
37b	-	+	-	+*	-
30	-	+	-	+*	-
10	-	+	-	+*	-
9	+	-	-	+*	-
33a	-	-	-	+*	-
33b	+	-	-	+*	-
33c	+	-	-	+*	-
36a	-	+	-	+*	-
36b	+	-	-	+*	-

**Tab. 13:** Klinische Auswertung vor Penetrationstest  
„+\*“ - weißliche Verfärbung

Präparat-Nr.	Farbpenetration im Bereich der Schnittstelle (in mm)		
	Anfärbung der Resektionsfläche	Anfärbung bei Fehlstellen	Anfärbung um den Kanal herum
<b>Versuchsgruppe I (konv. Resektion)</b>			
6	++		++
17	+++		+++
22	+++		+++
11	++		+++
14	++		++
25a	+++		+++
25b	+++		++
28	++		++
2	+++	+	+++
4	+++	+++	+++
31a	++		+++
31b	+++		+++
31c	+++		+++
34a	+++		+++
34b	+++		+++
<b>Versuchsgruppe II (konv. Resektion+Nd:YAG)</b>			
7	+++		+++

19	+++		+++
23	+++		+++
12	+++		+++
15	+++	+++	+++
26a	+++		+++
26b	+++		+++
29	+++		+++
3a	+++	+++	+++
5	+++	+++	+++
32a	+++		+++
32b	+++		+++
32c	+++		+++
35a	+++	+++	+++
35b	+++	+++	+++
<b>Versuchsgruppe III (Resektion mit Er:YAG)</b>			
8	++		+++
20	++		+++
24	+++	+++	+++
13	++		++
16	++		+++
37a	++	+++	+++
37b	+++	+++	+++
30	++	++	++
10	++		+++
9	++		+++
33a	++	+++	++
33b	++		++
33c	++		+++
36a	++	++	++
36b	++		++

**Tab. 14:** Ergebnisse des Farbpenetrationstests

Präparat-Nr.	Farbpenetration im Bereich der Schnittstelle (in mm)	
	in den Spalt	in die Schnittfläche
<b>Versuchsgruppe I (konv. Resektion)</b>		
6(1)		0,1
6(2)	1,8	0,1
17(1)	0,6	0,1
17(2)		0,1
22(1)	0,6	0,1
22(2)		0,3
28(1)	1,3	0,6
28(2)		0,1
11(1)	0,9	0,1
11(2)		0,2
14(1)	1,0	0,4
14(2)	1,1	0,2
25a(1)	2,3	2,3
25a(2)	0,9	0,9
25b(1)	1,3	1,5
25b(2)		1,9
2(1)	0,8	0,8
2(2)	0,9	0,5
4(1)	3,5	4,8
4(2)		3,1
31a(1)	2,3	2,2
31a(2)		0,08
31b(1)		0,3
31b(2)		
31c(1)	1,2	0,3
31c(2)	0,2	0,04
34a(1)	1,2	0,1
34a(2)		0,7
34b(1)		0,2
34b(2)	1,7	0,2
<b>Versuchsgruppe II (konv. Resektion+Nd:YAG)</b>		
7(1)	0	0,08
7(2)		0,3
19(1)	1,5	0,1
19(2)		0,08
23(1)		0,3
23(2)	0,9	0,3
12(1)	1,3	0,6
12(2)	0,8	0,4
15(1)	1,3	0,08
15(2)	1,0	0,2
26a(1)	1,2	1,0
26a(2)		0,6
26b(1)	1,3	0,8
26b(2)		0,8

29(1)	3,0	0,2
29(2)		0,4
3a(1)	2,2	
3a(2)		1,3
5(1)	1,2	0,3
5(2)		0,12
32a(1)	2,4	0,6
32a(2)		0,6
32b(1)	0,6	0
32b(2)		0
32c(1)	1,5	0,45
32c(2)		0,6
35a(1)	3,6	3,4
35a(2)		1,5
35b(1)	5,1	2,5
35b(2)	5,1	2,7
<b>Versuchsgruppe III (Resektion mit Er:YAG)</b>		
8(1)	0	
8(2)		
20(1)	1,9	0,77
20(2)		1,2
24(1)	1,2	0,3
24(2)		0,3
13(1)	2,1	0
13(2)	2,7	0
16(1)	1,9	0
16(2)		0,3
37a(1)	2,3	1,0
37a(2)		1,0
37b(1)		1,0
37b(2)	1,0	1,0
30(1)	2,6	0,1
30(2)		0,2
10(1)		0,3
10(2)	0,6	0,3
9(1)	1,2	1,04
9(2)		1,2
33a(1)	2,4	1,4
33a(2)	3,7	0,1
33b(1)	1,8	0,1
33b(2)		0,2
33c(1)	5,2	0,06
33c(2)	5,2	0,06
36a(1)	1,8	0,1
36a(2)		0,2
36b(1)	1,8	0,15
36b(2)		0,2

**Tab. 15:** Vermessung der Penetrationstiefe



Präparat-Nr.	WF im Querschnitt (vollständig oder nicht)	Spalten zwischen Guttapercha und Kavität (vorhanden oder nicht)	Anfärbung bei Fehlstellen	Anfärbung um den Kanal herum
<b>Versuchsgruppe I (konv. Resektion)</b>				
6	+	-		-
17	+	-		-
22	-	-	-	-
11	+	-		-
14	+	-		-
25a	+	-		-
25b	+	-		-
28	-	+	-	-
2	-	+		-
4	+	-		-
31a	+	-		-
31b	+	-		-
31c	-	+	-	-
34a	+	-		-
34b	+	-		-
<b>Versuchsgruppe II (konventionelle Resektion+Nd:YAG)</b>				
7	+	-		-
19	+	-		-
23	-	-	-	-
12	+	-		-
15	-	+	-	-
26a	-	+		+
26b	-	+		+
29	+	-		-
3a	-	+	++	++
5	+	-		-
32a	-	+	-	-
32b	+	-		-
32c	+	-		-
35a	-	+		+
35b(Nd)	-	+	+++	+++
<b>Versuchsgruppe III (Resektion mit Er:YAG)</b>				
8	+	-		-
20	+	-		-
24	-	+	-	-
13	+	-		-
16	+	-		-
37a	+	-		-
37b	-	+		-
30	-	+	-	-
10	+	-		-
9	+	-		-

33a	-	+	++	++
33b	+	-		-
33c	-	+	++	++
36a	-	+	+	+
36b	+	-		-

**Tab. 16:** Klinische Auswertung des Kanalquerschnitts 5mm von Resektionsfläche

## 7. Literaturverzeichnis

- Abedi HR, Van Mierlo BL, Wilder-Smith P, Torabinejad M. Effects of ultrasonic root-end cavity preparation on the root apex. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995; 80: 207-213
- Araki AT, Ibraki Y, Kawakami T, Lage-Marques JL. Er:YAG laser irradiation of the microbiological apical biofilm. *Bras Dent J* 2006; 17: 296-299
- Aranha AC, Domingues FB, Franco VO, Gutknecht N, Eduardo Cde P. Effects of Er:YAG and Nd:YAG lasers on dentin permeability in root surfaces: a preliminary in vitro study. *Photomed Laser Surg* 2005; 23: 504-508
- Arens DL, Levy GC, RizoIU IM. A comparison of dentin permeability after bur and laser apicoectomies. *Compendium* 1993; 14: 1290-1298
- Arisu HD, Bala O, Alimzhanova G, Turkoz E. Assessment of morphological changes and permeability of apical dentin surfaces induced by Nd:YAG laser irradiation through retrograde cavity surfaces. *J Contemp Dent Pract* 2004; 5: 102-113
- Arx von T, Frei C, Bornstein MM. Periradicular surgery with and without endoscopy: a prospective clinical comparative study. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2003; 113: 860-865
- Arx von T, Gerber C, Hardt N. Periradicular surgery of molars: a prospective clinical study with a one-year follow-up. *Int Endod J* 2001; 34: 520-525
- Arx von T, Montagne D, Zwinggi C, Lussi A. Diagnostic accuracy of endoscopy in periradicular surgery – a comparison with scanning electron microscopy. *Int Endod J* 2003; 36: 691-699
- Arx von T, Walker WA 3rd. Microsurgical instruments for root-end cavity preparation following apicoectomy: a literature review. *Endod Dent Traumatol* 2000; 16: 47-62
- Becker J. Möglichkeiten und Grenzen des Lasereinsatzes in der Zahnmedizin. *Zahnärztl Welt* 1995; 104: 464-469
- Benthin H, Ertl T. Laseranwendungen in der Endodontie. In: Müller GJ, Ertl T. *Angewandte Laserzahnheilkunde. Lehr- und Handbuch für Praxis und Klinik*. Berlin: Ecomed, 1995
- Bergmans L, Moisiadis P, Teughels W, Van Meerbeek B, Quirynen M, Lambrechts P. Bactericidal effect of Nd:YAG laser irradiation on some endodontic pathogens ex vivo. *Int Endod J* 2006; 39: 547-557
- Botzenhart UU, Frentzen M. Desensibilisierung von überempfindlichen Zahnhälsen mit Lasern – eine Übersicht. *Laser Zahnheilk* 2007; 1: 7-15
- Bürger F. *Handbuch für die klinische Anwendung des Nd:YAG-Lasers EN060*. Frankfurt: Umschau-Zeitschr, 1996

- Chandler NP, Koshy S. The changing role of the apicectomy operation in dentistry. *J R Coll Surg Edinb* 2002; 47: 660-667
- Cheung LK, Lam J. Apicectomy of posterior teeth – a clinical study. *Aust Dent J* 1993; 38: 17-21
- Dinkelaker F. *Die CO<sub>2</sub>-Laser-Ostetomie*. Stuttgart-Neu York, Thieme, 1991
- Folwaczny M, Mehl A, Aggstaller H, Hickel R. Antimicrobial effects of 2.94 microm Er:YAG laser radiation on root surfaces: an in vitro study. *J Clin Periodontol* 2002; 29: 73-78
- Francischone CE, Padovan LA, Padovan LE, Duarte MA, Fraga Sde C, Curvello VP. Apicectomy with the Er:YAG laser or bur, followed by retrograde root filling with zinc oxide/eugenol or sealer 26. *Photomed Laser Surg* 2005; 23: 395-398
- Frentzen M. Laser – Möglichkeiten und Perspektiven. *Zahnärztl Mitt* 1998; 88: 3050-3051
- Frentzen M. Laseranwendungen in der Zahnerhaltung und Parodontologie – eine Übersicht. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994; 49: 113-118
- Frentzen M, Koort H-J. Lasertechnik in der Zahnheilkunde. *Dtsch Zahnärztl Z* 1991; 46: 443-454
- Gaspirc B, Skaleric U. Morphology, chemical structure and diffusion processes of root surface after Er:YAG and Nd:YAG laser irradiation. *J Clin Periodontol* 2001; 28: 508-516
- Gilde H. Grundlagen der Lasertechnologie. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994; 49: 95-99
- Gondim E Jr, Gomes BP, Ferraz CC, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. Effect of sonic and ultrasonic retrograde cavity preparation on the integrity of root apices of freshly extracted human teeth: scanning electron microscopy analysis. *J Endod* 2002; 28: 646-650
- Gouw-Soares S, Stabholz A, Lage-Marques JL, Zezell DM, Groth EB, Eduardo CP. Comparative study of dentine permeability after apicectomy and surface treatment with 9.6 microm TEA CO<sub>2</sub> and Er:YAG laser. *J Clin Laser Med Surg* 2004; 22: 129-139
- Gouw-Soares S, Tanji E, Haypek P, Cardoso W, Eduardo CP. The use of Er:YAG, Nd:YAG and Ga-Al-As lasers in periapical surgery: a 3-Year clinical study. *J Clin Laser Med Surg* 2001; 19: 193-198
- Grgurevic J, Grgurevic L, Miletic I, Karlovic Z, Krmek SJ, Anic I. In vitro study of the variable square pulse Er:YAG laser cutting efficacy for apicectomy. *Laser Surg Med* 2005; 36: 347-350
- Gutknecht N. *Lasertherapie in der zahnärztlichen Praxis – die Anwendung unterschiedlicher Lasertypen in ihren jeweiligen Spezialgebieten*. Berlin: Quintessenz, 1999
- Gutknecht N, Ermert M, Lampert F. Farbpenetrationsversuche am Dentin nach Behandlung mit einem Nd:YAG-Laser. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994; 49: 157-159
- Hibst R. Laser: Aktueller Stand und neue Entwicklungen. *Zahnärztl Mitt* 2001; 10: 54-60

- Horch H-H. Zahnärztliche Chirurgie (Praxis der Zahnheilkunde), Band 9; 3. Auflage. München-Wien-Baltimore: Urban & Schwarzenberg, 1995
- Ishikawa I, Aoki A, Takasaki AA. Potential applications of Erbium:YAG laser in periodontics. J Periodontal Res 2004; 39: 275-285
- Khabbaz MG, Kerezoudis NP, Aroni E, Tsatsas V. Evaluation of different methods for the root-end cavity preparation. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2004; 98: 237-242
- Khoury F, Staehle HJ. Retrograde Wurzelfüllungen mit Glasionomerzement. Dtsch Z Mund-Kiefer-Gesichts-Chir 1987; 11: 351-355
- Khoury F, Schulte A, Becker R, Hahn T. Prospektive Vergleichsstudie zwischen prä- und intraoperativer Wurzelfüllung. Dtsch Zahnärztl Z 1987; 42: 248-250
- Kim S, Kratchman S. Modern endodontic surgery concepts and practice: a review. J Endod 2006; 32: 601-623
- Kirschner H. Atlas der chirurgischen Zahnerhaltung, Band 1: Grundlagen / Traumatologie / Wurzelspitzenresektion/Zystenoperationen München-Wien: Carl Hanser Verlag, 1996
- Komori T, Yokoyama K, Matsumoto Y, Matsumoto K. Erbium:YAG and holmium:YAG laser root resection of extracted human teeth. J Clin Laser Med Surg 1997; 15: 9-13
- Komori T, Yokoyama K, Takato T, Matsumoto K. Clinical application of the erbium:YAG laser for apicoectomy. J Endod 1997; 23: 748-750
- Krüger E. Farbatlas der dento-alveolären Chirurgie. Heidelberg: Hüthig Buch Verlag GmbH, 1997
- Krüger E. Operationslehre für Zahnärzte, 8. Aufl. Berlin-Chicago-Rio de Janeiro-Tokio: Quintessenz, 1993
- Layton CA, Marshall JG, Morgan LA, Baumgartner JC. Evaluation of cracks associated with ultrasonic root-end preparation. J Endod 1996; 22: 157-160
- Leco Berrocal MI, Martinez Gonzalez JM, Donado Rodriguez M. Clinical and radiological course in apicoectomies with the Erbium:YAG laser. Med Oral Patol Oral Cir Bucal 2007; 12: E65-69
- Lindemann V, Kopp St, Hoffmeister B. Die Ergebnisse der präoperativen und intraoperativen Wurzelfüllung bei der Wurzelspitzenresektion im Vergleich. Dtsch Zahnärztl Z 1987; 42: 245-247
- Liu HC, Lin CP, Lan WH. Sealing depth of Nd:YAG laser on human dentinal tubules. J Endod 1997; 23: 691-693
- Lloyd A, Gutmann J, Dummer P, Newcombe R. Microleakage of Diaket and amalgam in root-end cavities prepared using MicroMega sonic retro-prep tips. Int Endod J 1997; 30: 196-204

- Maillet WA, Torneck CD, Friedman S. Connective tissue response to root surfaces resected with Nd:YAG laser or burs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1996; 82: 681-690
- Marti-Bowen E, Penarrocha-Diago M, Garcia- Mira B. Periapical surgery using the ultrasound technique and silver amalgam retrograde filling. A study of 71 teeth with 100 canals. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2005; 10 Suppl 1: E67-73
- Melcer J, Melcer F, Guillaumin D, Avrillier S, Laborde P. What should we expect from laser in apical surgery? *Innov Tech Bio Med* 1990; 42: 43
- Meyer W. Die Anatomie der Wurzelkanäle. *Dtsch Zahnärztl Z* 1959; 14: 1239
- Meyer W. Die Technik der Wurzelspitzenresektion und ihre stereotypen Fehler. *Dtsch Zahn-Mund-Kieferheilk* 1963; 39: 97-105
- Miserendino LJ. The laser apicoectomy: endodontic application of the CO<sub>2</sub> laser for periapical surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1988; 66: 615-619
- Molven O, Halse A, Grung B. Incomplete healing (scar tissue) after periapical surgery – radiographic findings 8 to 12 years after treatment. *J Endod* 1996; 22: 264-268
- Morgan LA, Marshall JG. A scanning electron microscopic study of in vivo ultrasonic root-end preparations. *J Endod* 1999; 25: 567-570
- Moriyama EH, Zangaro RA, Villaverde AB, Lobo PD, Munin E, Watanabe IS, Junior DR, Pacheco MT. Dentin evaluation after Nd:YAG laser irradiation using short and long pulses. *J Clin Laser Med Surg* 2004; 22: 43-50
- Murray MJ, Loushine RJ, Weller RN, Kimbrough WF, Pashley DH. Use of self-etching adhesives to seal resected apices. *J Endod* 2004; 30: 538-540
- Oliveira RG, Gouw-Soares S, Baldochi SL, Eduardo CP. Scanning electron microscopy (SEM) and optical microscopy: effects of Er:YAG and Nd:YAG lasers on apical seals after apicoectomy and retrofill. *Photomed Laser Surg* 2004; 22: 533-536
- Paghdiwala AF. Root resection of endodontically treated teeth by erbium:YAG laser radiation. *J Endod* 1993; 19: 91-94
- Panzer G. Laser in der Zahnmedizin. *Schweiz Monatschr Zahnmed* 1993; 103: 225-228
- Rainwater A, Jeansonne BG, Sarkar N. Effects of ultrasonic root-end preparation on mikrocrack formation and leakage. *J Endod* 2000; 26: 72-75
- Rechmann P, Hennig Th, Kaufmann R. Laser in der Zahnhartsubstanzabtragung: Grundlagen, Möglichkeiten und Aussichten. *Zahnärztl Welt* 1992; 101: 150-160
- Sailer HF, Pajarola GF. *Orale Chirurgie. Band 11. In: Rateitschak KH, Wolf HF. Farbatlanten der Zahnmedizin. Stuttgart-Neu York: Thieme, 1996*

- Sasaki KM, Aoki A, Ichinose S, Ishikawa I. Morphological analysis of cementum and root dentin after Er:YAG laser irradiation. *Lasers Surg Med* 2002; 31: 79-85
- Schaller HG, Weihing T, Strub JR. Permeability of dentine after Nd:YAG laser treatment: an in vitro study. *J Oral Rehabil* 1997; 24: 274-281
- Scholz C. Neue Verfahren der Bearbeitung von Hartgewebe in der Medizin mit dem Laser. In: Müller G, Berlien H-P. *Advances in Laser Medicine 7*. Landsberg: Ecomed, 1992
- Schoop U, Kluger W, Moritz A, Nedjelic N, Georgopoulos A, Sperr W. Bactericidal effect of different laser systems in the deep layers of dentin. *Lasers Surg Med* 2004; 35:111-116
- Schultz CB, Westhauser P, Niderost B, Klaus WG. Retrograde obturation with MTA Cement and Super-EBA after apicoectomy Sealing ability of MTA and Super-EBA in dye penetration tests. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 2005; 115: 442-454
- Schultz RJ, Harvey GP, Fernandez-Beros ME, Krishnamurthy S, Rodriguez JE, Cabello F. Bactericidal effects of the neodymium:YAG laser: in vitro study. *Laser Surg Med* 1986; 6: 445-448
- Schwenzer N, Grimm G. *Zahn- Mund-Kiefer-Heilkunde. Band 2: Spezielle Chirurgie*. Stuttgart-Neu York: Thieme, 1990
- Stabholz A, Khayat A, Ravanshad SH, McCarthy DW, Neev J, Torabinejad M. Effects of Nd:YAG laser on apical seal of teeth after apicoectomy and retrofill. *J Endod* 1992; 18: 371-375
- Stabholz A, Khayat A, Weeks DA, Neev J, Torabinejad M. Scanning electron microscopic study of the apical dentine surfaces lased with Nd:YAG laser following apicectomy and retrofill. *Int Endod J* 1992; 25: 288-291
- Stabholz A, Zeltser R, Sela M, Peretz B, Moshonov J, Ziskind D, Stabholz A. The use of lasers in dentistry: principles of operation and clinical applications. *Compend Contin Educ Dent* 2003; 24: 935-949
- Taschieri S, Testori T, Francetti L, Del Fabbro M. Effects of ultrasonic root end preparation on resected root surfaces: SEM evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004, 98: 611-618
- Tetsch P. *Wurzelspitzenresektionen*. München-Wien: Hanser, 1986
- Tsesis I, Rosen E, Schwartz-Arad D, Fuss Z. Retrospektive evaluation of surgical endodontic treatment: traditional versus modern technique. *J Endod* 2006; 32: 412-416
- Tsesis I, Shoshani Y, Givol N, Yahalom R, Fuss Z, Taicher S. Comparison of quality of life after surgical endodontic treatment using two techniques: a prospective study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 99: 367-371
- Vallecillo Capilla M, Munoz Soto E, Reyes Botella C, Prados Schez E, Olmedo Gaya MV.

Periapical surgery of 29 teeth. A comparison of conventional technique , microsaw and ultrasound. *Med Oral* 2002; 7: 46-53 *Periodontol* 1995; 66: 1032-1039

Winik R, Araki AT, Negrao JA, Bello-Silva MS, Lage-Marques JL. Sealer penetration and marginal permeability after apicoektomy varying retrocavity preparation and retrofilling material. *Braz Dent J* 2006; 17: 323-327

Wong WS, Rosenberg PA, Boylan RJ, Schulman A. A comparison of the apical seals achieved using retrograde amalgam fillings and the Nd:YAG laser. *J Endod* 1994; 20: 595-597



## 8. Danksagung

In erster Linie bedanke ich mich bei Herrn Professor Dr. Matthias Frentzen für die freundliche Überlassung des Themas, für seine Betreuung und umfangreiche Unterstützung in allen Phasen der Durchführung dieser Arbeit.

Ebenfalls möchte ich Frau MTA Lange für die Unterstützung bei der Herstellung der Präparate danken und Frau Stachel für ihre Hilfe bezüglich Fachliteratur.

Ich danke meinen lieben Eltern vor allem dafür, dass sie mich viel im alltäglichen Leben entlastet haben, damit ich mir die Zeit für die Dissertation nehmen konnte.

Meinem Mann Tim danke ich ganz besonders für seine unermüdliche Motivationsarbeit, für seine vielseitige Unterstützung hauptsächlich rund um Computer und Textverarbeitung.

Ich danke meinen beiden kleinen Jungs, Daniel und Jan, die mich auf Trab halten und allen meinen Taten einen besonderen Sinn geben.