

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

Direktor: Prof. Dr. R. Hickel

**Effektivität der Entfernung von subgingivalen Konkrementen von
Wurzeloberflächen bei Bearbeitung mit Er:YAG-Laserstrahlung und
fluoreszenzspektroskopischer Detektion**

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

vorgelegt von

Florian Braun
aus Straubing
2006

**Mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. Dr. Matthias Folwaczny

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Dr. h.c. W. Gernet

Priv. Doz. Dr. D. Zaak

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 18.07.2006

Gliederung

1 Einleitung	6
Zahnsteinentfernung als zentraler Punkt in der Geschichte der Parodontitistherapie	6
2 Theoretischer Teil	7
2.1 Pathobiologie der Parodontitis	7
2.2 Entstehung und Aufbau von Konkrement	11
2.3 Bedeutung der Reinigung der Wurzeloberfläche in der systematischen Parodontitistherapie	12
2.4 Instrumente zur Reinigung der Wurzeloberfläche	13
2.4.1 Handinstrumente	13
2.4.2 Maschinengetriebene Instrumente	15
2.4.3 Laser	16
2.4.3.1 Laser-Gewebe Wechselwirkungen	17
2.4.3.2 Anwendung des Er:YAG-Lasers in der Parodontologie	18
2.4.3.3 Laser-Fluoreszenz Sondierung von Konkrementen	19
2.5 Literaturübersicht über klinische und experimentelle Studien zum Thema Konkremententfernung	21
2.5.1 Studiendesign	21
2.5.2 Mikroskopische Untersuchung und Aufbereitung der Daten .	22
2.5.3 Zusammenfassung	23
2.5.4 Wesentliche Trends bei der Konkremententfernung	25

3 Ziel der Untersuchung	26
4 Experimenteller Teil	27
4.1 Material und Methode	27
4.1.1 Laserparameter.....	27
4.1.2 Handinstrumente.....	27
4.1.3 Auswahl, Lagerung und Vorbereitung der Proben	28
4.1.4 Versuchsaufbau für In-vitro Vorversuche	28
4.1.5 Versuchsaufbau für die Untersuchungen unter simulierten klinischen Bedingungen	29
4.1.5.1 Modellherstellung	29
4.1.5.2 Bearbeitung mit Handinstrumenten	32
4.1.5.3 Bearbeitung mit Er:YAG-Laserstrahlung	32
4.1.5.4 Planimetrische Auswertung.....	33
4.1.5.5 Statistische Auswertung	35
4.2 Ergebnisse.....	37
4.2.1 Vergleich unter In-vitro Bedingungen	37
4.2.1.1 Konkrementabtrag.....	37
4.2.1.2 Bearbeitungsdauer	38
4.2.2 Vergleich unter simulierten klinischen Bedingungen.....	39
4.2.2.1 Verteilung der Flächen und Zähne	39
4.2.2.2 Wurzeloberflächen in Kontroll- und Versuchsgruppe	40
4.2.2.3 Flächenbedeckung mit Konkrementen vor und nach Behandlung	41
4.2.2.4 Vergleich der Abtragsleistung von Handinstrumenten und Er:YAG-Laserstrahlung.....	43
4.2.2.5 Bearbeitungsdauer	44

5 Diskussion	46
5.1 Versuchsaufbau.....	46
5.2 Mikroskopische Untersuchung.....	46
5.3 Vergleich der Ergebnisse der Kontrollgruppe mit klinischen Studien	47
5.4 Vergleich der Ergebnisse der Versuchsgruppe mit In-vitro und In-situ Studien.....	49
5.5 Effektivität der manuellen und lasergestützten Wurzelober- flächenbearbeitung	51
5.6 Klinische Probleme bei der Wurzeloberflächenbearbeitung mit Handinstrumenten	54
5.7 Klinische Probleme bei der Wurzeloberflächenbearbeitung mit einem Er:YAG-Laser.....	55
5.8 Schlussfolgerung	57
6 Zusammenfassung.....	58
7 Literaturverzeichnis	60
8 Anhang	79
8.1 Danksagung	79
8.2 Lebenslauf.....	80

1 Einleitung

Zahnsteinentfernung als zentraler Schritt der Therapie in der Geschichte der Parodontitisbehandlung

Aus vielen tausend Jahren zurückreichenden Überlieferungen ist bekannt, dass Erkrankungen des Zahnhalteapparates, neben Karies, schon immer die häufigste Ursache für Zahnverlust waren. Die Beobachtungen der damaligen Zeit richteten sich vor allem auf die Diagnose von Zahnstein und nachfolgend auch auf Therapiemaßnahmen. In Altindien legte man Wert darauf, den Zahnstein „ohne Beschädigung der Wurzel abzutragen“, im späten Hellenismus war schon vom „Stechen und Kratzen um den Sitz des Zahnes“ die Rede, was wohl der heutigen etablierten instrumentellen Entfernung von Ablagerungen sehr nahe kommt.

Auch im Zeitalter der Renaissance war man davon überzeugt, dass Zahnstein die Zähne „anfrisst, wie Rost das Eisen“ und die „remotio gipseae substantiae adherentis substantiae dentis“ durch fleißiges Bearbeiten der Zähne mit Raspatorium und Zahnpulver zu erreichen ist [100]. Während im Laufe der Zeit die Entfernung des Zahnsteines in den Mittelpunkt rückte, durchliefen die „Zahnreiniger“ eine Vielzahl von Variationen, bis in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts der Zahnarzt C. H. Gracey in Zusammenarbeit mit dem Instrumentenmacher Hugo Friedmann (Hu-Friedy) die sogenannten Gracey-Küretten konzipierte. Diese Handinstrumente gelten neben maschinengetriebenen Instrumenten nach wie vor als Mittel der Wahl für die therapeutische Bearbeitung parodontal erkrankter Wurzeloberflächen. Allerdings konnte in einigen Studien gezeigt werden, dass mit Hilfe von Handinstrumenten die Entfernung von pathogenen Belägen häufig nicht vollständig gelingt.

Auf der Suche nach neuen Instrumenten, die sowohl eine verbesserte Bearbeitungseffektivität als auch eine einfachere klinische Handhabung erlauben, wurde in den 90er Jahren der Er:YAG-Laser zur Bearbeitung von Zahnhartgeweben eingeführt. Nachdem in mehreren Studien dem Er:YAG-Laser ein großes Potential in-vitro nachgewiesen wurde [2, 99],

stellt sich nun die Frage, ob ein Er:YAG-Laser mit integriertem fluoreszenzspektroskopischen Detektionssystem zur selektiven Konkremententfernung eine effektive Behandlungsalternative im Vergleich zu den herkömmlichen Instrumenten darstellt.

Der theoretische Teil dieser Arbeit behandelt die Pathobiologie der Parodontitis und die Entstehung von subgingivalem Zahnstein. Danach wird die Bedeutung der Reinigung der Wurzeloberfläche in der Therapie erläutert und schließlich einige Studien zusammengefasst, die sich mit der Entfernung von subgingivalem Zahnstein befassen. Der experimentelle Teil vergleicht an einem Phantommodell die Effizienz von Handinstrumenten mit der eines Er:YAG-Lasers mit integriertem fluoreszenzspektroskopischen Detektionssystem.

2 Theoretischer Teil

2.1 Pathobiologie der Parodontitis

Plaquebedingte entzündliche Veränderungen der Gingiva und des Parodonts stellen die häufigsten Erkrankungen des Zahnhalteapparates dar [81].

In der Mundhöhle kommen mehr als 300 verschiedene Arten von Mikroorganismen vor, wovon 30 regelmäßig anzutreffen sind [82, 38]. Zwischen diesen Mikroorganismen und dem Wirtsorganismus herrscht bei gesunden Verhältnissen ein Gleichgewicht zwischen den von den Bakterien hervorgerufenen Schädigungen und den reparativen und regenerativen Gewebeprozessen. Eine unspezifische Bakterienhäufung führt zu einer Störung des Gleichgewichts, so dass bestimmte Formen plaquebedingter parodontaler Veränderungen hervorgerufen werden können.

Die Plaquentstehung erfolgt in mehreren Schritten:

Wenige Minuten nach Reinigung des Zahns kommt es zur Bildung eines Zahnoberhäutchens (Pellicle) aus Speichelglykoproteinen. In den ersten 24 Stunden haften sich koloniebildende, hauptsächlich gram-positive

Bakterien aus dem Speichel an das Zahnoberhäutchen. In den darauffolgenden 3 bis 5 Tagen findet durch Einlagerung von gram-positiven Kokken und gram-negativen Stäbchen und Filamenten ein kontinuierliches Plaquewachstum statt. Im weiteren Verlauf kommt es zur Einlagerung von Filamenten, fusiformen Bakterien und Spirochäten, welche sich überwiegend in der Tiefe des Sulcus finden. Die Plaque erscheint nun histologisch strukturiert [82, 38]. Diese voll ausgereifte Plaque lässt sich nur mechanisch entfernen, da sie durch eine Matrix zusammengehalten wird. Sie besteht aus Speichelglykoproteinen und aus den von den Bakterien erzeugten extrazellulären Polysacchariden wie Glukanen (Dextrane, Mutane) und Fruktanen (Lävane) [88].

Die am Zahn haftende Plaque kann durch im Speichel enthaltene Salze mineralisiert werden. Bei supragingivaler Lage dieser Areale spricht man von Zahnstein. Die subgingivale Manifestation erfolgt im entzündlichen Exsudat unter Beteiligung von Blutfarbstoffabbbauprodukten und Serumalbuminsalzen als subgingivales Konkrement [38]. Zahnstein und subgingivale Konkremente stellen mit ihrer rauen Oberfläche weitere Angriffspunkte für die Besiedelung mit Plaque dar. Die in der Plaque enthaltenen Bakterien können einerseits zu einer direkten Schädigung des Gewebes durch Toxine, Enzyme und metabolische Produkte beitragen, aber auch indirekt durch das Auslösen einer überschießenden fehlgeleiteten Abwehrreaktion des Wirtsorganismus das sie umgebende Gewebe schädigen. Durch die von Plaquebakterien freigesetzten Enzyme kann es unter anderem zu einer direkten Schädigung des parodontalen Gewebes kommen. Hierbei finden die kollagenspaltenden Enzyme besondere Beachtung, da der parodontale Stützapparat überwiegend aus kollagenen Bestandteilen zusammengesetzt ist. Zu diesen Enzymen zählen insbesondere die Kollagenase, Hyaluronidase und Chondroitinase. Dabei ist allerdings umstritten, ob diese Enzyme am pathologischen Prozess beteiligt sind, da diese kollagenspaltenden Enzyme auch von körpereigenen Zellen, wie z. B. Granulozyten und Makrophagen freigesetzt werden können [82].

Die von den Bakterien der Plaque freigesetzten Endprodukte des bakteriellen Metabolismus stellen weitere Faktoren dar, die zur direkten Schädigung beitragen. Unter anderem zählen hierzu Ammoniak, Indol, Schwefelwasserstoff, Fettsäuren und Polyamine [82]. Diese Stoffwechselprodukte sind für das parodontale Gewebe toxisch und leiten die parodontale Destruktion ein, oder führen bei schon bestehender Läsion zu ihrer Progression.

Exo- und Endotoxine der Bakterien tragen ebenfalls zur direkten Schädigung der umgebenden Gewebe bei. Exotoxine werden von den Bakterien aktiv freigesetzt und schädigen damit die sie umgebenden Zellen und Gewebe. Bei Endotoxinen handelt es sich um Lipopolysaccharide, die nach dem Zerfall von gram-negativen Bakterien aus deren Zellmembran freigesetzt werden. Sie können dann zu einer Stimulation der Osteoklasten beitragen und somit die Resorption des Knochens beeinflussen [98].

Durch die in der Plaque enthaltenen Mikroorganismen kann es auch zu einer indirekten Schädigung des Parodontiums kommen. Von Bakterien freigesetzte Enzyme können die sauerstoffabhängige, antibakterielle Wirtsabwehr schädigen. Dadurch werden die Bedingungen für das Auftreten anaerober Keime verbessert, welche besonders im fortgeschrittenen Stadium einer Parodontitis anzutreffen sind. Zu diesen Enzymen gehören unter anderem die Peroxidase und die Katalase [82]. Zudem können die von Bakterien freigesetzten Stoffe das Auftreten anderer Mikroorganismen fördern bzw. hemmen. So kommt es zu einer Verschiebung der in der Tasche angesiedelten Mikroorganismen.

Das dichte Gefüge des Saumeithels kann durch Enzyme und zytotoxische Stoffwechselprodukte aufgelockert werden. Somit können hochmolekulare mikrobielle Produkte in das unter dem Saumeithel liegende Bindegewebe penetrieren. Mit ihren antigenen Eigenschaften regen sie die Abwehrreaktion des Körpers an. Polymorphkernige Leukozyten durchdringen das Saumeithel und geben ihre lysosomalen Enzyme ab, die zwar der Abwehr dienen, aber auch auf die umliegenden Gewebe eine gewebserstörende Wirkung haben. Durch den serösen und

leukozytären Ausstrom lockert das Saumepithel in seinen koronalen Anteilen auf, bildet Spalten und reißt ein. Im weiteren Verlauf besiedeln Kokken die entstehenden Hohlräume; das Saumepithel geht in diesen Bereichen unter. Bei weiterer Einwirkung der Plaquemetaboliten setzt sich die Abwehrreaktion des Körpers fort und die Gewebeveränderungen des Bindegewebes beziehen sich nicht mehr nur auf die unmittelbare Gefäßnachbarschaft. An diesem Punkt sind bereits 60% der gingivalen Kollagenfasern zerstört.

Durch die humoralen, zellulären und zell-vermittelten Immunreaktionen findet auch eine Aktivierung des entzündungsfördernden Komplementsystems statt. Im Verlauf dieses Prozesses wird fast das gesamte gingivale Stützgewebe durch ein entzündliches Infiltrat ersetzt, das hauptsächlich aus Blutgefäßen, Plasmazellen und B-Lymphozyten besteht. Es lassen sich sowohl mikroskopisch als auch makroskopisch die typischen Zeichen einer akuten Entzündung feststellen. Eines dieser Merkmale ist das vermehrte Auftreten von Sulcusflüssigkeit. Deren Menge steht im direkten Verhältnis zum Grad der Entzündung [82].

Regelmäßiger Bestandteil dieser Flüssigkeit sind Leukozyten. Dabei herrschen unter diesen mit 90% Anteil an der gesamten Leukozytenmenge die neutrophilen, polymorphkernigen Granulozyten (Mikrophagen) vor. Zudem kommen noch Makrophagen und Lymphozyten in der Sulcusflüssigkeit vor. Die Aufgabe der neutrophilen Granulozyten besteht in der Phagozytose. Dabei setzen diese ständig Granula frei, die saure Hydrolasen (z.B. Kathepsin) und neutrale Proteasen (Elastase und Kollagenase) enthalten [81]. Durch diese Enzyme werden sowohl die Proteoglykane der bakteriellen Zellmembran als auch körpereigenes Kollagen und Fibrinogen gespalten. Aus den oben genannten Prozessen ergibt sich, dass bei einer akuten Entzündungsreaktion in den betroffenen Geweben große Mengen dieser Enzyme freigesetzt werden und es dadurch zu einer Schädigung parodontaler Strukturen kommt. Produkte der Makrophagen, wie z.B. saure Hydrolasen, Lysozym und neutrale Proteasen tragen zu einer weiteren Schädigung bei [81].

Wie es unter den Bedingungen einer solchen Entzündungsreaktion zum Abbau des Alveolarknochens kommt, ist nur unzureichend bekannt [81]. Zu den bisher nachgewiesenen Stoffen, die eine Resorption des Knochens vermitteln, gehören die Prostaglandine und Zytokine. Bei den Prostaglandinen spielt besonders das Prostaglandin E₂ eine Rolle, welches überwiegend von den Makrophagen stammt. Bei den Zytokinen handelt es sich um Polypeptidhormone, welche lokal eine Mediatorenwirkung auf die verschiedensten Zellen ausüben, insbesondere eine Stimulation der Bildung und Aktivität von Osteoklasten. Zu diesen Zytokinen zählen Interleukin (IL) 1 und der Tumor Nekrose Faktor (TNF)- α , die von den Makrophagen synthetisiert werden. Von den Leukozyten wird das γ -Interferon (γ -IFN) abgegeben. Eine direkte Anregung des Knochenabbaus durch bakterielle Lipoproteinsäure, Peptidoglykan und Lipopolysaccharid wird diskutiert [81].

2.2. Entstehung und Aufbau von Konkrement

In der Literatur gibt es wenige Untersuchungen, welche die Entstehung von Konkrementen erklären. In Entstehung und Aufbau unterscheidet sich subgingivaler Zahnstein deutlich von supragingivalem Zahnstein [84].

Brown et al. erkannten einen Zusammenhang zwischen der Bildung von subgingivalen Konkrementen und der Zusammensetzung der subgingivalen Flora [12]. Entsprechend ihren Studien sind vor allem schwarz pigmentierte Anaerobier und Spirochäten für die Bildung der dunkel pigmentierten Konkreme verantwortlich. Subgingivale Taschen, die mit schwarz pigmentierten anaeroben Bakterien und Spirochäten besiedelt sind, weisen deutlich mehr Konkreme auf als subgingivale Taschen, die mit dem Bakterium *Actinobacillus actinomycetemcomitans* besiedelt sind [12]. Die Mineralisationsquelle für subgingivalen Zahnstein bildet nicht der Speichel, sondern die Sulkusflüssigkeit und das entzündliche Exsudat [109]. Während die Kristallisation supragingivaler Plaque einen passiven, von extrazellulär ausgehenden Prozeß darstellt, entstehen bei Konkrementen die Kristallisationskeime intrazellulär, wobei der Impuls für

die Mineralisation von den Bakterien auszugehen scheint [84]. Der durchschnittliche Mineralanteil beträgt 58% [39]. Degenerierte Bakterien, Porphyrine [22], Menanquinon, Monosaccharide und Teile des epithelialen Attachments bilden den organischen Anteil [109]. Makroskopisch erscheint subgingivaler Zahnstein dunkel bis schwarz mit einer rauen Oberfläche. Die Ablagerungen auf der Wurzeloberfläche sind nicht durchgängig homogen, sondern auf mehrere diffus separierte Konkrementareale verteilt [84]. Mikroskopisch zeigt sich eine homogen mineralisierte Substanz, die in gleichmäßig verkalkten Schichten parallel zur Wurzeloberfläche angeordnet ist [39]. Der subgingivale Zahnstein ist so eng in die Faserstruktur des Zementes verwoben, dass die Grenze zwischen Zahn und Zahnstein nicht mehr exakt definiert werden kann [90].

2.3 Bedeutung der Reinigung der Wurzeloberfläche in der systematischen Parodontitistherapie

Das Ziel einer erfolgreichen Parodontalbehandlung ist unbestritten eine belagsfreie Zahn- und Wurzeloberfläche [57, 71]. Nach Entfernung aller harten und weichen Beläge, der Bakterien und deren Toxine aus der oberen Schicht des Wurzelzements wird eine Reduktion der Taschentiefe sowie ein Reattachment erreicht [26]. Diskutiert wird allerdings, in welchem Maße die Wurzeloberfläche bearbeitet werden muss. Einige Autoren gehen davon aus, dass das von den Bakterien und den entsprechenden Toxinen infizierte Zement komplett von der Wurzeloberfläche abgetragen werden muss, um eine Heilung der parodontalen Gewebe zu gewährleisten. Sie nehmen an, dass diese Stoffe ein Zellwachstum und die Anheftung von Fibroblasten an die Zahnoberfläche verhindern [18, 57, 74, 83, 75, 97].

Als weiterer Grund für die radikale Abtragung des Wurzelzements werden die 30 bis 80 µm tiefen Resorptionslakunen genannt, da in diesen Bakterien siedeln, die bei einer oberflächlichen Bearbeitung der Wurzeloberfläche in der Tasche verbleiben würden und dort zu einer Reinfektion führen könnten [44, 57].

In neuerer Zeit wird zunehmend gefordert, die Zahnhartgewebe von Belägen zu reinigen, aber das Wurzelzement nicht mehr radikal abzutragen, da man davon ausgeht, dass die Endotoxine wie Lipopolysaccharide dem Zement lediglich oberflächlich anhaften, womit eine Bearbeitung der oberen Zementschichten als ausreichend erscheint [44, 57, 74, 58]. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass für ein bindegewebiges Attachment eine intakte Zementschicht über dem Wurzelzement nötig ist [71].

Eine weitere Forderung ist die nach einer glatten Wurzeloberfläche nach der Parodontitisbehandlung mit verschiedenen Instrumenten [20, 71, 38]. Dagegen wird aber berichtet, dass die Oberflächenrauigkeit keinen Einfluß auf die postoperativen Ergebnisse hat [75] und sogar mit einem Rosenbohrer bewusst herbeigeführte Läsionen der Oberfläche keine negativen Auswirkungen haben [58]. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass eine raue Oberfläche auch die Anlagerung neuer Beläge fördert, was für einen Langzeiterfolg unbedingt zu vermeiden ist.

2.4 Instrumente zur Reinigung der Wurzeloberfläche

2.4.1 Handinstrumente

Bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden Instrumente entwickelt, die den heute gebräuchlichen Handinstrumenten sehr ähnlich sind [48]. Sie gelten heute noch als Mittel der Wahl bei der Bearbeitung von Wurzeloberflächen [95, 57]. Dabei unterscheidet man zwischen Scaling und Root Planing. Scaling wird definiert als das Entfernen der supragingivalen, weichen und harten bakteriellen Beläge und aller großen subgingivalen Konkreme. Unter Root Planing versteht man das Entfernen des zytotoxisch kontaminierten Zements bzw. Dentins sowie eine Glättung der Wurzeloberfläche [114, 58].

Zur Entfernung von harten Belägen und zur groben Depuration werden Scaler verwendet. Sie besitzen einen dreieckigen Querschnitt, zwei schneidende Kanten und laufen an ihrem Ende spitz zu. Aufgrund ihrer

Spitze und Größe ist ein subgingivales Arbeiten ohne Verletzung der Gingiva nicht möglich [45]. Nach erfolgter Bearbeitung mit Scalern bleibt eine raue Zahnoberfläche zurück, die supragingival mit Polierern geglättet werden kann. Danach erfolgt mittels Root Planing die Bearbeitung des subgingivalen Bereichs. Hierzu verwendet man Küretten, die zur Entfernung subgingivaler Konkreme, nekrotischen, infizierten Wurzelzements und zur Entfernung des Granulationsgewebes und des Taschenepithels dienen. Sie besitzen eine zierliche Form mit abgerundetem Ende.

Man unterscheidet zwischen universell einsetzbaren und zahnflächenspezifisch geformten Küretten.

Universalküretten können aufgrund ihrer Form an allen Quadranten eines Gebisses und dort an allen Zahnflächen eingesetzt werden. Sie sind auf beiden Seiten ihres löffelartigen Arbeitsendes scharf geschliffen. Der Winkel zwischen Arbeitskante und Zahnoberfläche beträgt bei Universalküretten 80° .

Zahnflächenspezifisch gestaltet sind die Spezialeküretten (z.B. Gracey-Küretten). Das Arbeitsende ist nur einseitig schneidend gestaltet, um die Gefahr von Weichteilverletzungen zu reduzieren. Die Stirnflächen der Gracey-Küretten sind gegenüber dem unteren Teil des Schaftes schräg angeschnitten, mit einem Neigungswinkel von $60-70^\circ$. Wenn der untere Schaftanteil der Kürette parallel zur Zahnachse ausgerichtet ist, liegt die Arbeitskante im richtigen Anstellwinkel. Die Schneide der Gracey-Küretten ist in zwei Ebenen gekrümmt, zur Arbeitsspitze und zur Seite hin. Dadurch wird eine bessere Adaptation zu den verschiedenen Formen und Einziehungen der Wurzeloberflächen möglich.

In der Form lassen sich sieben doppelendige Instrumente unterscheiden, damit möglichst jede Wurzeloberfläche ideal zu erreichen ist. Einige Autoren sprechen allerdings davon, dass es nicht nötig ist, alle verfügbaren Formen zu verwenden, sondern dass sich mit der Zeit jeder Behandler sein eigenes Instrumentarium zusammenstellt [58] und dass ein Satz von vier verschiedenen Küretten ausreicht, um eine Behandlung durchführen zu können [48].

2.4.2 Maschinengetriebene Instrumente

Da die Reinigung der Wurzeloberflächen mit Küretten oft mühsam und zeitraubend ist, wurde in den vergangenen Jahren immer wieder nach Möglichkeiten gesucht, die klassischen Handinstrumente durch maschinell getriebene Geräte zu ersetzen [112].

Zur Reduzierung des Zeit- und Kraftaufwandes und zur Vereinfachung der Reinigung der Wurzeloberfläche, wurden diverse maschinengetriebene Zahnreinigungsinstrumente entwickelt.

Man unterscheidet folgende Wirkungsweisen:

1. Ultraschallinstrumente, deren Arbeitsspitze mit 20 bis 40 kHz schwingt
Dabei wird über einen Hochfrequenzgenerator ein elektrisches Wechselfeld erzeugt. Die Schwingungserzeugung erfolgt entweder über ferromagnetische Stoffe, welche im magnetischen Wechselfeld eine Lageänderung erfahren (magnetostraktiv) oder über die Ausdehnung von Kristallen (piezoelektrisch). Bei diesen Verfahren findet ausschließlich eine longitudinale Schwingung des Ansatzes längs zur Instrumentenachse statt [45].

2. Schallinstrumente mit einer Frequenz des Arbeitsendes von 2 bis 6 kHz

So genannte Airscaler werden pneumatisch betrieben und lassen sich auf den Ansatz für die Turbine aufsetzen. Bedingt durch ihren Antrieb weisen sie eine transversale, elliptische Schwingung auf. Durch die geringere Frequenz kommt ihre Schwingung bei Belastung schneller zum Erliegen [57, 58].

Die Arbeitsenden der Ultraschall- und Schall-Zahnreinigungsgeräte sind ähnlich geformt wie Scaler und Küretten, aber nicht angeschärft oder zugespitzt. Durch die Schwingungen der Arbeitsenden werden fest anhaftende Beläge zur Implosion gebracht, so dass sie sich vom Zahn lösen. Der für die Kühlung notwendige, auf den Zahn auftreffende Wasserstrahl unterstützt diesen Kavitationsvorgang. Ohne diese Kühlung

kann es zu thermischen Schädigungen der Zahnhartsubstanz und des Weichgewebes kommen [45].

3. Finierähnliche rotierende Sechskantspitzen oder Feinkorndiamanten
Dabei handelt es sich um Sechskantspitzen ohne schneidende Kanten, oder um diamantbelegte, meist konische oder flammenförmige, Schleifkörper, die in unterschiedlichen Körnungen erhältlich sind. Sie sind hauptsächlich zur Odontoplastik in Form von Öffnung und Erweiterung von Furkationsbereichen [73] oder für schwer zugängliche Approximalräume geeignet.

4. Mechanische Scaler

Sie entsprechen im wesentlichen parodontalen Handinstrumenten. Durch die spezielle Mechanik des Winkelstücks wird eine oszillierende Bewegung der Einsätze nur auf Zug ausgeübt, so dass die Instrumente möglichst schonend in die parodontale Tasche eingeführt werden können. Sie sollten bei einer Umdrehungszahl von 2000 bis 4000 U/min verwendet werden.

5. Spezielle Ansätze für das EVA-Winkelstück

Alle Instrumente haben glatte Führungsflächen, zwischen denen sich rechtwinkelige Arbeitskanten befinden. So soll ein Abtrag von harten und weichen Belägen erzielt werden. Die glatten Führungsrillen sollen dabei ein Abtragen der Zahnhartgewebe und ein Aufrauen der bearbeiteten Oberfläche verhindern. Der Einsatz dieser Instrumente sollte bei 10.000 bis 15.000 Hüben/min erfolgen.

2.4.3 Laser

Im Zuge der Suche nach effizienteren Therapiemöglichkeiten eröffnete die Erfindung der Lichtquelle „Laser“ (die englische Abkürzung für Light amplification by stimulated emission of radiation) neue Dimensionen in der Parodontologie. Der erste Laser (Rubin-Laser) wurde 1960 von T.H. Maiman entwickelt und sehr schnell wegen seiner hohen monochrom-

atischen Energie auf kleinem, begrenzten Raum in die Medizin (z.B. Augenheilkunde, Dermatologie, Tumorchirurgie) eingeführt. Die ersten Versuche in der Zahnheilkunde unternahmen Goldman et al. im Jahre 1964, als sie versuchten, rotierende Instrumente durch einen Laser zu ersetzen [41]. Jedoch hatte der Einsatz eine Karbonisierung der Oberfläche, sowie Schäden der Pulpa zur Folge. Dies führte zur Entwicklung neuer Lasertypen [107].

Nach erfolgreichem Einsatz von Lasern in Fachgebieten der Humanmedizin hat in den letzten Jahren das Interesse an einem Einsatz derselben auch in der Parodontologie stark zugenommen. Die verschiedenen Lasertypen unterscheiden sich unter anderem in ihren Wellenlängen, die von aktiven Medien erzeugt werden. Das aktive Medium kann ein Festkörper (z.B. Nd:YAG; Er:YAG), eine Flüssigkeit (Farbstofflaser), gasförmig (z.B. Eximer, CO₂) oder ein Halbleiter (Diodenlaser) sein. Bei den in der Zahnheilkunde verwendeten Lasern handelt es sich um Festkörperlaser wie Nd:YAG-Laser (1064 nm), Er:YAG-Laser (2,94 µm), sowie Gaslaser wie der CO₂-Laser (9,6 µm; 10,6 µm) und Diodenlaser (630-940 nm) [96].

2.4.3.1 Laser-Gewebe Wechselwirkungen

Laserlicht ist im Gegensatz zum normalen Tageslicht monochromatisch, das heißt, es besitzt eine bestimmte Wellenlänge und trifft meist in scharf gebündelter Form mit zeitlicher und räumlicher Kohärenz auf. Die Wirkung im Gewebe hängt davon ab, wie gut das Laserlicht im Gewebe absorbiert wird.

Will man Zahnhartsubstanzen im Rahmen der Kariestherapie oder Weichgewebe bei parodontalen oder oralchirurgischen Eingriffen bearbeiten, so ist es notwendig, dass das einfallende Laserlicht eine hohe Absorption im Wasser und damit im biologischen Gewebe aufweist. Bei hoher Absorption konzentriert sich die Laserenergie auf ein kleines Gewebavolumen. So kann bereits bei relativ geringen Energien eine Ablation von Gewebe einsetzen. Dies trifft vor allem auf den Erbium-YAG-

(Er:YAG) Laser bei einer Wellenlänge von 2,94 μm und in geringerem Maße auf den CO₂-Laser bei Wellenlängen von 9,6 μm bzw. 10,6 μm zu. Bei allen anderen Lasersystemen wie dem Argon-, Holmium-YAG- (Ho:YAG), Neodym-YAG- (Nd:YAG) und den Diodenlasern ist die Absorption in oralen Geweben dagegen sehr gering. Das einfallende Licht dringt tief in das Gewebe ein und wird dort gestreut. Es tritt eine starke thermische Alteration des Gewebes auf, bevor eine Ablation zu erzielen ist. Dabei wird das benachbarte Gewebe thermisch geschädigt. Deshalb ist ein Einsatz dieser Lasersysteme für die Zahnhartsubstanz-bearbeitung oder Gewebsschnitte nicht sinnvoll [53].

Verwendet man dagegen gepulstes Laserlicht mit hoher Absorption, so kommt es wie beim Er:YAG-Laser zu einer überwiegend mechanischen Wirkung mit einer minimalen Wärmeentwicklung, so dass thermische Schäden vermieden werden. Nach diesen physikalischen Gesetzmäßigkeiten richten sich auch die Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen Laser.

2.4.3.2 Anwendung des Erbium-YAG-Lasers in der Parodontologie

Aoki et al. berichten 1994 erstmals von einer In-vitro-Studie zur Untersuchung der Möglichkeit, Wurzeloberflächen von Zahnstein und Konkrementen mit einem Er:YAG-Laser zu reinigen [2]. Durch nachfolgende Untersuchungen wurde belegt, dass sowohl unter In-vitro- als auch In-vivo- Bedingungen subgingivale Konkremente parodontal befallener Wurzeloberflächen entfernt werden können [32, 87]. Bereits bei niedrigen Energiestufen besitzt der Er:YAG-Laser ein bakterizides Potential auf parodontalpathogene Keime [1, 33]. Bei einer Energiedichte von 300 mJ/cm² konnte eine Reduktion der Lipopolysaccharide um 83,1% erreicht werden [113]. In keiner der Untersuchungen konnte eine thermische Belastung der Pulpa nachgewiesen werden. Dies ist, wie oben erwähnt, durch die verwendete Wellenlänge des Lasers zu erklären. Da Wasser sein Absorptionsmaximum bei der Wellenlänge des Er:YAG-Lasers hat, wird der Laserstrahl beim Auftreffen auf Zahnhartsubstanz

durch deren Gehalt an Hydroxylapatit direkt an deren Oberfläche absorbiert. Dadurch bleibt die Wärmewirkung auf die Oberfläche begrenzt. Der Abtrag erfolgt durch einen thermomechanischen Ablationsprozess. Das im Gewebe enthaltene Wasser wird durch den Laserimpuls in einen dampfförmigen Zustand versetzt. Durch die schnelle Expansion des Dampfes kommt es zu einer Mikroexplosion, die zum Abtrag des Gewebes führt, ohne dass dabei kristalline Bestandteile aufgeschmolzen oder verdampft werden. Auf gleiche Weise erfolgt die Keimreduktion. Der bakterizide Effekt beruht auf einer thermischen Denaturierung und Verdampfung intrazellulärer Flüssigkeit der Bakterien [46].

2.4.3.3 Laser-Fluoreszenz-Sondierung von Konkrementen

Bei der Überprüfung des Reinigungserfolges ist man bei der geschlossenen Kürettage bis heute auf das taktile Empfinden mit Sonden angewiesen [16, 69]. Um ein effektives minimalinvasives Vorgehen realisieren zu können, wurde an einem Detektionssystem gearbeitet, das den Behandlungserfolg im subgingivalen, nicht einsehbaren Bereich überprüft [79].

Das von Hibst et al. entwickelte DIAGNOdent-Gerät arbeitet auf der Basis einer im roten Spektralbereich (655nm) emittierenden InGaAsP-Laserdiode als Licht-Quelle und einer Photodiode als Detektor. Das primär für die Kariesdiagnostik entwickelte Gerät zeigt kariöse Läsionen mit einer Sensitivität und einer Spezifität von mehr als 80% an [47]. Frentzen et al. konnten zeigen, dass auch subgingivale Auflagerungen auf der Wurzeloberfläche reproduzierbar fluoreszenzspektroskopisch detektiert und vom Wurzelzement unterschieden werden können [36, 34, 61, 62]. Die chemischen Grundlagen, der durch den Laserstrahl induzierten optischen Effekte sind noch nicht eindeutig geklärt. Bisher vermutet man, dass dieses Prinzip auf einer Autofluoreszenz bakterieller Stoffwechselprodukte (wie Porphyrine aus *Porphyromonas* sp.) beruht, welche durch eine Anregung mit einer Wellenlänge von 655 nm hervorgerufen werden kann. Die Ergebnisse erster In-vitro-Versuche

zeigten, dass die Lokalisation subgingivaler Konkremente mit diesem System im Vergleich zu einer konventionellen Parodontalsonde signifikant verbessert werden konnte [35]. Dieser Mechanismus wurde in ein Er:YAG Lasersystem (KaVo Key 3, Biberach, Deutschland) integriert. Somit soll neben einer Detektion subgingivaler Konkremente bei der nicht chirurgischen Parodontaltherapie auch die Bestrahlung und somit mögliche Schädigungen konkrementfreier Wurzeloberflächenareale verhindert werden, da die Aktivierung des Therapielasers an ein positives Fluoreszenzsignal gekoppelt wurde.

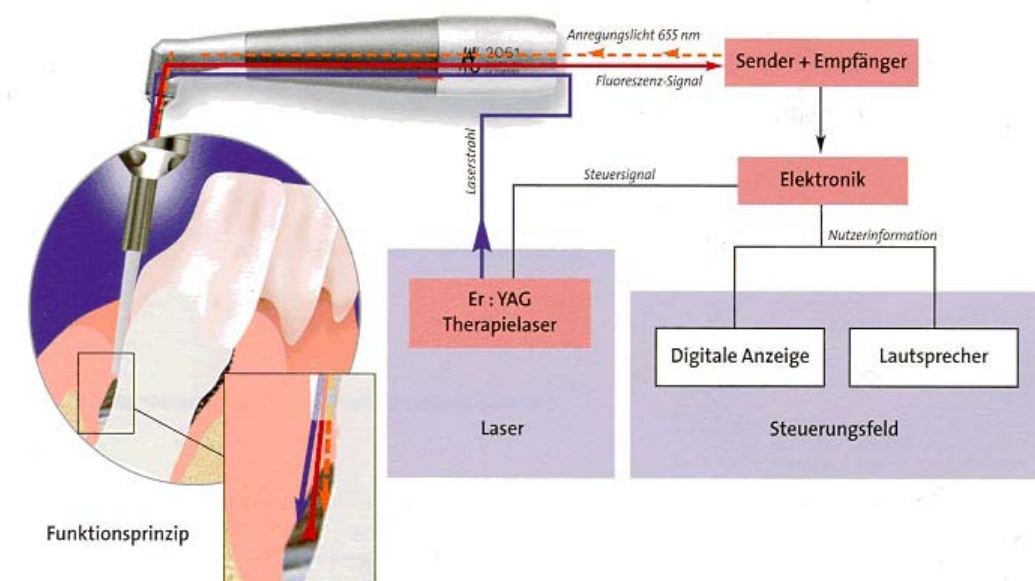


Abbildung 1: Schema Feedbacksystem (Quelle: www.kavo.com)

Funktionsprinzip des Feedbacksystems (Abbildung 1):

Über ein zentrales Fiberglasbündel des Lichtkeils (1,65 x 0,5 mm) der diagnostischen Einheit wird Laserstrahlung mit einer Wellenlänge von 655 nm und maximaler Leistung von 1 mW auf die Wurzeloberfläche transportiert. Die vom Diodenlaser induzierte Fluoreszenzstrahlung wird vom Fiberglasleiter, die um den Zentralleiter angeordnet sind, zum Gerät zurückgeleitet und von einer Photodiode gemessen. Zur Unterscheidung zwischen Umgebungslicht und Fluoreszenz sind optische Filter eingebaut, die unerwünschte Wellenlängen herausfiltern. Ein digitales Display zeigt sowohl die relative Intensität als auch die maximale Intensität der

Fluoreszenz an, bei einer Skala von 0 als Minimal- und 99 als Maximalwert. Ab einem Schwellenwert von 5 ertönt ein akustisches Signal und der Er:YAG-Therapielaser kann vom Behandler ausgelöst werden (Abbildung 1).

2.5 Literaturübersicht klinischer und experimenteller Studien zum Thema Konkremententfernung

2.5.1 Studiendesign

Die überwiegende Zahl der veröffentlichten Studien, die sich mit der Effektivität der Konkremententfernung auseinandersetzten, verglichen die Effektivität von verschiedenen Instrumenten zur Reinigung der Wurzeloberfläche. Der Behandlungserfolg wurde mit Sonden oder Küretten überprüft.

Um Kriterien für die Durchführung einer Studie festzulegen, die sich mit der Entfernung von subgingivalen Konkrementen auseinandersetzt, wurden einige klinische [10, 13, 14, 15, 24, 25, 49, 50, 52, 56, 59, 93, 112] und experimentelle Studien [60, 68, 76, 77, 78, 101] näher untersucht.

Das Auswahlverfahren der klinischen Studien war so angelegt, dass die verwendeten Zähne von vergleichbar vielen Konkrementen bedeckt waren. Dazu wurde im Vorfeld geklärt, wann eine Parodontaltherapie in der Vergangenheit durchgeführt wurde, und ob eine Parodontitisform vorlag, bei der subgingivale Konkremente gebildet wurden [12]. Andere Untersucher überprüften radiologisch oder taktil die Wurzeloberflächen auf Konkremente. Weil die Zähne erst nach der Bearbeitung extrahiert wurden, war ein Vergleich der Wurzeloberflächen vor der Behandlung nicht möglich. Somit konnte nicht überprüft werden, ob die Wurzeloberflächen von vergleichbar vielen Konkrementen bedeckt waren, worunter die Vergleichbarkeit der Ergebnisse litt.

Die Verwendung von Phantommodellen ermöglichte dagegen standardisierte Versuchsbedingungen. Patterson et al., Takacs et al. und Lozanoff et al. stellten während der Sammlung der Zähne fest, daß die

Wurzeloberflächen zu selten von natürlichem Zahnstein bedeckt waren und verwendeten künstlichen Zahnstein [78, 101, 68]. Kocher et al. und Otero-Cagide und Long verwendeten künstliche Zähne, die anderen Untersucher teilten die Zähne in verschiedene Kategorien, um objektivierbare Ergebnisse zu erzielen [60, 76, 77].

Auch wenn diese Ergebnisse nur bedingt auf die klinische Situation übertragbar waren, konnten die Unterschiede der zu untersuchenden Instrumente deutlicher herausgearbeitet werden. Auch war es im Phantommodell möglich, die Behandlungssituation zu standardisieren, um auszuschließen, dass individuelle anatomische Unterschiede die Ergebnisse beeinflussten.

2.5.2 Mikroskopische Untersuchung und Aufbereitung der Daten

Für die mikroskopische Untersuchung wurden die Wurzeloberflächen entweder durch eine Bleistift- oder Kürettenmarkierung in Einzelflächen unterteilt und teilweise mit Methylenblau angefärbt.

Bei der Auswertung der mikroskopischen Bilder orientierten sich die Studien an der Untersuchungsmethode von Rabbani [80]. Dabei wurde ein Gitterraster über die Abbildung der Wurzeloberfläche gelegt und ein Verhältnis von konkrementfreier und konkrementbedeckter Wurzeloberfläche gebildet. Kocher et al. und Chan et al. nutzten volldigitale Systeme, die kein Gitterraster mehr verwendeten, sondern die Oberflächen mit der Genauigkeit von einem Bildpixel erfassten [59, 60, 15].

2.5.3 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Studien zum Thema Konkremententfernung sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Autor	Anzahl	Auswertungs-kriterien	Instrument	Ergebnisse
Brayer et al.	21 einwurzlige Zähne, 73 Wurzeloberflächen	% Anteil der konkrementbedeckten Flächen, % Anteil des Zahnsteines an der Gesamtfläche	Handküretten Explorersonde	34,3 % der untersuchten Wurzeloberflächen mit Zahnstein
Brayer et al.	26 einwurzlige Zähne, 74 Wurzeloberflächen	% Anteil der konkrementbedeckten Flächen	Handküretten Explorersonde	8,8% der untersuchten Wurzeloberflächen mit Zahnstein
Buchanan et al.	29 Zähne, 116 Wurzeloberflächen	% Anteil der konkrementbedeckten Flächen, % Anteil des Zahnsteines an der Gesamtfläche	Handküretten keine Angabe	62% der Zähne mit verbliebenem Zahnstein, 24% der untersuchten Wurzeloberflächen mit Zahnstein
Buchanan et al.	35 Zähne, 140 Wurzeloberflächen	% Anteil der konkrementbedeckten Flächen, % Anteil des Zahnsteines an der Gesamtfläche	Handküretten keine Angabe	37% der Zähne mit verbliebenem Zahnstein, 24% der untersuchten Wurzeloberflächen mit Zahnstein
Caffesse et al.	89 Wurzeloberflächen	% Anteil der konkrementbedeckten Flächen	Handküretten Explorersonde	91,91% der untersuchten Wurzeloberflächen mit Zahnstein

Caffesse	128 Wurzelober- flächen	% Anteil der konkrementbe- deckten Flächen	Handküretten Explorers- sonde	31,25 % der untersuchten Wurzeloberflächen mit Zahnstein
Chan et al.	120 Wurzelober- flächen	% Anteil der konkrementbe- deckten Wurzel- oberflächen	Ultraschall	prozentualer Zahnsteinanteil an der Gesamtfläche 5%
Eschler und Rapely	10 Zähne	% Anteil des Zahnsteines an der Gesamtfläche	Handküretten Explorerssonde	prozentualer Zahnsteinanteil an der Gesamtfläche: 7,6%
Fleischer et al.	13 Zähne, 74 Wurzel- oberflächen	% Anteil der konkrementbe- deckten Flächen, % Anteil des Zahnsteines an der Gesamtfläche	Handküretten, Explorer, Ultraschall	54 % der untersuchten Wurzeloberflächen mit Zahnstein
Hunter et al.	5 Zähne	% Anteil des Zahnsteines an der Gesamtfläche	Handküretten Explorer	prozentualer Zahnsteinanteil an der Gesamtfläche: 5,78%
Hürzeler et al.	11 Frontzähne	% Anteil des Zahnsteines an der Gesamtfläche	Handküretten	Prozentualer Zahnsteinanteil an der Gesamtfläche : 4,2% (+/- 2,1%)
Kawanami et al.	30 Zähne	anfärbbare Wurzelober- flächen	Ultraschall	anfärbbare Oberflächen: 4,6 - 7,4%
Kepic et al.	31 Zähne	% Zähne mit restlichen Konkrementen	Handküretten Explorerssonde	70% der behandelten Zähne mit Konkrementen
Kocher et al.	17 Zähne	% gereinigte Wurzelober- flächen	Handküretten	100% der Wurzeloberflächen konkrementfrei
Rabbani et al.	62 Zähne	% Anteil Zahnsteines an der Gesamtfläche	Handküretten Explorerssonde	17% der Gesamtfläche mit verbliebenem Zahnstein

Yukna et al.	80 einwurzlige Zähne	% Zähne mit verbliebenen Konkrementen	Handküretten Explorersonde	Prozentualer Zahnsteinanteil an der Gesamtfläche: 4,6%
--------------	----------------------	---------------------------------------	-------------------------------	---

Tabelle 1: Studien zum Thema Konkremententfernung

2.5.4 Wesentliche Trends bei der Konkremententfernung

Nachdem in der konservativen Parodontaltherapie große Veränderungen in den letzten Jahren ausgeblieben sind, ist die Systematik des Ultraschall-Scalings relativ gesehen durchaus als fortschrittlich und innovativ zu betrachten [86]. Supra- und subgingivales Scaling mit Schall- und Ultraschallinstrumenten führt zu klinischen Therapieergebnissen, die denen nach Handinstrumentierung gleichwertig sind. Die subgingivale Mikroflora wird durch subgingivales Scaling mit Handinstrumenten in gleichem Maß wie bei Schall- und Ultraschallscaling reduziert. Klinische Studien zeigen, dass vergleichbare Attachmentgewinne und eine Reduktion der Taschensondierungstiefen nach subgingivalem Scaling mit Schall- und Ultraschall- sowie Handinstrumenten erreicht werden können [89,106, 7, 64, 63, 65, 66, 6, 4, 103]. Dies gilt insbesondere für die Bearbeitung einwurzeliger Zähne und die Glattflächen von Molaren [112]. In den Furkationsbereichen mehrwurzeliger Zähne ist mit Schall- und Ultraschallscalern eine gegenüber Handinstrumenten effizientere Zahnsteinentfernung möglich [59, 67, 70]. Weiterhin hat sich die Anwendung oszillierender Scaler gegenüber der Handinstrumentierung in einigen Studien als zeitsparender erwiesen [7, 63, 64, 19].

Ihre Effizienz wird durch die Faktoren Instrumentierungszeit, angewandte Auflagekraft und den Anstellwinkel der Scalerspitze zur Wurzeloberfläche beeinflusst [27, 28, 29]. Die Reinigung der betroffenen Zahn- und Wurzeloberflächen ist vor allem für den Behandler weniger ermüdend, da die eigentliche Arbeitsleistung vom Instrument erbracht wird, das vom Behandler lediglich geführt wird. Berufserkrankungen wie das Karpaltunnelsyndrom werden dadurch minimiert [86].

3 Ziel der Untersuchung

Ziel dieser Studie unter simulierten klinischen Bedingungen war es, einen Er:YAG-Laser mit integriertem fluoreszenzspektroskopischen Detektionssystem (KaVo KEY 3) und Handinstrumente (Gracey-Küretten) bezüglich der Effektivität und Behandlungsdauer bei der Entfernung von Konkrementen in der nicht chirurgischen Parodontaltherapie zu vergleichen.

Folgende Fragen sollen im Rahmen der Studie geklärt werden:

1. Ist mit dem Er:YAG-Laser eine effektive Entfernung von Konkrementen unter klinischen Bedingungen möglich?
2. Gibt es signifikante Unterschiede hinsichtlich der Effizienz und Bearbeitungsdauer zwischen beiden Behandlungsmethoden?
3. Stellt er damit eine mögliche Behandlungsalternative zur konventionellen Bearbeitung von Wurzeloberflächen mit Handinstrumenten dar?

4 Experimenteller Teil

4.1 Material und Methode

4.1.1 Laserparameter

In dieser Studie wurde ein gepulster Erbium-YAG-Festkörperlaser der Laserklasse 4 (KEY-Laser 3, KaVo, Biberach, Deutschland) verwendet. Der Pilotlaser emittiert Strahlung mit einer Wellenlänge von 655 μm , der Therapie-Laser arbeitet bei einer Wellenlänge von 2,94 μm und einer Pulslänge von 250 μs . Es wurden Pulsenergien von 140 mJ bei Repetitionsraten von 6 Hz appliziert. Die Applikation der Laserstrahlung auf die Wurzeloberfläche erfolgte durch ein speziell entwickeltes Parodontologie-Handstück P 2061 (KaVo, Biberach, Deutschland) in Kombination mit einem rotierbaren (360°), meißelförmigen Lichtleiter (Abmessung 0,5 x 1,65 mm).

4.1.2 Handinstrumente

Für die manuelle Wurzeloberflächenbearbeitung stand dem Behandler ein Satz frisch geschliffener Gracey-Küretten (Fa. Hu-Friedy, Leimen, Deutschland) zur Verfügung. Dieser Satz enthält vier bereichsspezifische, doppelendige Küretten (Abbildung 2):

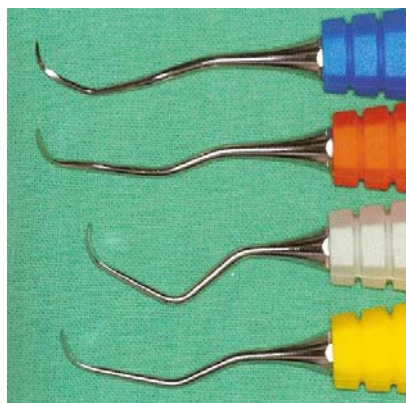


Abbildung 2: Gracey-Küretten

- Kürette 5/6 (gelb): zur Bearbeitung von Frontzähnen
Kürette 7/8 (grau): zur Bearbeitung von Seitenzahnflächen
Kürette 15/16 (rot): zur Bearbeitung von mesialen Wurzeloberflächen
Kürette 13/14 (blau): zur Bearbeitung von distalen Wurzeloberflächen

4.1.3 Auswahl, Lagerung und Vorbereitung der Proben

Als Untersuchungsmaterial dienten extrahierte Frontzähne, Eckzähne, Prämolaren und Molaren. Alle untersuchten Wurzeloberflächen waren von vergleichbar viel Zahnstein bedeckt. Die Zähne wurden aus verschiedenen Gründen entfernt, zum Beispiel aufgrund fortgeschrittener parodontaler Erkrankung, kariösen Läsionen oder endodontischer Probleme und maximal sechs Monate in elektrolythaltiger Lösung gelagert. Keine der untersuchten Wurzeloberflächen zeigte Anzeichen von Karies, Wurzelresorption oder Verfärbungen. Unmittelbar vor der Untersuchung wurden die Zähne vorsichtig mit einer Zahnbürste von organischem Debris befreit und mit Natriumchloridlösung gespült.

4.1.4 Versuchsaufbau für In-vitro Vorversuche

Vor der Durchführung der Studie am klinischen Modell wurden Vorversuche an 20 einwurzeligen, konkrementbehafteten Zähnen vorgenommen, die in zwei Gruppen zu je 10 Zähnen aufgeteilt wurden.

Vor Bearbeitung wurden die Zähne an der Schmelz–Zement Grenze mit einer Linie und am Übergang zum apikalen Wurzeldrittel mit einer Rille markiert. Nur die dazwischen liegende Fläche wurde bearbeitet. Koronal wurden die Zähne mit Silikon in Sechskantschrauben befestigt und die Wurzeloberflächen, somit aufgeteilt in sechs Teilflächen, unter dem Auflichtmikroskop photographiert (Stemi SV 11, Zeiss, Vergr. 0,6 x). Durch Oberflächenvermessung mittels eines Bildbearbeitungsprogrammes (Adobe Photoshop, USA) wurden die konkrementfreien und konkrementbehafteten Areale der Wurzeloberflächen vor und nach Bearbeitung ermittelt und miteinander ins Verhältnis gesetzt.

Die Kontrollgruppe (Zahn Nr. 1–10) wurde mit konventionellen Handinstrumenten gereinigt (Gracey–Kürette No. 5/6, 7/8).

Die Versuchsgruppe (Nr. 11–20) wurde mit einem Er:YAG–Laser (KEY 3, KaVo) in Kombination mit einem fluoreszenzspektroskopischen Detektionssystem behandelt (DiagnoDent). Die Behandlung erfolgte ausschließlich dem Detektionssignal entsprechend. Die Konkremente wurden mit einer Pulsenergie von 140 mJ und Pulsfrequenz von 6 Hz entfernt.

Nach Bearbeitungsende wurden die Proben zur Kontrolle der Gründlichkeit der Konkremententfernung unter gleichen Bedingungen wie vor Versuchsbeginn photographiert. Die Flächenauswertung erfolgte entsprechend den Untersuchungen unter simulierten klinischen Bedingungen.

4.1.5 Versuchsaufbau für die Untersuchungen unter simulierten klinischen Bedingungen

4.1.5.1 Modellherstellung

Aus insgesamt 40 Zähnen wurden 10 Modelle hergestellt. Jedes der Modelle beinhaltete zwei einwurzelige Zähne und zwei mehrwurzelige Zähne (Oberkiefer- bzw. Unterkiefermolaren). Nach dem von Frentzen und Nolden beschriebenen Verfahren wurden die Zähne eingebettet [37]. Die Zähne wurden so verankert, dass die Furkationsdefekte nicht von Kunststoff bedeckt waren. Die folgenden Abbildungen zeigen die Herstellung der Modelle:



Abbildung 3:
Superhartgipsmodell



Abbildung 4:
Die Zähne 13 bis 16 wurden mit einer Fräse entfernt. Die Seitenwände sollen parodontale Defekte simulieren und dem Kofferdam als Stütze dienen.



Abbildung 5:
Die ausgewählten Zähne wurden in visköser Silikonmasse fixiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Zähne ausreichend Abstand zum Gips hatten.



Abbildung 6:
Seitenansicht



Abbildung 7:

Die Zähne wurden in einem Schlüssel aus A-Silikon fixiert und mit Kunststoff im Modell befestigt.



Abbildung 8:

Danach wurden die Wurzeloberflächen mit gelochtem Kofferdam abgedeckt und der Kofferdam an Pins gespannt.



Abbildung 9:

Seitenansicht



Abbildung 10:

Das Modell wurde in einem Phantomkopf mit Gegenkiefer fixiert.

Die simulierten parodontalen Defekte des Modells hatten eine Tiefe von mindestens 7 mm. Anschließend wurden aus den insgesamt 10 Modellen zwei Untersuchungsgruppen mit je fünf Modellen gebildet.

4.1.5.2 Bearbeitung mit Handinstrumenten

In der Kontrollgruppe wurden die eingebetteten Zähne entsprechend den klinischen üblichen Verfahren mit den Gracey-Küretten 5/6, 7/8, 13/14 und 15/16 (Hu-Friedy, Leimen, Deutschland) so lange bearbeitet, bis sie sich glatt anfühlten. Danach wurde der Erfolg mit einer Explorersonde (Hu-Friedy, Leimen, Deutschland) überprüft und das Vorgehen so lange wiederholt, bis sie sich glatt anfühlten.

4.1.5.3 Bearbeitung mit Er:YAG-Laserstrahlung

In der Versuchsgruppe wurde die Wurzeloberfläche mit der Diodenlaserstrahlung in koronal-apikaler Richtung überlappend abgetastet. Bei Auslösung des Detektionssignals wurde die Wurzeloberfläche solange bearbeitet, bis der angezeigte Fluoreszenzwert kleiner als 5 war.

Der Fasermeißel wurde bei der Konkremententfernung mit einem Anstellwinkel von ca. 20° kontaktarm und zugkraftfrei von koronal nach apikal in parallelen Bahnen möglichst tangential zum Zahn geführt (Abbildung 11). Weiterhin wurde darauf geachtet, dass der Fasermeißel gleichmäßig und zügig (> 0,5 mm/sec.) geführt wurde.

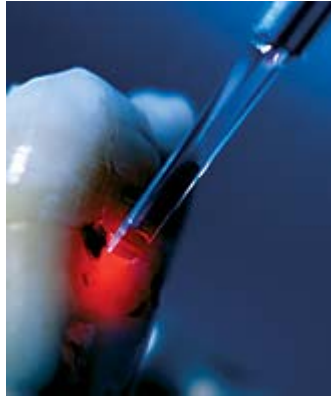


Abbildung 11: Anstellwinkel des Fasermeißels (Quelle: www.kavo.com)

4.1.5.4 Planimetrische Auswertung

Zur Flächenauswertung wurde vor Bearbeitung mit einem Stift an der Schmelz-Zementgrenze eine koronale Referenzlinie angezeichnet. Als apikale Referenzlinie wurde mit einem Diamanten eine Rille am Übergang zum apikalen Wurzel Drittel angelegt. Danach wurden die Zähne mit der Krone in eine sechseckige Schraubenmutter eingebettet. Mit einer digitalen Kamera (Nikon, Japan), die an ein Auflichtmikroskop (Zeiss, Jena) gekoppelt war, wurden von jedem Zahn sechs Aufnahmen gemacht. Bei jedem Bild wurde die Sechskantmutter auf eine andere Fläche gelegt, so dass alle Flächen des Zahnes fotografiert werden konnten. Mit einem Bildbearbeitungsprogramm (Adobe Photoshop, USA) wurde die Anzahl der Pixel der bearbeiteten Fläche bestimmt und mit den zahnsteinbedeckten Arealen in Beziehung gesetzt (Abbildung 12, 13).

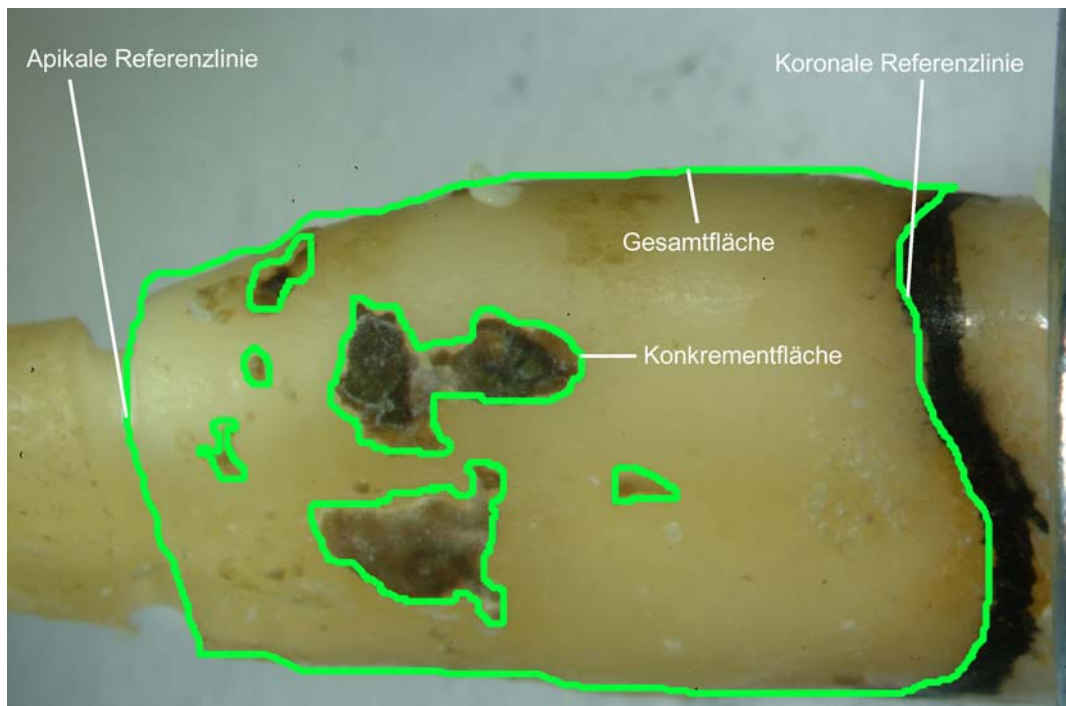


Abbildung 12: Flächenvermessung vor Bearbeitung mit Flächenmarkierungen

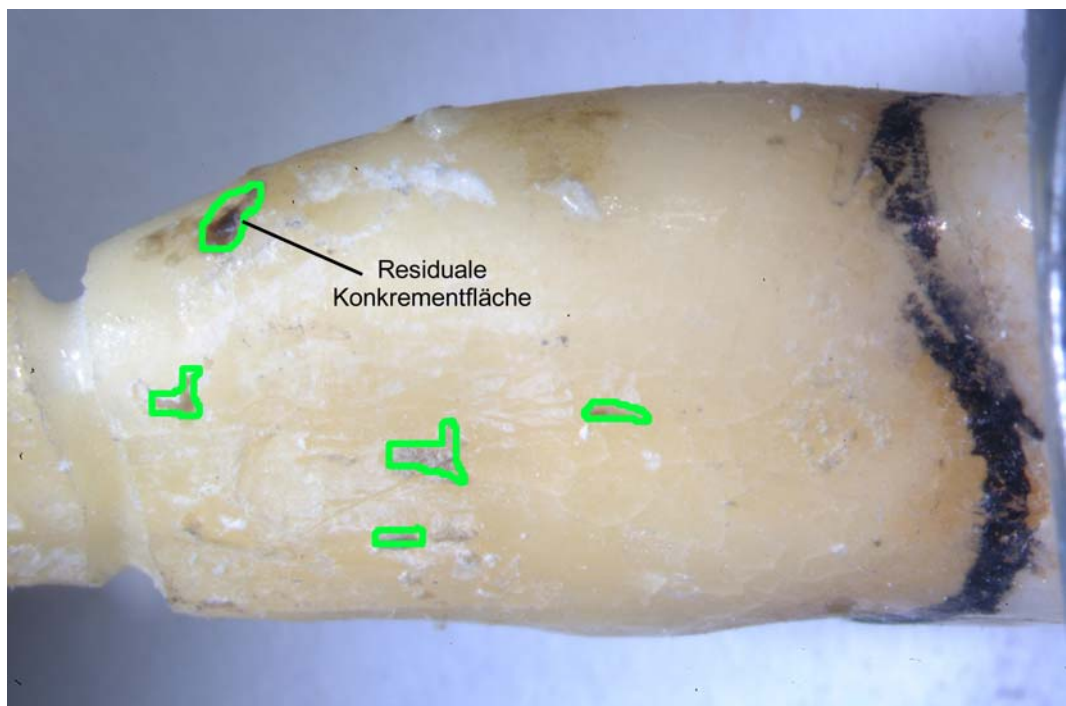


Abbildung 13: Flächenvermessung nach Bearbeitung mit residualen Konkrementflächen

Flächenberechnung:

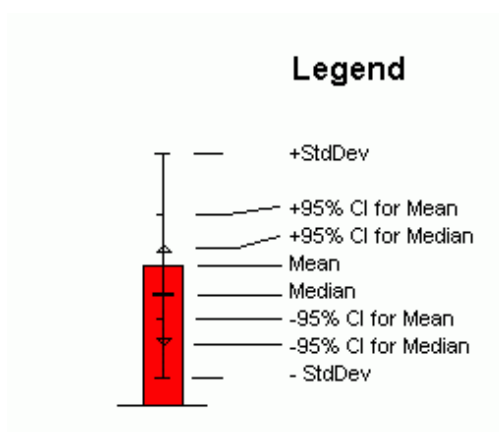
Zuerst wurde die Anzahl der Pixel der Gesamtlänge und danach die zahnsteinbedeckte Gesamtlänge bestimmt. Anschließend wurde die

Fläche der Einziehung oder des Furkationseinganges und die konkrementbedeckte Fläche in der Einziehung gemessen. Die Innenflächen der Furkationsdefekte wurden nicht beurteilt. Nach der Flächenauswertung erfolgte die Berechnung des prozentualen Anteils der konkrementbedeckten Flächen an der Gesamtfläche (Abbildung 12, 13). Für die Umrechnung der Pixelzahl in mm² wurde Millimeterpapier unter gleichen Bedingungen wie die Wurzeloberflächen fotografiert und von 1 mm² insgesamt 10-mal die Anzahl der Pixel bestimmt. Aus dem Mittelwert wurde ein Umrechnungsfaktor ermittelt (24.000 Pixel = 1mm²).

4.1.5.5 Statistische Auswertung

Die Ergebnisse wurden mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Wenn sowohl die Wurzeloberflächen als auch die Menge der verbliebenen Konkreme normal verteilt waren, wurden die Ergebnisse einem nicht gepaarten t-Test unterzogen, um die Unterschiede der beiden Gruppen zu analysieren. Alle statistischen Analysen wurden mit einem Signifikanzniveau von 5% ($p < 0,05$) durchgeführt.

Legende für folgende Diagramme:



N.....Stichprobenumfang

Mean.....Mittelwert

SD.....Standardabweichung

Median.....Median

Gauss.....Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest auf Gauss'sche
Normalverteilung

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

Groups.....Gruppenname (mit _Untergruppierung)

1_1 einwurzelige Zähne, Handinstrumente

1_2 einwurzelige Zähne, Er:YAG-Laser

2_1 mehrwurzelige Zähne, Handinstrumente

2_2 mehrwurzelige Zähne, Er:YAG-Laser

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Vergleich unter In-vitro Bedingungen

4.2.1.1 Konkrementabtrag

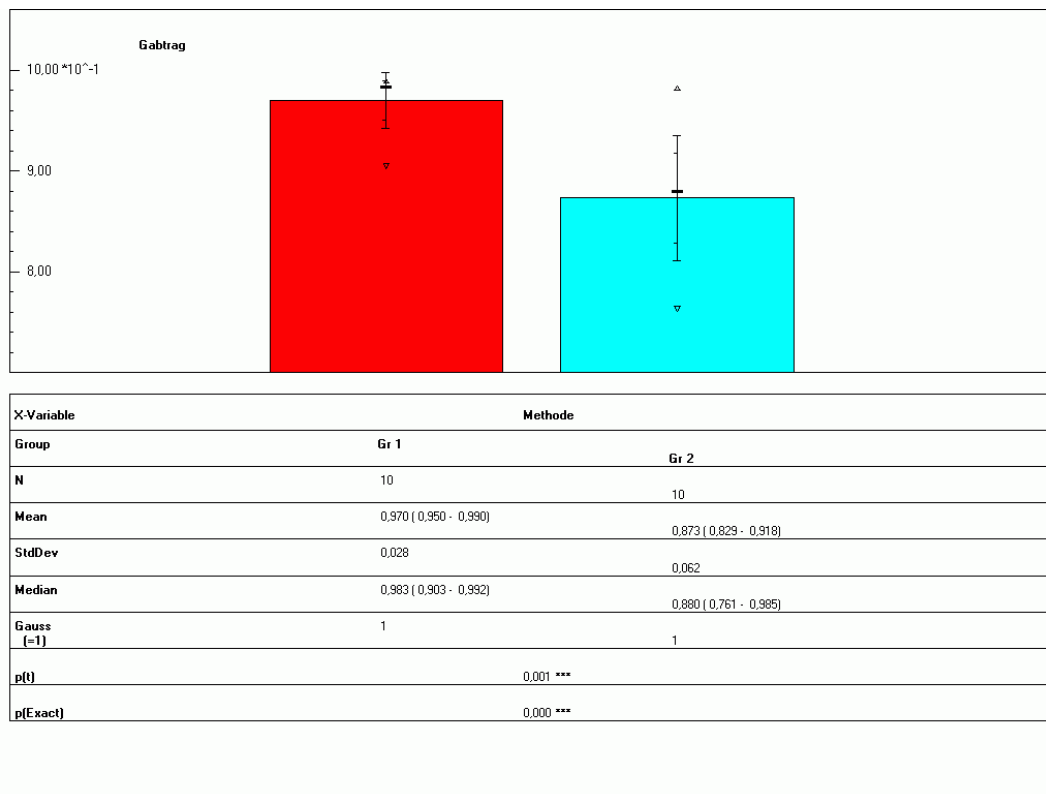
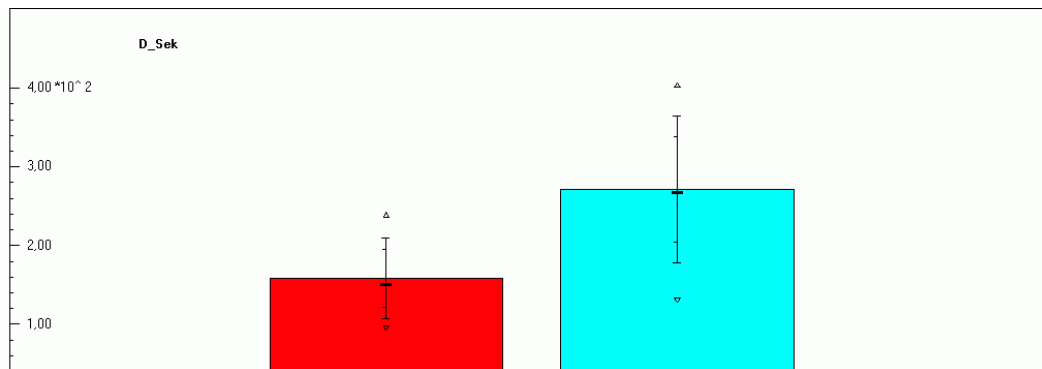


Abbildung 14: Konkrementabtrag unter in-vitro Bedingungen

In der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) waren nach der Behandlung 97% (95-99%) der Konkremente entfernt, in der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG-Laser) 87,3% (82,9-91,8%).

4.2.1.2 Bearbeitungsdauer



X-Variable	Methode	
Group	Gr 1	Gr 2
N	10	10
Mean	158,500 (121,865 - 195,135)	271,400 (204,216 - 338,584)
StdDev	51,208	93,910
Median	150,500 (92,000 - 242,000)	267,500 (128,000 - 407,000)
Gauss (-1)	1	1
p(t)		0,004 **
p[Exact]		0,008 **

Abbildung 15: Vergleich der Bearbeitungsdauer mit Handinstrumenten und Er:YAG-Laserstrahlung unter in-vitro Bedingungen

Die durchschnittliche Bearbeitungszeit betrug in der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) 02:38 Minuten (02:01-03:15 min), in der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG-Laser) 04:31 Minuten (03:24-05:38 min).

4.2.2 Vergleich unter simulierten klinischen Bedingungen

4.2.2.1 Verteilung der Flächen und Zähne

Insgesamt wurden 40 Zähne (20 einwurzelige und 20 mehrwurzelige) mit insgesamt 240 Wurzeloberflächen untersucht. Die Anzahl der verschiedenen Zähne und Flächen zeigen die Tabellen 2 und 3.

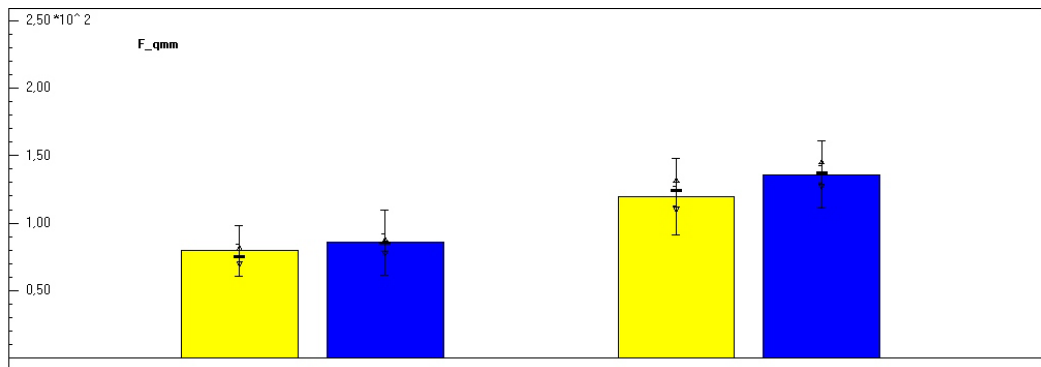
	Anzahl der Zähne	Gesamtflächen (Flächen insgesamt)	Glattflächen	Furkationen/ Einziehungen
Alle Zähne	20	120	120	54
Mehrwurzelige Zähne	10	60	60	54
Einwurzelige Zähne	10	60	60	-

Tabelle 2: Verteilung der Zähne und Flächen in der Kontrollgruppe

	Anzahl der Zähne	Gesamtflächen (Flächen insgesamt)	Glattflächen	Furkationen/ Einziehungen
Alle Zähne	20	120	120	49
Mehrwurzelige Zähne	10	60	120	49
Einwurzelige Zähne	10	60	60	-

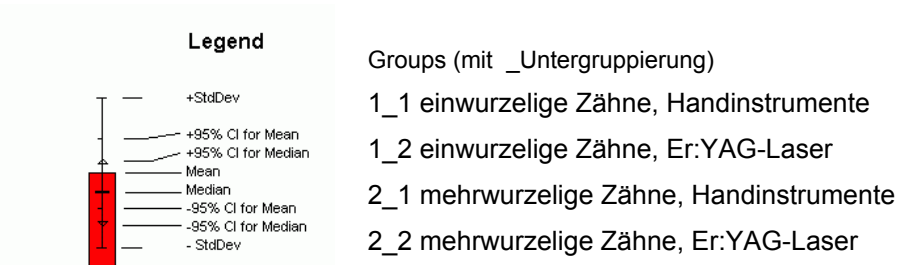
Tabelle 3: Verteilung der Flächen und Zähne in der Versuchsgruppe (Er:YAG- Laser)

4.2.2.2 Wurzeloberflächen in Kontroll- und Versuchsgruppe



X-Variable	Wurzel _SubGroups Methode			
Group	1_1	1_2	2_1	2_2
N	60	60	60	60
Mean	79,441 (74,570 - 84,311)	85,502 (79,224 - 91,780)	119,807 (112,461 - 127,152)	136,007 (129,502 - 142,513)
StdDev	18,850	24,298	28,429	25,178
Median	74,898 (67,720 - 83,265)	85,249 (75,793 - 89,470)	124,321 (108,327 - 133,361)	137,101 (125,224 - 147,433)
Gauss (=1)	1	1	1	1
LSD-Class	[A	A]	[A	B]
p[ADV]	0,000 ***			

Abbildung 15: Wurzeloberflächen in Kontroll- und Versuchsgruppe



Die durchschnittliche therapierbare Wurzeloberfläche betrug bei den einwurzeligen Zähnen in der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) 79,4 (74,5-84,3) mm² und in der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG-Laser) 85,5 (79,2-91,7) mm².

Bei den mehrwurzeligen Zähnen betrug die durchschnittliche therapierbare Wurzeloberfläche in der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) 119,8 (112,5-127,2) mm², in der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG-Laser) 136 (129,5-142,5) mm².

4.2.2.3 Flächenbedeckung mit Konkrementen vor und nach Behandlung

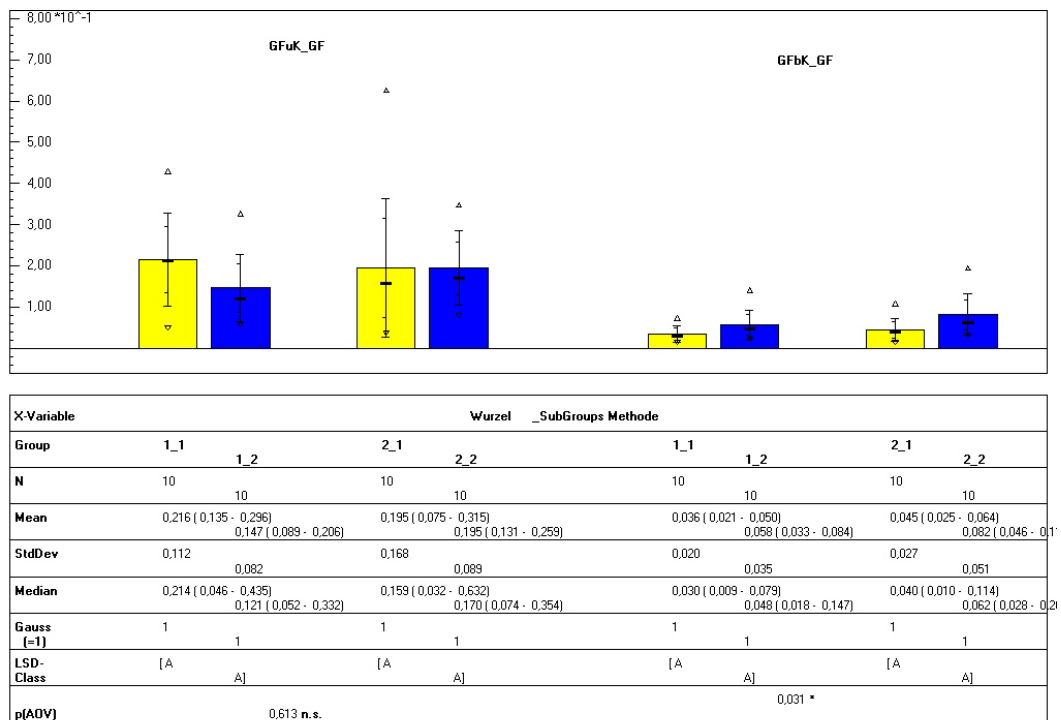
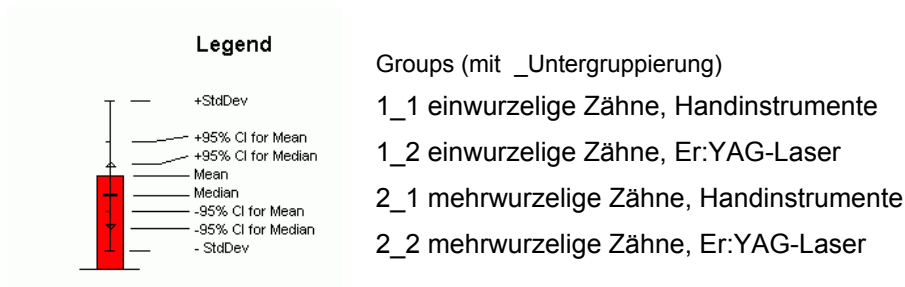


Abbildung 16: Flächenbedeckung der Wurzeloberfläche mit Konkrementen vor und nach Behandlung



Vor Bearbeitung waren bei den einwurzeligen Zähnen in der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) durchschnittlich 21,6 (13,5-29,6)% und in der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG-Laser) 14,7 (8,9-20,6)% der therapierbaren Wurzeloberflächen mit Konkrement bedeckt. Bei den mehrwurzeligen Zähnen waren in der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) 19,5 (7,5- 31,5)%, in der Versuchsgruppe (Gr.2,

Er:YAG-Laser) 19,5 (13,1-25,9)% der Wurzeloberflächen mit Konkrement behaftet.

Nach erfolgter Bearbeitung waren bei den einwurzeligen Zähnen der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) 3,6 (2,1-5,0)% und der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG-Laser) 5,8 (3,3-8,4)% der Wurzeloberflächen von Konkrement bedeckt. Bei den mehrwurzeligen Zähnen waren in der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) 4,5 (2,5-6,4)%, in der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG-Laser) 8,2 (4,6-10)% mit Konkrement bedeckt.

4.2.2.4 Vergleich der Abtragsleistung von Er:YAG-Laserstrahlung und Handinstrumenten

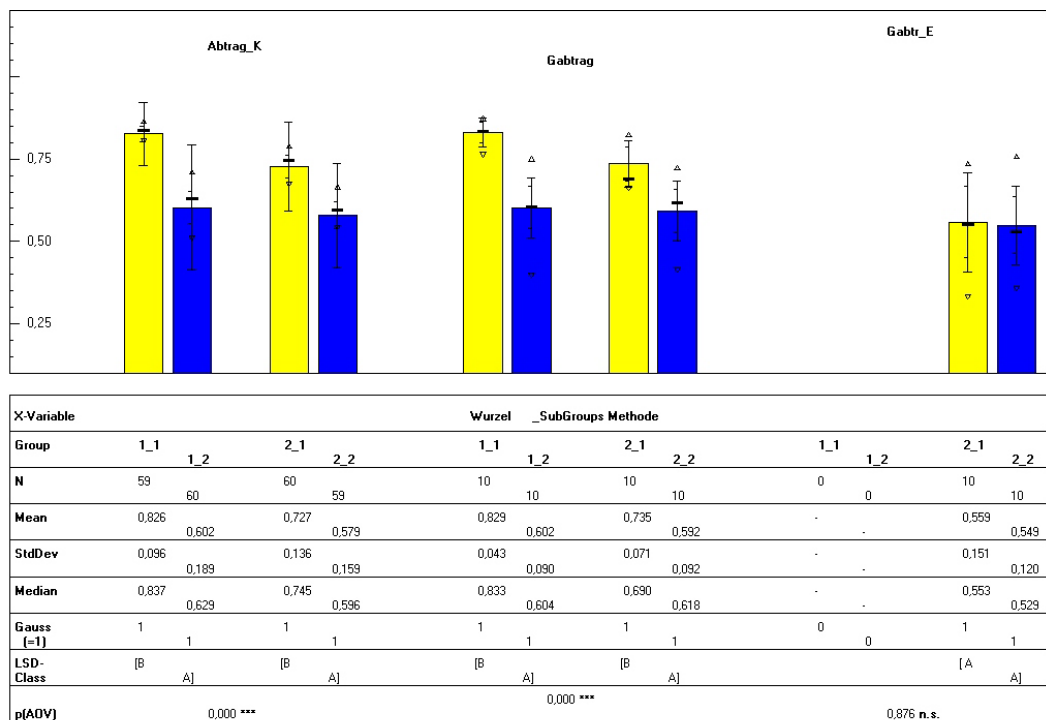
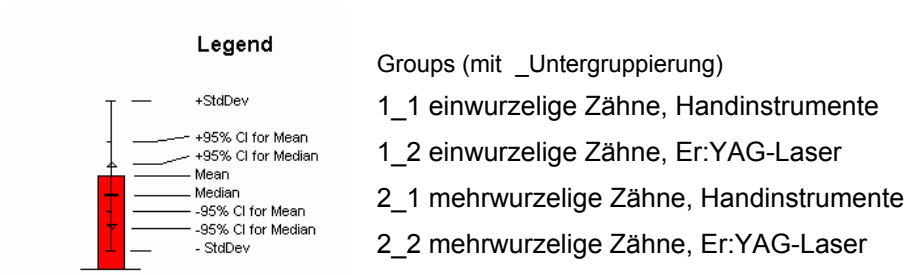


Abbildung 17: Vergleich der Effektivität von Er:YAG-Laserstrahlung und Handinstrumenten



Bei den einwurzeligen Zähnen wurde in der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) ein Abtrag von 82,9%, in der Versuchsgruppe ein Abtrag (Gr.2, Er:YAG-Laser) von 60,2% der bedeckenden Konkrementen erreicht.

Bei den mehrwurzeligen Zähnen ergab sich in der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) ein Konkrementabtrag von 73,5%, in der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG-Laser) 59,2%.

In Einziehungen bzw. Furkationen lag die Abtragsleistung der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) bei 55,9% und der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG- Laser) bei 54,9%.

4.2.2.5 Bearbeitungsdauer

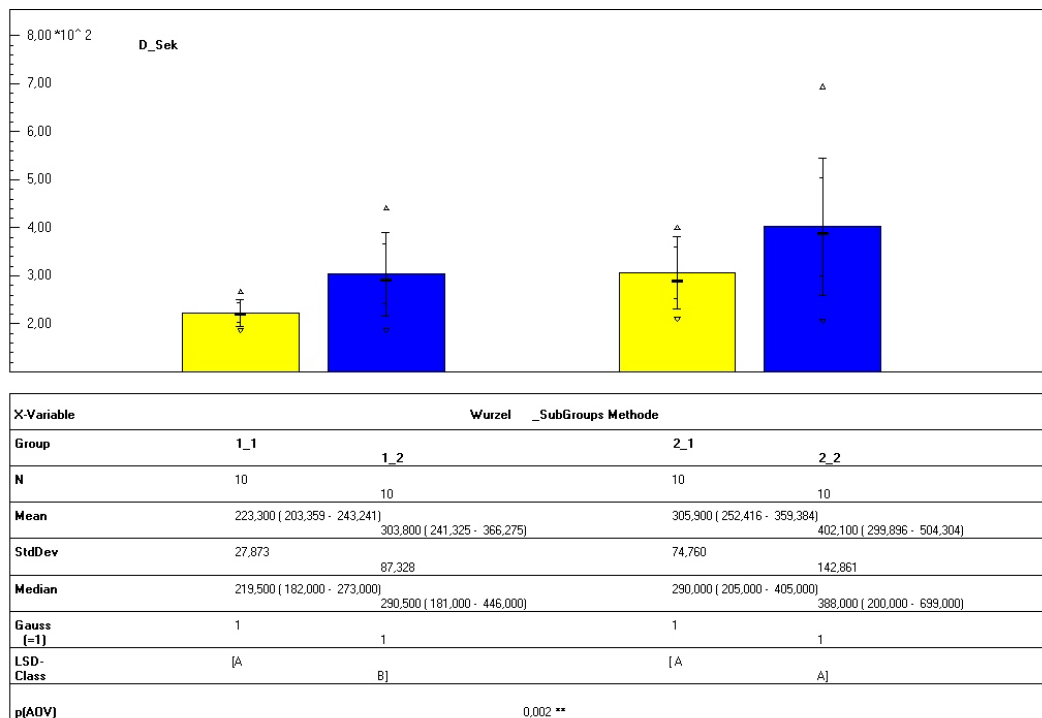
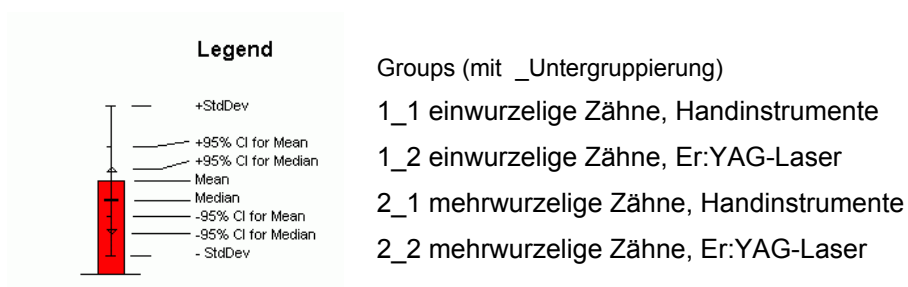


Abbildung 18: Durchschnittliche Bearbeitungsdauer für ein- und mehrwurzelige Zähne in den beiden Untersuchungsgruppen



Die Bearbeitungsdauer der Wurzeloberflächen der einwurzeligen Zähne in der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) belief sich auf durchschnittlich 03:43 Minuten (03:23-04:03 min.), in der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG-Laser) auf 05:03 Minuten (04:01-06:06 min.).

Bei mehrwurzeligen Zähnen dauerte deren Bearbeitung in der Kontrollgruppe (Gr.1, Handinstrumente) durchschnittlich 05:05 min (04:12-05:59 min.), in der Versuchsgruppe (Gr.2, Er:YAG-Laser) 06:42 Minuten (04:59-08:24 min.).

5 Diskussion

5.1 Versuchsaufbau

Die simulierte Situation am Phantomkopf liefert leichter objektivierbare Ergebnisse als eine klinische Untersuchung, wie Kocher et al. [60] und Otero-Cadige [76, 77] in früheren Studien feststellten. In der vorliegenden Studie wurden die Modelle weiterentwickelt, in der sowohl die standardisierten Versuchsbedingungen beibehalten wurden als auch eine mit einer In-vivo-Studie vergleichbare Situation geschaffen wurde. Vertikale Knochendefekte wurden simuliert und ausschließlich natürliche Zähne mit natürlichen Konkrementen verwendet. Dabei wurde darauf geachtet, dass die verwendeten Zähne von ungefähr vergleichbar viel Konkrement bedeckt waren.

5.2 Mikroskopische Untersuchung

Für die mikroskopische Untersuchung wurden die Zahnproben in sechs gleich große Wurzelabschnitte unterteilt. Dadurch sollte erreicht werden, dass auch die Flächen in den Randbereichen sicher beurteilt werden können. Die Projektion auf das zweidimensionale mikroskopische Bild würde die Fläche sonst in verzerrten Proportionen darstellen.

Frühere Studien [60, 112, 52, 24, 23] untersuchten nur je zwei Wurzeloberflächen pro Zahn. Bei einer Aufteilung in lediglich zwei Abschnitte wie bei Kocher et al. [60] und Kawanami et al. [52] wurde die Wurzeloberfläche in der Dimension des Durchmesser ($2r_h$) und nicht des Mantelumfanges (πr_h) dargestellt, wenn man den Wurzelumfang näherungsweise als einen Kreiszyylinder beschreibt. Daraus resultierte zwangsläufig ein systematischer Fehler bei der Untersuchung der Gesamtfläche und eine Fehleinschätzung des prozentualen Konkrementanteils. Der Konkrementanteil an der Gesamtfläche und der Anteil der konkrementbedeckten Wurzeloberflächen an der Gesamtzahl der Wurzeloberflächen wurde überbewertet. Dieser Fehler wurde in der

vorliegenden Untersuchung wegen der Unterteilung in sechs Wurzelflächen minimiert.

Bei der Auswertung der mikroskopischen Bilder orientierten sich die Untersucher an der Methode von Rabbani [80]. Diese legten ein Gitterraster über die Abbildung der Wurzeloberfläche und bildeten ein Verhältnis von konkrementfreier und konkrementbedeckter Wurzeloberfläche. Andere Autoren hingegen [59, 15] nutzten volldigitale Systeme ohne Gitterraster, welche die Oberflächen mit einer Genauigkeit von einem Bildpixel erfassten.

In der vorliegenden Studie wurde ebenfalls ein digitales System verwendet. Beim Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Studien fällt auf, dass die Werte bei Rabbani et al. vergleichsweise hoch sind [80]. Dies ist auf das grobe Raster bei der Untersuchung zurückzuführen. Außerdem wurde ein Quadrat auch als zahnsteinpositiv bewertet, wenn nur ein minimaler Teil von Zahnstein ausgefüllt war [80]. Durch die digitale planimetrische Auswertung konnten diese Ungenauigkeiten ausgeklammert werden, da die einzelnen Flächen individuell markiert und berechnet werden konnten.

5.3 Vergleich der Ergebnisse der Kontrollgruppe (Handinstrumente) zu klinischen Studien

In früheren Studien fanden Sherman et al. 38%, Buchanan et al. 16%, Brayer et al. 22,67%, Fleischer et al. 54,67% und Caffesse et al. 60,67% der untersuchten Wurzeloberflächen mit residualem Zahnstein bedeckt. Zum Vergleich wurden die Ergebnisse der Untersucher, die vier Wurzeloberflächen beurteilt hatten, auf sechs Oberflächen umgerechnet (Tabelle 4).

Der im klinischen Modell ermittelte Durchschnittswert lag mit 4,05% (3,6% bei den einwurzeligen Zähnen und mit 4,5% bei den mehrwurzeligen Zähnen) deutlich unter den Werten der anderen Untersucher. Die Differenz ist damit zu erklären, dass der Untersucher aufgrund des einfacheren Zuganges mehr Konkremeente erreichte, die Arbeitssituation

im Phantomkopf einfacher war als bei einem lebenden Patienten, und darüber hinaus kein Zeitlimit bestand. Die Verwendung von Kofferdam könnte ein weiterer Grund für die im Vergleich mit klinischen Studien geringere residuale Konkrementbedeckung sein. Der Kofferdam behindert lediglich die Sicht auf die Wurzeloberfläche, die Eigenschaften der parodontalen Gewebe kann der Kofferdam jedoch nicht vollständig simulieren. Bezogen auf die Gesamtfläche liegt der residuale Konkrementanteil von 4,05% dieser Studie in einem vergleichbaren Bereich mit 3,10% von Sherman et al., 4,60% von Yukna et al. und 2,63% von Folwaczny et al. (Tabelle 4, 5). Der vergleichsweise hohe Wert von 17% bei Rabbani et al. ist auf die unter 5.2 genannten Gründe zurückzuführen.

Autor	Flächen	% Gesamtfläche
Sherman	57,70%	3,10%
Yukna		4,60%
Buchanan	24,00%	
Rabbani		17%
Brayer	34,30%	
Fleischer	82,00%	
Caffesse	91,01%	
Folwaczny	68,00%	2,63%
Mittelwerte:	59,50%	6,47%
Braun		4,05%

Tabelle 4: Flächenbedeckung mit residualen Konkrementen bei nicht chirurgischer Therapie

Autor	Zähne	Flächen	% Gesamtfläche
Hürzeler			4,20%
Brayer		8,80%	
Fleischer		54,00%	
Caffesse		68,75%	
Kepic	70,59%		
Hunter			5,78%
Buchanan	37,00%	14,00%	
Mittelwerte	70,59%	43,85%	4,99%

Tabelle 5: Flächenbedeckung mit residualen Konkrementen bei chirurgischer Therapie

5.4 Vergleich der Ergebnisse der Versuchsgruppe (Er:YAG-Laser) mit In-vitro- und In-situ- Studien

Die Ergebnisse von In-vitro- und In-situ- Studien zum Thema Konkremententfernung mit Er:YAG-Laserstrahlung sind in Tabelle 6 aufgeführt. Die Differenzen der vorliegenden Studie zu den Werten anderer Studien sind auf die unter 5.2 und 5.3 genannten Gründe zurückzuführen.

Autor	Zähne	Methode	Ergebnis
Aoki et al. 1994	30 Zähne in-vitro- Studie	10, 20, 30, 50, 80, 120 mJ/Puls; Auflichtmikroskop, Bildbearbeitungspro- gramm	Effiziente Konkremententfernung ab einer Energiedichte von > 30 mJ/ Puls; Dauer: 25 – 75 sec für 50% der Konkreme
Aoki et al. 2000	53 Zähne in-vitro- Studie	Er :YAG – Laser vs. Ultraschall; 40 mJ/Puls; Auflichtmikroskop	Effizienz Ultraschallscaling > Laserscaling
Folwaczny et al. 2000	50 Zähne in-vitro- Studie	60, 80, 100, 150 mJ ; 3-dimensionale Oberflächenvermes- sung, zur Ermittlung des Wurzelsubstanzab-	Selektive Konkremententfernung bei niedrigen Energiestufen möglich (Substanzabtrag bei niedriger

		trages (Konkrement + Zement)	Energiedichte vergleichbar mit konventionellem SRP)
Folwaczny, Flaskamp et al. 2002 [31]	100 Zähne in-vitro-Studie	Vergleich Er:YAG-Laser vs. Handinstrumente; Phantommodell, artifizielle Konkremente; dreidimensionale Oberflächenvermessung	Kein Unterschied hinsichtlich der Menge des Konkrementabtrags zwischen beiden Methoden
Eberhard, Ehlers et al. 2003	30 einwurzelige Zähne, Mesial- und Distalflächen; in-situ-Studie	Vergleich Er:YAG-Laser vs. Handinstrumente, limitierte Behandlungszeit: 2:15+/-1:00 min, Auflichtmikroskop	Er:YAG-Laser: 68,4(+/-14,4)% der Wurzeloberfläche konkrementfrei SRP: 93,9(+/-3,7)% der Wurzeloberflächen konkrementfrei (bei Laserbearbeitung mit doppelter Zeitspanne von Handinstrumenten 83,3(+/-5.7%))
Braun	40 Zähne	Phantommodell, Auflichtmikroskop, Bildbearbeitungsprogramm, kein Zeitlimit	Konkrementabtrag in % Er:YAG-Laser: Einwurzelige Zähne: 60,2% Mehrwurzelige Zähne: 59,2% Handinstrumente: Einwurzelige Zähne: 82,9% Mehrwurzelige Zähne: 73,5% Furkationen/Einziehungen: Er:YAG-Laser: 54,9% Handinstrumente: 55,9% Durchschnittliche Dauer: Er:YAG-Laser: Einwurzelige Zähne: 5:03 min Mehrwurzelige Zähne:

			6:42 min Handinstrumente: Einwurzelige Zähne: 3:43 min Mehrwurzelige Zähne: 5:05 min
--	--	--	---

Tabelle 6: Vergleich der Ergebnisse der Versuchsgruppe (Er:YAG-Laser) mit In-vitro- und In-situ-Studien

5.5 Effektivität der manuellen und lasergestützten Wurzeloberflächenbearbeitung

Das in der vorliegenden In-vitro-Studie an ein- und mehrwurzeligen Zähnen durchgeführte manuelle Scaling und Root Planing bzw. die Er:YAG-Laserbestrahlung erlaubte einen direkten Vergleich beider Behandlungsmethoden hinsichtlich ihrer Fähigkeit Konkremente zu entfernen.

Zur Bestimmung der Effektivität wurde der nach Behandlung auf den Wurzeloberflächen verbleibende Anteil an Konkrementen bestimmt. Die hierzu durchgeführte digitale planimetrische Auswertung zeigte, dass in der Regel eine vollständige Entfernung der Auflagerungen weder durch die manuelle noch durch die lasergestützte Behandlung zu erreichen ist. Es muss davon ausgegangen werden, dass Teile der Wurzeloberfläche auch nach intensiver Bearbeitung residuale Konkremente aufweisen. Ergebnisse früherer Studien bestätigen diese Ergebnisse [80, 14, 11, 10]. Von den in den Vorversuchen behandelten 20 einwurzeligen Zähnen zeigte nur eine einzige Wurzeloberfläche nach manuellem Scaling und Root Planing vollständige Konkrementfreiheit. Von den im klinischen Modellversuch bearbeiteten 40 Zähnen verblieb bei den einwurzeligen Zähnen nach Handinstrumentierung durchschnittlich ein Oberflächenanteil von 3,6%, nach Er:YAG-Laserbearbeitung von 5,8% mit Konkrement bedeckt. Bei den mehrwurzeligen Zähnen betrug der durchschnittliche residuale Konkrementanteil nach Kürettierung 4,5% bzw. 8,2% nach

Er:YAG-Laserbearbeitung. Diese Ergebnisse stellen einen signifikanten Effektivitätsvorteil der Handinstrumente gegenüber der Er:YAG-Laseranwendung dar und entsprechen den Werten aus vorangegangenen Studien. Dort wurden nach manuellem Scaling einwurzeliger Zähne konkrementhaltige Flächenanteile von durchschnittlich 4,6% [112], 6% [13], 3,1% [92] und 2,5% [59] bestimmt. Eberhard et al. ermittelten nach Handinstrumentation eine residuale Konkrementfläche von 3,7%, nach Laseranwendung verblieben 6,1% [23].

Die in der Hauptversuchsreihe unter simulierten klinischen Bedingungen erzielten Resultate zeigen ebenso wie die in den Vorversuchen ermittelten Ergebnisse, dass die Effektivität des Er:YAG-Lasers unter der manuellen Behandlungsmethode mit Küretten liegt. Während nach Bearbeitung mit den Küretten bei den einwurzeligen Zähnen durchschnittlich 82,9%, bei den mehrwurzeligen Zähnen 73,5% (im Gesamtabtrag 78,22%, Vorversuche 97,03%) der Konkrementflächen beseitigt waren, lag der Mittelwert nach Laseranwendung mit 60,2% bei einwurzeligen Zähnen und 59,2% bei den mehrwurzeligen Zähnen (Gesamtabtrag 59,71%, Vorversuche 87,35%) deutlich darunter.

Inwiefern Zahntyp und Art der Wurzeloberflächenbeschaffenheit die Gründlichkeit der Konkremententfernung beeinflussen, verdeutlichen die Ergebnisse dieser Untersuchung. Bezogen auf die Gesamtflächen und Glattflächen aller Zähne (ein- und mehrwurzelige) war die Konkrementbedeckung der Wurzeloberflächen in der mit Handinstrumenten bearbeiteten Kontrollgruppe signifikant kleiner als die in der mit Laseranwendung instrumentierten Versuchsgruppe. Im Gegensatz dazu war in Furkationen und Einziehungen mit einem Konkrementabtrag von 55,9% in der Kontrollgruppe (Handinstrumente) und 54,9% in der Versuchsgruppe (Er:YAG-Laser) kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Behandlungsmethoden erkennbar.

Zwar zeigt eine Studie von Folwaczny et al. [35], dass eine fluoreszenzspektroskopische Laserdiode zur Detektion von Konkrementen bei mehrwurzeligen Zähnen und in Einziehungen der konventionellen Sonde überlegen ist, jedoch konnte durch die Kombination aus Er:YAG-

Therapielaser und fluoreszenzspektroskopischer Laserdiode die Abtragsleistung in dieser Studie nicht erhöht werden (Er:YAG-Laser 54,9%, Handinstrumente 55,9%). Die Gründe dafür sind vermutlich in der anatomischen Struktur der Zähne und der erschwerten Zugänglichkeit in diesen Bereichen zu suchen [43]. Schon in den Studien von Bower et al. [8] und Goldman et al. [42] wurde auf das besondere Problem der Instrumentierung mehrwurzeliger Zähne mit Furkationsbeteiligung hingewiesen. Bei Betrachtung der Abtragswerte erkennt man, dass der Zahntyp (ein- bzw. mehrwurzelig) in der Versuchsgruppe keine bedeutende Einflußgröße für die Effizienz der Abtragsleistung darstellt (einwurzelig 60,2%, mehrwurzelig 59,2%). Bei ein- und mehrwurzeligen Zähnen ist die Abtragseffizienz des Er:YAG-Lasers nahezu gleich.

Wie bei der Effizienz der Abtragsleistung gibt es auch hinsichtlich der Bearbeitungsdauer signifikante Unterschiede zwischen beiden Behandlungsmethoden. Die manuelle Wurzeloberflächenbearbeitung mit einer durchschnittlichen Behandlungszeit von 4:21 Minuten erwies sich der Laseranwendung, die durchschnittlich 5:52 Minuten beanspruchte, als deutlich überlegen. Mit einer Differenz von 1:20 Minuten bei einwurzeligen (Scaling 3:43 min, Er:YAG 5:03 min) und 1:37 Minuten bei mehrwurzeligen Zähnen (Scaling 5:05 min, Er:YAG 6:42 min) zwischen beiden Methoden, war das manuelle Scaling bei höherer Abtragsleistung schneller als die Laserbearbeitung. Die Extrapolierung der vorliegenden Ergebnisse ergäbe für die vollständige Reinigung der Wurzeloberfläche eines Zahnes eine erforderliche Behandlungsdauer von 6:34 Minuten für die Handinstrumentation und 9:55 min für den Er:YAG-Laser.

Um die Abtragsleistung der Handinstrumente (78,22% nach 4:21min) zu erreichen, wäre für den Er:YAG-Laser eine Behandlungsdauer von 7:44 min erforderlich. Die Ergebnisse von Badersten et al. [4, 5] ergaben vergleichbare Behandlungszeiten für die manuelle Wurzeloberflächenreinigung. In ihren Studien betrug die in der initialen Behandlungsphase für das vollständige Scaling eines Zahnes benötigte Bearbeitungszeit maximal 8:00 Minuten. Somit bestätigt die vorliegende Studie den für die

konventionelle Wurzeloberflächenbearbeitung benötigten Zeitaufwand. Zudem macht der Vergleich deutlich, dass für die Laserbehandlung ein verhältnismäßig hoher Zeitaufwand nötig ist, um vergleichbare Resultate hinsichtlich der Konkrementfreiheit der bearbeiteten Wurzeloberfläche zu erhalten.

Eine Steigerung des Konkrementabtrages ist nicht nur durch eine Verlängerung der Behandlungszeit, sondern auch durch die Erhöhung der applizierten Energiemenge oder die Vergrößerung des Anstellwinkels des Lichtleiters denkbar [30, 32]. Die Geräteeinstellung wurde in dieser Studie konstant auf den vom Hersteller empfohlenen Werten von 140 mJ bei einer Pulsfrequenz von 10 Hz belassen, um thermische Schäden an der Wurzeloberfläche auszuschließen. Ob eine Steigerung der Effektivität des Konkrementabtrages unter klinischen Bedingungen durch eine Erhöhung der Strahlungsenergie möglich ist, ohne dabei Schäden an den parodontalen Geweben zu verursachen, müssen zukünftige klinisch-histologische Studien zeigen.

5.6 Klinische Probleme bei der Wurzeloberflächenbearbeitung mit Handinstrumenten

Die subjektive Einschätzung der erzielten Wurzeloberflächenqualität stellt ein Problem der konventionellen Parodontalbehandlung dar. Je nach Arbeitsweise des Behandlers in Bezug auf die Instrumentenschärfe, Anzahl der Kürettenzüge und der dabei aufgewendeten Kraft können sich unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich der zurückgelassenen Konkremente oder der Glätte der Wurzeloberfläche ergeben.

In der Studie von Coldiron [18] wurden saubere Wurzeloberflächenverhältnisse nur erreicht, wenn mehr als 50 Kürettenzüge an ein und derselben Stelle vorgenommen wurden. Zappa et al. [114] bestätigten diese Ergebnisse und wiesen auf die mögliche Gefährdung der Pulpa durch zu hohen Krafteinsatz und exzessive wiederholte Behandlung hin.

Auch Faktoren wie die Erfahrung des Behandlers und der Zugang zur Wurzel haben einen Einfluß auf die Effektivität der Behandlung [9, 24, 25]. Selbst bei optimalem Zugang und erfahrenen Behandlern, scheint eine absolute Konkrementfreiheit fast unerreichbar zu sein [11, 13, 40, 56, 91, 50]. Erschwerend kommt hinzu, dass die Beurteilung des eigenen Behandlungserfolges unsicher ist. Der Kliniker scheint in 50% der Fälle nicht in der Lage zu sein, zurückgelassene Konkremente zu ertasten [91, 92, 93]. Die kleine Stufe zwischen den noch verbleibenden Konkrementresten und dem Wurzelzement ist schwer zu ertasten und es drängt sich die Frage auf, ob die subjektive Einschätzung der durch die Behandlungsmaßnahmen erzielten Wurzeloberflächenqualität sinnvoll ist oder ob andere klinische Parameter hinzugezogen werden sollten. Bis dato sind jedoch noch keine geeigneten Parameter mit ausreichender Spezifität und Sensibilität zur Beurteilung der Wurzeloberflächenqualität gefunden.

5.7 Klinische Probleme bei der Wurzeloberflächenbearbeitung mit einem Er:YAG- Laser

Die in vorangegangenen In-vitro-Studien über den Er:YAG-Laser [2, 3] formulierten Vorzüge im Hinblick auf einen effektiven Konkrementabtrag konnten sich bei der simulierten klinischen Anwendung nur bedingt manifestieren. Dies führen wir auf die jeweils unterschiedlichen Bedingungen im Labor und am Patientenmodell zurück. Während im In-vitro-Versuch ein gezielter Konkrementabtrag am extrahierten Zahn unter Sicht möglich ist, ergeben sich bei der Anwendung am Patientenmodell deutliche Einschränkungen.

Bei der Bearbeitung der Wurzeloberfläche im Sinne einer geschlossenen Laserkürettage ist die subgingivale Wurzeloberfläche für den Behandler nicht einsehbar. Er ist über das starre Laserhandstück auf das fluoreszenzspektroskopische Detektionssystem und seine Taktilität angewiesen, vorhandene Konkremente zu orten und zu ertasten. Dabei kann es beim Abtrag von Konkrement vorkommen, dass fluoreszierende

Partikel oder Blut an der Faserspitze anhaften, wodurch die Detektionsfunktion anspricht. Dies tritt insbesondere auf, wenn die Faserspitze von wenig Flüssigkeit umgeben ist, was im Feedbackmodus wiederum zu einer ununterbrochenen Pulsemission führt und damit die Wurzeloberfläche geschädigt werden kann.

In diesen Fällen muss durch Entnahme der Faserspitze aus der Tasche überprüft werden, ob der Momentanwert auf „0“ absinkt. Falls nicht, so muss die Faserspitze gereinigt oder erneuert werden, was Zeit beansprucht und Kosten verursacht.

Zudem ergaben sich bei der Bearbeitung der Modelle durch die vorgegebenen anatomischen Verhältnisse am Patienten Einschränkungen, die im In-vitro-Versuch nicht bestehen. Über den schmalen Zugang zur subgingivalen Wurzeloberfläche via Sulkus wird die Beweglichkeit des Lichtleiters am Zahn und dessen Anstellwinkel zur Oberfläche deutlich limitiert. Mitunter war nur ein tangentiales Abfahren der Oberfläche unter einem Anstellwinkel von weniger als 20 Grad möglich. Zudem setzten Nachbarzähne und Approximalkontakte an der zu bearbeitenden Seite deutliche räumliche Grenzen, so dass aufgrund des starren, linearen Instrumentendesigns eine vollständige Erreichbarkeit aller Abschnitte der Wurzeloberfläche nicht immer gewährleistet ist. An besonders schwer zugänglichen Wurzelabschnitten, wie Furkationen und Einziehungen, kommen diese Einschränkungen besonders zum Tragen. Desweiteren fällt bei der Wurzeloberflächenbehandlung auf, dass die Konkrementanordnung die Bearbeitungsgeschwindigkeit beeinflusst. Es zeigte sich, dass dünne, die gesamte Wurzeloberfläche bedeckende harte Ablagerungen wesentlich schwieriger zu entfernen waren als dickere Konkrementablagerungen. Während dünne Schichten mühevoll entfernt werden mussten, zeigte sich bei massiveren Belägen eindrucksvoll der mikroexplosionsartige Abtrag ganzer Bruchstücke. Weiterhin beeinflusst das umgebende parodontale Weichgewebe (Kofferdam) auch die Wasserzufuhr entlang des Lichtleiters. Eine sichere permanente Benetzung mit Spülflüssigkeit zur Vermeidung einer Oberflächennekrose dürfte besonders in tiefen Taschen und beim „Über-Kopf-Arbeiten“ mit

dem Lichtkeil problematisch sein. In weiteren Studien sollte geklärt werden, ob die Energieeinwirkung des Er:YAG-Lasers Strukturveränderungen im Zement oder im Dentin hervorruft, welche die Fluoreszenzeigenschaften der Zahnhartsubstanz verändern könnten [34]. Zeigte die veränderte Zahnhartsubstanz Fluoreszenzphänomene bei 655 nm, würde der Kopplungsmechanismus nicht mehr funktionieren.

5.8 Schlussfolgerung

Zusammenfassend konnten die in der vorliegenden Studie ermittelten Daten zeigen, dass mit dem Er:YAG-Lasersystem mit integrierter InGaAsP-Laserdiode eine selektive Entfernung subgingivaler Konkreme unter simulierten klinischen Bedingungen möglich war. Im Vergleich zur konventionellen Handinstrumentierung besaß der Laser jedoch eine geringere Effektivität, nach längerer Bearbeitungszeit verblieb ein höherer Anteil residueller Konkreme auf der Wurzeloberfläche als nach manuellem Scaling. Besonders deutlich zeigten sich die Vorteile der Handinstrumentation in Bezug auf Abtragseffizienz und Behandlungsdauer bei der Gesamt- und Glattflächenbearbeitung. In Einziehungen und Furkationen war bei keiner der beiden Behandlungsmethoden eine signifikante Überlegenheit festzustellen. Die Laserbehandlung zeigte in der vorliegenden Untersuchung gegenüber den Küretten keinerlei Vorteile. Der praktische Einsatz des Er:YAG-Lasers wird durch die anatomischen Gegebenheiten und die Unflexibilität des Fasermeißels erschwert, ein korrekter Einsatz zur Konkremententfernung in vivo ist sicherlich nur in gut zugänglichen Gebieten möglich. Außerdem kann mit herkömmlichen Methoden eine glattere Oberfläche erzeugt werden, die nach wie vor für eine parodontale Heilung gefordert wird. Hinzu kommen die hohen Anschaffungskosten, die den Laser im Vergleich zu den etablierten Instrumenten der Parodontaltherapie unattraktiv machen. Der Er:YAG-Laser bietet grundsätzlich eine Alternative für die Parodontaltherapie, als Konsequenz aus den in dieser Studie gewonnenen Ergebnissen ist die

alleinige Anwendung des Lasers derzeit jedoch noch nicht empfehlenswert.

6 Zusammenfassung

Das Ziel dieser Studie war es, unter simulierten klinischen Bedingungen am Phantommodell die Effektivität der Konkremententfernung von konventioneller Handinstrumentierung mit der eines speziellen Er:YAG-Laserssystemes, welches an ein fluoreszenzspektroskopisches Detektionssystem gekoppelt war, in der nicht chirurgischen Parodontaltherapie zu vergleichen.

Insgesamt 40 konkrementbehaftete Zähne wurden in 10 Gipsmodellen mit jeweils 4 Zähnen (2 einwurzelige, 2 mehrwurzelige) aufgeteilt und im Phantomkopf befestigt. Die Bearbeitung der Wurzeloberflächen mit Handinstrumenten erfolgte so lange, bis nach visueller Kontrolle und taktiler Prüfung mit einer Sonde keine Konkreme mehr nachweisbar waren. Die Laserbearbeitung erfolgte bei einer Wellenlänge von 2,94 μm , Energieeinstellung von 140 mJ und bei einer Pulsfrequenz von 6 Hz mit einem meißelförmigen Laserlichtapplikator in einem Anstellwinkel von etwa 20 Grad zur Wurzeloberfläche. Die Er:YAG-Laserbearbeitung wurde entsprechend dem Detektionssignal durchgeführt. Sobald die InGaAsP-Laser-Diodenstrahlung keine Konkreme mehr detektierte, war das Ende der Laserbehandlung erreicht. Die für beide Behandlungsmethoden benötigte Zeit wurde gemessen.

Die Wurzeloberflächen wurden jeweils vor Versuchsbeginn und nach Bearbeitungsende photographiert und mit einem Bildbearbeitungsprogramm ausgewertet.

Die Ergebnisse zeigen, dass weder durch manuelle noch durch lasergestützte Behandlung eine vollständige Konkrementfreiheit erreicht werden kann. Die Handinstrumentierung war der Laserbehandlung jedoch überlegen. Nach manuellem Scaling waren bei einwurzeligen Zähnen durchschnittlich 82,9%, bei mehrwurzeligen Zähnen 73,5% der

Konkrementflächen entfernt, die Mittelwerte nach Laserbehandlung lagen mit 60,2% bzw. 59,2% deutlich darunter. In Furkationen und Einziehungen erzielten beide Behandlungsmethoden mit 55,9% (Handinstrumente) bzw. 54,9% (Er:YAG-Laser) nahezu dieselbe Abtragsleistung. Die Behandlungsdauer mit Handinstrumenten war mit einem Zeitvorteil von 1:20 (einwurzelige Zähne) bzw. 1:37 Minuten (mehrwurzelige Zähne) gegenüber dem Er:YAG-Laser schneller.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie kann geschlossen werden, dass zwar mit der Kombination aus Er:YAG-Laserstrahlung und einem fluoreszenzspektroskopischen Detektionssystem Konkremente entfernt werden können. In Bezug auf die Effizienz und die Bearbeitungszeit erzielen Handinstrumente aber bessere Ergebnisse. Ob mit dem Er:YAG-Laser eine effizientere und schnellere Säuberung bei Wahl anderer Leistungseinstellungen möglich ist, werden zukünftige klinische und histologische Untersuchungen zeigen.

7 Literaturverzeichnis

1. Ando, Y., Watanabe, H., Ishikawa, I.,
Bactericidal effect of Erbium:YAG-laser on
periodontopathic bacteria.
Lasers Surg Med 1996. 19: 190-200
2. Aoki, A., Ando, Y., Watanabe, H., Ishikawa, I.,
In vitro studies on laser scaling of subgingival calculus
with an Erbium:YAG-laser.
J Periodontol 1994. 65: 1097-1106
3. Aoki, A., Miura, M., Akiyama, F., Nakagawa, N.,
Tanaka, J., Oda, S., Watanabe, H., Ishikawa, I.,
In vitro evaluation of Er:YAG laser scaling of
subgingival calculus in comparison with ultrasonic
scaling.
J Periodontal Res 2000. 35: 266-277
4. Badersten, A., Nilveus, R., Egelberg, J.,
Effects of nonsurgical periodontal therapy. I.
Moderately advanced periodontitis.
J Clin Periodontol 1981. 8(1): 57-72
5. Badersten, A., Nilveus, R., Egelberg, J.,
Effects of nonsurgical periodontal therapy. II. Severly
advanced periodontitis.
J Clin Periodontol 1984. 11(1): 63-76
6. Badersten, A., Nilveus, R., Egelberg, J.,
Effect of non-surgical periodontal therapy: III. Single
Versus repeated instrumentation.
J Clin Periodontol, 1984. 11: 114-124

7. Boretti, G., Zappa, U., Graf, H.,
Short-term effects of phase I therapy on crevicular cell
populations.
J Periodontol 1995. 66: 235-240

8. Bower, R. C.,
Furcation morphology relative to periodontal treatment.
Furcation entrance architecture.
J Periodontol, 1979. 50: 23-27

9. Brayer, W.K., Mellonig, J.T., Dunlap, R.M., Marinak,
K.W., Carson, R.E.,
Scaling and root planing effectiveness: a comparative
study.
J Dent Res, 1987. 66: 339

10. Brayer W.K., Mellonig J.T., Dunlap R.M., Marinak
K.W., Carson R.E.,
Scaling and root planing effectiveness: The effect of
root surface access and operator experience.
J Periodontol, 1989. 60(1): 67-72

11. Breininger, D. R., O`Leary, T. J., Blumenshine, R. V.,
Comparative effectiveness of ultrasonic and hand
scaling for the removal of subgingival plaque and
calculus. J Periodontol 1987. 58: 9-18

12. Brown, C.M., Hancock, E.B., O`Leary, T.J., Miller,
C.H., Sheldrake, M.A.,
A microbiological comparison of young adults based on
relative amounts of subgingival calculus.
J Periodontol, 1991. 62(10): 591-597

13. Buchanan, S.A., Robertson, P.B.,
Calculus removal by scaling and root planing with and
without surgical access.
J Periodontol, 1987. 58(3): 159-63

14. Caffesse, R.G., Sweeney, P.L., Smith, B.A.,
Scaling and root planing with and without periodontal
flap surgery.
J Clin Periodontol, 1986. 13(3): 205-10

15. Chan, Y.K., Needleman, I.G., Clifford, L.R.,
Comparison of four methods of assessing root surface
debridement.
J Periodontol, 2000. 71(3): 385-93

16. Clerehugh, V., Abdeia, R., Hull, P.S.,
The effect of subgingival calculus on the validity of
clinical probing measurements.
J Dent 1996. 24: 329-333

17. Cobb, C.M., McCawley, T.K., Killooy, W.J.,
A preliminary study on the effects of the Nd:YAG-laser
on root surfaces and subgingival microflora in-vivo.
J Periodontol 1992. 63: 701-707

18. Coldiron, N. B., Yukna, R. A., Weir, J., Caudill, R. F.,
A quantitativ study of cementum removal with hand
curettes.
J Periodontol 1990. 61(5): 293-299

19. Copulos, T.A., Low, S.B., Walker, C.B.,
Comparative analysis between a modified ultrasonic tip
and hand instruments on clinical parameters of
periodontal disease.
J Peridontol, 1993. 64: 694-700

20. Corbet, E.F., Vaughan, A.J., Kieser, J.B.,
The parodontally-involved root surface
J Periodontol 1993. 20: 513 – 518

21. Dederich, D.N., Pickard, M.A., Vaughn, A.S., Tulip, J.,
Zakariasen, K.L.,
Comparative bactericidal exposures for selected oral
bacteria using carbon dioxid laser radiation
Lasers Surg Med 1990. 10: 584- 591

22. Dolowy, W.C., Parker, J.D., Brandes, M.L.,
Gouterman, M.,
Porphyrins in canine and feline dental calculus and
Pasteurella multocida cultured from calculus.
J Am Vet Med Assoc, 1995. 206(1): 26-7

23. Eberhard, J., Ehlers, H., Falk, W., Acil, Y., Albers, H.
K., Jepsen, S.,
Efficacy of subgingival calculus removal with Er:YAG-
laser compared to mechanical debridement: an in situ
study. J Clin Periodontol 2003. 30: 511-518.

24. Eschler, B.M., Rapley, J.W.,
Mechanical and chemical root preparation in vitro:
efficiency of plaque and calculus removal.
J Periodontol, 1991. 62(12): 755-60

25. Fleischer, H.C., Mellonig, J.T., Brayer, W.K., Gray, J.L., Barnett, J.D
Scaling and root planning efficacy in multirrooted teeth.
J Periodontol, 1989. 60(7): 402-9
26. Flemming, T.F.,
Parodontologie
Georg Thieme, Stuttgart – New York, 1993, S. 48
27. Flemming, T.F., Petersilka, G., Mehl, A.,
Working parameters of a sonic scaler influencing root
substance removal in vitro.
J Clin Oral Invest, 1997. 1: 55-60
28. Flemming, T.F., Petersilka, G., Mehl, A.,
The effect of working parameters on root substance
removal using a piezoelectric ultrasonic scaler in vitro.
J Clin Periodontol, 1998. 25: 158-163
29. Flemming, T.F., Petersilka, G., Mehl, A.,
Working parameters of a magnetostrictive ultrasonic
scaler influencing root substance removal in vitro.
J Periodontol, 1998. 69: 547-553
30. Folwaczny, M., Thiele, L., Mehl, A., Hickel, R.,
The effect of working tip angulation on root substance
removal using Er:YAG laser irradiation: an in vitro
study. J Clin Periodontol, 2001. 28: 220-6
31. Folwaczny, M., Flaskamp, B., Mehl, A., Hickel, R.,
Effektivität der subgingivalen Konkremententfernung
mit Hilfe der 2,94 µm Er:YAG Laserstrahlung
Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie,
Ludwigs-Maximilians Universität, München

32. Folwaczny, M., Mehl, A., Haffner, C., Benz, C., Hickel, R., Root substance removal with Er:YAG laser radiation at different parameters using a new delivery system.
J Periodontol 2000. 71: 147-155
33. 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: 73-8
34. Folwaczny, M., Heym, R., Mehl, A., Hickel, R., Subgingival calculus detection with fluorescence induced by 655 nm InGaAsP diode laser radiation.
J Periodontol 2002. 73: 597-601
35. Folwaczny, M., Heym, R., Mehl, A., Hickel, R., The effectiveness of InGaAsP diode laser radiation to detect subgingival calculus as compared to an explorer. J Periodontol 2004. 75: 744-749
36. Frentzen, M., Braun, A., Krause, F., Konkremente orten statt tasten.
Laser Journal 2001. 4(1): 12-15
37. Frentzen M., Nolden R., Preparation of a model for training in tooth cleaning in the area of periodontal treatment.
Quintessenz, 1987. 38 (12): 2027-33

38. Frentzen, M.,
Ätiologie und Pathogenese der Karies und der
Parodontalerkrankungen.
In: Nolden R., Hrsg.. Zahnerhaltungskunde. Stuttgart –
New York: Thieme, 1994: 24-32
39. Friskopp, J., Isacsson, G.,
A quantitative microradiographic study of mineral
content of supragingival and subgingival dental
calculus.
Scand J Dent Res, 1984. 92(1):25-32
40. Fukjikawa, K., O'Leary, T. J., Kafrawy, A. H.,
The effect of retained subgingival calculus on healing
after flap surgery.
J Periodontol 1988. 59: 170-175
41. Goldman, L., Hornby, P., Meyer, R., Goldman, B.,
Impact of laser on dental caries.
Nature, 1964. 203: 417
42. Goldman, M.J., Ross, I. F., Goteiner, D.,
Effect of periodontal therapy on patients maintained for
15 years or longer.
J Periodontol, 1986. 57: 347-353
43. Gher, M. E. und Vernino, A.R.,
Root morphology - clinical significance in pathogenesis
and treatment of periodontal disease. J Am Dent
Assoc, 1980. 101(4): 627- 33.

44. Hänggi D., Ritz I., Rateitschak, K.H.,
Perioplaner®/Periopolisher®
Substanzverlust auf der Wurzeloberfläche und erste
klinische Erfahrungen.
Schweiz Monatsschr Zahnmed 1991. 101: 1535–1541
45. Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.,
Therapie der entzündlichen Parodontopathien.
In: Einführung in die Zahnerhaltung, Urban & Fischer
Verlag München-Jena, 2003. 420-424
46. Hibst R.,
Kariestherapie mit Lasern
ZWR 1999. 108: 26-31
47. Hibst R.,
Optische Meßmethoden zur Kariesdiagnostik
ZWR 1999. 108: 50-55
48. Hohlfeld M., Wachtel H.C.,
Das parodontale Instrumentarium
Parodontologie 1990. 3: 230 –248
49. Huerzeler, M.B., Einsele, F.T., Leupolz, M.,
Kerkhecker, U., Strub, J.R.,
The effectiveness of different root debridement
modalities in open flap surgery.
J Clin Periodontol, 1998. 25(3): 202-8
50. Hunter, R.K., O'Leary, T.J., Kafrawy, A.H.,
The effectiveness of hand versus ultrasonic
instrumentation in open flap root planing.
J Periodontol, 1984. 55(12): 697-703

51. Ito, K., Nishikata, J.-I., Murai S.,
Effects of Nd:YAG laser radiation on removal of a root
surface smear layer after root planing: A scanning
electron microscopic study.
J Periodontol 1993. 64: 547-552
52. Kawanami, M., Sugaya, T., Kato, S., Inuma, K., Tate,
T., Hannan, M.A., Kato, H.,
Efficacy of an ultrasonic scaler with a periodontal
probe-type tip in deep periodontal pockets.
Adv Dent Res, 1988. 2(2): 405-10
53. Keller, U.,
Laser in der Zahnmedizin – heute und morgen
BZB 1998. 4: 40-42
54. Keller U.,
Laser in der Oralchirurgie
ZWR 1999. 108: 32-35
55. Kelsey, W.P., III., Blankenau, R.J., Powell, G.L.,
Application of the Argon laser to dentistry
Lasers Surg Med 1991. 11: 495-498
56. Kopic, T.J., O'Leary, T.J., Kafrawy, A.H.,
Total calculus removal: an attainable objective?
J Periodontol, 1990. 61(1): 16-20
57. Kocher, T.,
Wurzelbearbeitung bei der Parodontalbehandlung –
Methoden, Hilfsmittel sowie Ergebnisse.
In: Ketterl W., Hersg. Dtsch Zahnärztekalendar.
München–Wien: Carl Hanser, 1994: 83–103

58. Kocher, T.,
Die instrumentelle Wurzeloberflächenbearbeitung
Parodontologie 1990. 2: 141–152
59. Kocher, T., Langenbeck, M., Ruhling, A., Plagmann,
H.C.,
Subgingival polishing with a teflon-coated sonic scaler
insert in comparison to conventional instruments as
assessed on extracted teeth. (I) Residual Deposits.
J Clin Periodontol, 2000. 27(4): 243-9
60. Kocher, T., Ruhling, A., Momsen, H., Plagmann, H.C.:
Effectiveness of subgingival instrumentation with
power-driven instruments in the hands of experienced
and inexperienced operators. A study on manikins
J Clin Periodontol, 1997. 24(7): 498-504
61. Krause, F., Braun, A., Frentzen, M.: The possibility of
detecting subgingival calculus by laser-fluorescence in
vitro. Lasers Med Sci, 2003. 18: 32-35.
62. Kurihara, E., Koseki, T., Gohara, K., Nishihara, T.,
Ansai, T., Takehara, T.: Detection of subgingival
calculus and dentine caries by laser fluorescence. J
Periodontal Res, 2004. 39: 59-65.
63. Laurell, L., Pettersson, B.,
Peridontal healing after treatment with either the Titan-S
sonic scaler or hand instruments.
Swed Dent J, 1988. 12: 187-192

64. Laurell, L.,
Periodontal healing after scaling and root planing with
the Kavo Sonicflex and Titan-S sonic scalers.
Swed Dent J, 1990. 14: 171-177
65. Loos, B., Claffey, N., Egelberg, J.,
Clinical and microbiological effects of root debridement
in periodontal furcation pockets.
J Clin Periodontol, 1988. 15: 453-463
66. Loos, B., Kiger, R., Egelberg, J.,
An evaluation of basic periodontal therapy using sonic
and ultrasonic scalers.
J Clin Periodontol, 1987. 14: 29-33
67. Loos, B., Nylund, K., Claffey, N.,
Clinical effects of root debridement in molar and non-
molar teeth. A 2-year follow up.
J Clin Periodontol, 1989. 16: 498-504
68. Lozanoff, S., Long, B.A., Singer, D.L., Deptuch, J.J.:
An imaging routine for assessing the efficacy of
instruments used for scaling and root planing.
J Clin Periodontol, 1992. 19(8): 553-9
69. Low, S.B.:
Clinical considerations in non surgical mechanical
therapy.
Periodontology 2000 1995. 9: 23-26
70. Matia, J.I., Bissada, N.F., Maybury, J.E.,
Efficiency of scaling of the molar furcation area with
and without surgical access.
Int. J Periodontics Restorative Dent, 1986. 6: 24-35

71. Mengel, R., Bruns, C., Stelzel, M., Flores-de-Jakoby, L.
Die Säuberung und Glättung der Wurzeloberfläche mit
verschiedenen Instrumenten (II).
Dtsch Zahnärztl Z 1994. 49: 405 – 409
72. Morlock, B.J., Pippin, D.J., Cobb, C.M., Killoy, W.J.,
Rapely, J.W.: The effect of Nd:YAG laser exposure on
root surfaces when used as an adjunct to root
planing: An in vitro study.
J Periodontol 1992. 63: 637-641
73. Nolden, R.,
Scaling und Kürettage
In: Ketterl W., Hersg.. Parodontologie. München –
Wien – Baltimore. Urban & Schwarzenberg, 1990:
141-150
74. Nyman, S., Westfelt, E., Sarhed, G., Karring, T.:
Role of „diseased“ root cementum in healing following
treatment of periodontal disease.
J Periodontol 1988. 464 – 468
75. O’Leary, T.J.,
The impact of research on scaling and root planing.
J Periodontol 1986. 57: 69-75
76. Otero-Cagide, F.J., Long, B.A.:
Comparative In vitro effectiveness of closed root
debridement with fine instruments on specific areas of
mandibular first molar furcations. I. Root trunk and
furcation entrance.
J Periodontol, 1997. 68(11): 1093-7

77. Otero-Cagide, F.J., Long, B.A.:
Comparative in vitro effectiveness of closed root debridement with fine instruments on specific areas of mandibular first molar furcations. II. Furcation area.
J Periodontol, 1997. 68(11): 1098-101
78. Patterson, M.D., Eick, J.D., Eberhart, A.B., Gross, K., Killooy, W.J.:
The effectiveness of two sonic and two ultrasonic scaler tips in furcations.
J Periodontol, 1989. 60(6): 325-9
79. Pippin, D.J, Feil P.:
Interrater agreement on subgingival calculus detection following scaling.
J Dent Edu 1992. 56: 322-326
80. Rabbani, G.M., Ash, M.M. Jr., Caffesse, R.G.:
The effectiveness of subgingival scaling and root planing in calculus removal.
J Periodontol, 1981. 52(3): 119-23
81. Rateitschak, K.H., Rateitschak, E.M., Wolf, H.F.:
Parodontologie
In: Rateitschak K.H., Hrsg.. Parodontologie. Stuttgart – New York: Thieme, 1989
82. Renggli, H.R.:
Ätiologie der marginalen Parodontopathien
In: Ketterl W., Hrsg.. Parodontologie. München – Wien – Baltimore: Urban & Schwarzenberg, 1990: 141–150

83. Ritz, L., Hefti, A.F., Rateitschak, K.H.:
An in vitro investigation in the loss of root substance in
scaling with various instruments.
J Periodontol 1991. 18: 643 – 647
84. Roberts-Harry, E.A., Clerehugh, V.:
Subgingival calculus: where are we now? A
comparative review.
J Dent, 2000. 28(2): 93-102
85. Romanos, G.E. :
Lasieranwendung in der chirurgischen Zahnheilkunde
Laser Journal 1999. 1: 7-10
86. Schenk, G.,
Die fortschrittlichste Neuerung in der konservativen
Parodontaltherapie.
Bayerisches Zahnärzteblatt 2003. 7: 46-48
87. Schwarz, F., Sculean, A., Georg, T., Reich, E.,
Periodontal treatment with an Er:YAG laser compared
to scaling and root planing.
J Periodontol 2001. 72: 361-367
88. Schroeder, H.E.:
Orale Strukturbiologie
Stuttgart – New York: Thieme, 1992

89. Sculean, A., Schwarz, F., Berakdar, M., Romanos, G., Brex, M., Willershausen, B., Becker, J.:
Nonsurgical periodontal treatment with a new ultrasonic device (Vector TM Ultrasonic system) or hand instruments. A prospective, controlled clinical study.
J Clin Periodontol, 2004. 31: 428-433
90. Selvig, K.A.:
Attachment of plaque and calculus to tooth surfaces.
J Periodontal Res, 1970. 5(1): 8-18
91. Sherman, P.R., Hutchens, L.H., Jewson, L.G, Greco, G.W., Moriarty, J.M., McFall, W.T.:
Clinical parameters in predicting of residual subgingival calculus.
J Dent Res, 1987. 66: 339-340
92. Sherman, P.R., Hutchens, L.H., Jewson, L.G, Moriarty, J.M., Greco, G.W., McFall, W.T.:
The effectiveness of subgingival scaling and root planing. I. Clinical detection of residual calculus.
J Periodontol, 1990. 61(1): 3-8
93. Sherman, P.R., Hutchens, L.H., Jewson, L.G.:
The effectiveness of subgingival scaling and root planing: II. Clinical responses related to residual calculus.
J Periodontol, 1990. 61: 9-15

94. Spencer, P., Cobb, C.M., Mc Collum, M.H., Wieliczka, D.M.:
The effects of CO₂ laser and Nd:YAG with and without water/air surface cooling on tooth root structure:
Correlation between FTIR spectroscopy and histology.
J Periodont Res 1996. 31: 453-462
95. Stassinakis, A., Hugo, B., Hotz, P.:
Behandler- und Instrumentenunterschiede bei der
Bearbeitung von Wurzeloberflächen
Schweiz Monatsschr Zahnmed 1995.105: 623-628
96. Steiner, R., Hibst, R., Keller, U.
Laser in der Zahnheilkunde
ZWR 1999. 108: 8-13
97. Stelzel, M., Mengel, F., Braunberger, T., Diekwisch, I., Flores-de-Jakoby, L.:
In vitro Untersuchung zur Säuberung und Glättung der
Wurzeloberfläche mit verschiedenen Instrumenten.
Dtsch Zahnärztl. Z 1993. 48: 261–264
98. Sterrett, J.D.:
The osteoclast and periodontitis
J Clinical Periodontology 13 (1986), 258
99. Stock, K., Hibst, R., Keller, U.:
Er:YAG removal of subgingival calculi: efficiency,
temperature and surface quality. In: Laffite, F., Hibst.,
R., Reidenbach, H.D., Geschwind, H.J., Maira, G.,
Chiesa, F., Krasner, N. (Hrsg.): Laser applications in
medicine and dentistry. Proc SPIE , 1996. 2922: 98-
106

100. Sudhoff, K.
Altindien und Altamerika
In: Sudhoff, K. (Hrsg.), Geschichte der
Zahnheilkunde
J. A. Barth, Leipzig, Seite: 42-54 (1926)
101. Takacs, V.J., Lie, T., Perala, D.G., Adams, D.F.:
Efficacy of 5 machining instruments in scaling of
molar furcations.
J Periodontol, 1993. 64(3): 228-36
102. Thomas, D., Rapley, J., Cobb, C.M., Spencer, P.,
Killoy, W.J.:
Effects of the Nd:YAG laser and combined
treatments on in vitro fibroblast attachment to root
surfaces.
J Clin Periodontol 1994. 21: 38-44
103. Torfason, T., Kiger, R., Selvig, K.,
Clinical improvement of gingival conditions following
ultrasonic versus hand instrumentation of periodontal
pockets.
J Clin Periodontol, 1979. 6: 165-176
104. Trylovich, D.J., Cobb, C.M., Pippin, D.J., Spencer,
P., Killoy, W.J.:
The effects of the Nd:YAG laser on in vitro fibroblast
attachment to endotoxin-treated root surfaces.
J Periodontol 1992. 63: 626-632
105. Tucker, D., Cobb, C.M., Rapley, J., Killoy, W.J.:
Morphologic changes following in vitro Co2-laser
treatment of calculus-laden root surfaces.
Lasers Surg Med 1996. 18: 150-156

106. Tunkel, J., Heinecke, A., Flemming, T.F:
A systematic review of efficacy of machine-driven
and manual subgingival debridement in the treatment
of chronic periodontitis.
J Clin Periodontol 2002. 29: Suppl 3, 72-81
107. Vahl, J., van Benthem, H.:
Laser in der Zahnmedizin
Quintessenz, 1992, S. 105, Berlin
108. Wilder-Smith, P., Arrastia, A.-M.A., Schell, M.J.,
Liaw, L.H.:
Effect of Nd:YAG laser irradiation and root planing on
the root surface: Structural and thermal effects.
J Periodontol 1995. 66: 1032-1039
109. White, D.J.,
Dental calculus: recent insights into occurrence,
formation, prevention, removal and oral health effects
of supragingival and subgingival deposits.
Eur J Oral Sci, 1997. 105: 508-22
110. White, J.M., Goodis, H.E., Rose, C.L.:
Use of the pulsed Nd:YAG-laser for intraoral soft
tissue surgery.
Lasers Surg Med 1991. 11: 455-461
111. Will G.
Laser in der zahnärztlichen Praxis – eine Übersicht
Magazin für Zahnheilkunde, Management und Kultur
1999. 4: 186-195

112. Yukna, R.A., Scott, J.B., Aichelmann-Reidy, M.E.,
LeBlanc, D.M., Mayer, E.T.:
Clinical evaluation of the speed and effectiveness of
subgingival calculus removal on single rooted teeth
with diamond-coated ultrasonic tips.
J Periodontol 1997. 68(5): 436-42
113. Yamaguchi, H., Kobayashi, K., Osada, R., Sakuraba,
E., Nomura, T., Arai, T., Nakamura, J.:
Effects of irradiation of an Erbium YAG laser on root
surfaces.
J Periodontol 1997. 68: 1151-5
114. Zappa, U., Smith, B., Simona, C., Graf, H., Case, D.,
Kim, W.:
Root substance removal by scaling and root planing
J Periodontol 1991. 62: 750–754

8 Anhang

8.1 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Priv.-Doz. Dr. Dr. M. Folwaczny, für die Überlassung des Dissertationsthemas, seiner Hilfsbereitschaft und der hervorragenden Betreuung während dieser Arbeit. Er war für Fragen immer offen und hat durch seine Ratschläge sehr viel zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ich möchte auch Herrn Thomas Obermeier und Herrn Dr. Hamm danken, die mir bei technischen Fragen bzw. der statistischen Auswertung behilflich waren.

Ich bedanke mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern und meinen Geschwistern für die moralische und finanzielle Unterstützung während dieser Arbeit und während meines Studiums.

Ganz herzlich möchte ich auch meinen Freunden danken. Besonderer Dank gilt Herrn Johannes Schindler und Ulrich Wöhl, die mir bei datentechnischen und formalen Fragestellungen stets zur Seite standen.

8.2 Lebenslauf

Florian Braun
Mozartstraße 17
94333 Geiselhöring
Tel.: 09423/941122
Mobil: 0179/1250504

geboren am 27.01.1979 in Straubing
Konfession: römisch-katholisch
Familienstand: ledig

Ausbildung

1985 - 1989	Grundschule Geiselhöring
1989 - 1998	Anton-Bruckner-Gymnasium Straubing, Abitur
1998 – 1999	Zivildienst (Altenheim Feldafing)
November 1999	Beginn des Studiums der Zahnheilkunde an der Ludwig-Maximilians-Universität München
März 2001	naturwissenschaftliche zahnärztliche Vorprüfung
März 2002	zahnärztliche Vorprüfung
Oktober 2004	zahnärztliche Prüfung
November 2004	Approbation
2/05 – 2/06	Vorbereitungsassistent in kieferchirurgischer Praxis bei Dr. J. Meier in Landshut
ab 3/06	Weiterbildungsassistent zum Fachzahnarzt für Oralchirurgie bei Dr. Dr. M. Esser in Witten

Geiselhöring, den 22.02.2006

Florian Braun