

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde

Direktorin: Prof. Dr. Ursula Platzer

Vergleich der Effektivität und der Effekte vier verschiedener Methoden zur subgingivalen Wurzeloberflächenreinigung bei der Anwendung durch Studierende

Dissertation

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

vorgelegt von:

Kirsten Geyer

aus Celle

Hamburg 2013

**Angenommen von der medizinischen Fakultät der Universität
Hamburg am: 22.11.2013**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der medizinischen Fakultät der Universität
Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Petra Schmage

Prüfungsausschuss, 2. Gutachter/in: PD Dr. Hartwig Seedorf

Prüfungsausschuss, 3. Gutachter/in: Prof. Dr. Ibrahim Nergiz

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1 Ziele von Parodontalbehandlung und parodontaler Nachsorge.....	3
2.2 Manuelle Reinigung.....	6
2.3 Maschinelle Reinigung	7
2.3.1 Schwingende Instrumente.....	7
2.3.2 Rotierende Instrumente.....	10
2.3.3 Pulverstrahlgeräte	11
2.4 Laser Systeme und desinfizierende Verfahren.....	12
2.5 Vergleich der Effektivität verschiedener Systeme	14
2.6 Resümee.....	22
2.7 Fragestellung.....	23
3. Material und Methode	24
3.1 Geräte	24
3.1.1 Gracey-Küretten	24
3.1.2 Cavitron Jet Plus	25
3.1.3 Symmetrie IQ 3000	26
3.1.4 Piezon Master 700	27
3.2 Versuchsablauf.....	29
3.2.1 Versuchsvorbereitung.....	31
3.2.2 Versuchsdurchführung	34
3.3 Versuchsauswertung	37
3.3.1. Auswertung der Reinigungseffektivität	37

3.3.2.	Auswertung der Oberflächenrauigkeit	38
3.3.3.	Rasterelektronenmikroskopie	39
3.4	Statistische Auswertung	39
3.5.	Auswertung des Fragebogens.....	40
4.	Ergebnisse	41
4.1	Einzelergebnisse hinsichtlich Reinigungseffektivitäten und Oberflächengüte ...	41
4.1.1	Gracey-Küretten	41
4.1.2	Cavitron Jet Plus	44
4.1.3	Symmetrie IQ 3000	47
4.1.4	Piezon Master 700	50
4.2	Gesamtergebnisse der Reinigungseffektivitäten	53
4.2.1	Einfluss der Parameter: Behandler, Methoden und Zahnfläche	53
4.2.2	Zusammenfassung der Ergebnisse der Reinigungseffektivitäten mit allen vier Methoden	54
4.2.3	Vergleich der Reinigungseffektivitäten der Studierenden und ZMP mit vier Methoden für Approximalflächen	58
4.2.4	Vergleich der Reinigungseffektivitäten der Studierenden und ZMP mit den vier Methoden für Glattflächen	60
4.2.5	Vergleich der Reinigungseffektivitäten aller Flächen innerhalb der Studierendengruppe.....	62
4.3	Ergebnisse der Rauigkeiten	64
4.3.1	Vergleich der Mittenrauigkeiten R_A	64
4.3.2	Vergleich der gemittelten Rautiefen R_Z	65
4.3.3	Vergleich der maximalen Rautiefen R_{MAX}	67
4.4	Ergebnisse des Fragebogens.....	68
5.	Diskussion	70

5.1	Methodenkritik	70
5.2	Ergebniskritik	73
5.3	Schlussfolgerungen	78
6.	Zusammenfassung	80
7.	Abkürzungsverzeichnis	82
8.	Literaturverzeichnis	84
9.	Danksagung	92
10.	Lebenslauf	93
11.	Eidesstattliche Versicherung	94

1. Einleitung

Eine der wichtigsten Aufgaben der modernen zahnmedizinischen Behandlung ist es ein gesundes Parodont zu erzielen und zu erhalten. Dies wird künftig, bedingt durch die zunehmende Alterung der Gesellschaft, noch an Bedeutung zunehmen. Patienten sollen idealerweise durch regelmäßige Prophylaxe parodontal gesund bleiben (Primärprophylaxe). Wenn sie doch eine Parodontalerkrankung entwickeln, muss diese zunächst therapiert werden und dann eine geeignete Nachsorge einsetzen, um eine Neuerkrankung zu vermeiden. Diese Gesunderhaltung erfolgt auf reduzierterem parodontalen Niveau (Sekundärprophylaxe). Außerdem ist eine regelmäßige Nacharbeit in verbliebenden Resttaschen vorgesehen, die unterstützende parodontale Nachsorge. Sie wird im folgenden Text mit UPT abgekürzt (EICKHOLZ 2007, HELLWIG ET AL. 2007, KOLBE & LAURISCH 2009). Wenn eine Heilung nicht möglich ist, werden die Taschen durch regelmäßige Nachbehandlung auf dem Niveau gehalten und so symptomatisch behandelt (Tertiärprophylaxe). Durch eine Parodontaltherapie sollen die Zähne möglichst lebenslang erhalten werden, was die Lebensqualität durch Funktionalität und Ästhetik des Gebisses erhöht (VAN DER VELDEN & SCHOO 1999). Die Aufgabe der Parodontaltherapie besteht in der Wiederherstellung parodontaler Entzündungsfreiheit. Die Aufgabe der regelmäßigen parodontalen Nachsorge ist die Aufrechterhaltung und bei Bedarf die sich anschließende Beseitigung der erneuten Entzündung des Parodonts. Dabei werden supra- und subgingivale harte und weiche Ablagerungen weitestgehend eliminiert und damit die parodontal pathogenen Bakterien beseitigt. Dies erfolgt durch ein gründliches und systematisches Scaling und Root Planing, SRP, aller betroffenen Zahnfleischtaschen, die tiefer als 3,5mm sind und daher nicht mehr als physiologisch gelten (EICKHOLZ 2011, FISCHER & FICKL 2011).

Die Reinigung subgingivaler Wurzeloberflächen kann mit verschiedenen Methoden, z.B. mittels Handinstrumenten oder maschineller Verfahren (Schall-, Ultraschallgeräte, Pulverstrahlverfahren, rotierende Instrumente, Laser und andere desinfizierende Systeme) erfolgen (BADERSTEN ET AL. 1984, IFF & MARINELLO 1998, EBERHARD ET AL. 2003, PETERSILKA & FLEMMING 2005, SCHULTZ 2005).

Bei der Parodontalbehandlung steht, neben der Reinigung infizierter harter und weicher Ablagerungen von Wurzeloberflächen, die Glättung der Wurzeloberfläche im Vordergrund, während bei der Nachsorge ein möglichst geringer Substanzabtrag bei häufiger Wiederholung der Instrumentierung wichtig ist (IFF & MARINELLO 1998). Zusätzlich unterstützen medikamentös-desinfizierende Maßnahmen, die sogenannte „Full-Mouth-Desinfection“ (FMD) die Bakterienreduktion, reichen aber als alleinige Therapie nicht aus (QUIRYNEN ET AL. 2006).

Studierende erlernen bis heute als Basistechnik an der Universität Hamburg, wie subgingivale Konkremente manuell mittels Gracey-Küretten entfernt werden. Diese Methode gilt bis heute immer noch als Goldstandard (EICKHOLZ 2011). Internationale Studien haben ergeben, dass die subgingivale Reinigung mittels verschiedener Ultraschallgeräte mindestens genauso effektiv ist wie die manuelle (BADERSTEN ET AL. 1984, SCHMAGE ET AL. 2000, BUSSLINGER ET AL. 2001, TUNKEL ET AL. 2002). Eine solche maschinelle Wurzeloberflächenreinigung wird in der Praxis standardmäßig eingesetzt. Vorteile soll das maschinelle Verfahren durch eine schnellere, ermüdungsfreiere und weniger techniksensitive Arbeitsweise bieten. In der Praxis führt oft fortgebildetes Assistenzpersonal, die zahnmedizinische Prophylaxeassistentin (ZMP) oder die zahnmedizinische Fachassistenz (ZMF), die supragingivale Reinigung durch. ZMP bzw. ZMF haben für den supragingivalen Einsatz mehr Erfahrung im Handling mit maschinellen Reinigungsgeräten, während Studierende mehr Erfahrungen mit manuellen Küretten bei der subgingivalen Reinigung hatten. Daher wurden in einem zusätzlichen Versuchsteil die Ergebnisse von ZMP, die erstmalig subgingival am Modell arbeiteten berücksichtigt. Die Ergebnisse von Studierenden und ZMP wurden vergleichend bewertet.

Es stellt sich die Frage, ob Studierende nicht zusätzlich auch in maschinellen Verfahren zur subgingivalen Wurzeloberflächenreinigung ausgebildet werden sollten, da sie diese später überwiegend nutzen werden.

Diese Studie hatte hauptsächlich die Aufgabe, die Effektivität der Reinigung mit verschiedenen Methoden (drei maschinelle und eine manuelle) zum SRP in der Anwendung durch 50 Studierende zu vergleichen. Dabei sollte die Frage geklärt werden, mit welcher Methode Studierende des zweiten klinischen Jahres die beste Reinigung erzielten und welche Oberflächenqualität sie im Vergleich zur manuellen Kürette erreichten.

2. Literaturübersicht

2.1 Ziele von Parodontalbehandlung und parodontaler Nachsorge

Langfristiges Ziel einer Parodontalbehandlung ist der lebenslange Erhalt der eigenen Zähne und des Zahnhalteapparates. Kurzfristige Ziele einer Therapie sind: die Wiederherstellung der Entzündungsfreiheit, das Aufhalten einer Progression der Krankheit und dabei mindestens den aktuellen Status beizubehalten oder das verlorengegangene Parodont zu regenerieren. Das Ergebnis muss folgende Faktoren erfüllen: den Erwartungen des Patienten an seine Lebensqualität entsprechen, ästhetisch akzeptabel sein, sowie eine stabile Situation und eine geringe Rezidivgefahr bewirken (IFF & MARINELLO 1998, LINDHE & NYMANN 1999).

Vor dem Beginn einer systematischen Parodontaltherapie muss der Patient angemessen über den Krankheitsverlauf und seine Folgen aufgeklärt werden, um eine bestmögliche Compliance zu erreichen. Ebenfalls wird der Ablauf der Behandlung erklärt (RATEITSCHAK ET AL. 1998, LINDHE & NYMANN 1999).

Im Rahmen der *Initialphase* wird der Patient motiviert und zu sehr guter Mundhygiene instruiert. Durch eine supragingivale Entfernung aller harten und weichen Beläge im Rahmen einer professionellen Zahnreinigung wird die Mundhygienefähigkeit hergestellt. Darauf folgen regelmäßige Plaquekontrollen mit Remotivation des Patienten (BADERSTEN ET AL. 1984, DRISKO 2001). Die Hygienefähigkeit des Gebisses wird gegebenenfalls optimiert: Dazu gehören zusätzlich die Glättung von überstehenden Füllungs- oder Restaurationsrändern, die Behandlung kariöser Läsionen, fehlender approximaler Kontaktpunkte und die Zugänglichkeit von Zwischenräumen und Nischen zur Mundhygiene wiederherzustellen (AXELSSON ET AL. 2002).

Ist der Patient in der Lage einen akzeptablen und regelmäßigen Mundhygienestatus aufrechtzuerhalten, bei einem API (approximaler Plaque Index) < 35%, kann die *erste Behandlungsphase* erfolgen, eine geschlossene Behandlung der Zahnfleischtaschen durch ein Scaling und Root Planing (HELLWIG ET AL. 2007). Hierbei stehen verschiedene Möglichkeiten für das SRP zur Verfügung. Gemeinsames Ziel aller Methoden ist es die Wurzeloberflächen von Konkrementen und Toxinen, sowie kontaminiertem Wurzelzement zu befreien. Dabei ist es nicht

notwendig den Wurzelzement vollständig zu entfernen (NYMANN ET AL. 1988). Außerdem wird eine glatte Wurzeloberfläche angestrebt. Diese ist nicht für eine gute Heilung ausschlaggebend, sondern wird angestrebt, um die erneute Anlagerung eines Biofilmes zu erschweren. So sollen eine biokompatible Wurzeloberfläche und somit optimale Voraussetzungen für den Heilungsprozess geschaffen und ein epitheliales Reattachment ermöglicht werden. Besonderes Augenmerk wird auf die Schonung von gesunden Hart- und Weichteilsubstanzen gelegt werden (HELLWEGE 1987, RATEITSCHAK 1998). Heutzutage soll die Behandlung möglichst atraumatisch durch eine ausreichende Kühlung der Wurzeloberflächen und die Anwendung von minimalinvasiven Instrumenten erfolgen, so kann der Hartschubstanzabtrag limitiert und das Einreißen der Weichgewebe begrenzt werden. Eine Schmerzkontrolle wird durch die Anwendung einer geeigneten Anästhesie erreicht (MÜLLER 2001, STOLTENBERG ET AL. 2007). Nach Abschluss der ersten Behandlungsphase wird diese reevaluiert. Ist der Behandlungserfolg zufriedenstellend, erfolgt die Nachsorge im Rahmen der *unterstützenden Parodontaltherapie*. Ist er es nicht, wird eine *zweite Behandlungsphase* in Form einer chirurgisch-korrektiven Therapie eingeleitet. Hierbei wird ein SRP unter Sicht durchgeführt (HELLWIG ET AL. 2007). Auch nach dieser Behandlung wird der Behandlungserfolg wiederum kontrolliert und eine entsprechende Weiterbehandlung und Nachsorge eingeleitet. Im Rahmen der UPT müssen verbliebende Taschen weiterhin regelmäßig von harten und weichen Debridement gereinigt werden, um den Behandlungserfolg zu erhalten. Dabei dürfen möglichst wenige Veränderungen der Wurzeloberfläche erzeugt werden, da die Prozedur lebenslanglich oftmals wiederholt wird (EICKHOLZ 2011).

Von der Häufigkeit und Konsequenz der UPT hängt der langfristige Behandlungserfolg einer PA-Therapie überhaupt ab. Im Rahmen dieser Behandlungen wird der Mundhygienestatus des Patienten regelmäßig kontrolliert, der Patient wird motiviert und instruiert. Außerdem werden alle supragingivalen Zahnflächen und bei Bedarf auch die Wurzeloberflächen an verbliebenden Taschen neu gereinigt und geglättet (AXELSSON & LINDE 1981A, AXELSSON & LINDE 1981B, RATEITSCHAK ET AL. 1989).

Erschwerend wirken bei einem SRP ohne direkte Sicht auf die Wurzeloberfläche folgende Faktoren: die unterschiedliche Morphologie der Wurzeloberflächen, die Compliance des Patienten und die Erfahrung des Behandlers (KOCHER ET AL. 1997A).

Aus ökonomischer Sicht möchte der Zahnarzt einen maximalen Behandlungserfolg möglichst schnell, bei geringer Ermüdung und Patientenbelastung erzielen (PETERSILKA & FLEMMING 2005).

Klassisch wurden zum SRP manuelle Küretten verwendet. Seit Mitte der 1990er Jahre werden auch maschinelle Methoden angeboten. Historisch bedingt erlernen Zahnärzte und Dentalhygienikerinnen in der Ausbildung zuerst die manuelle Methode als Goldstandard und danach die maschinellen Methoden (z.B. Lehrinhalt Parodontologie, UNIVERSITÄT KIEL). DRAGOO stellte in seinen Untersuchungen schon 1992 fest, dass die Technik der maschinellen Instrumentierung sich von der manuellen Technik stark unterscheiden würde (DRAGOO & MARINELLO 1995). Bei schwieriger Wurzelanatomie und ungünstiger Zugänglichkeit für die Instrumente könne das manuelle Verfahren überlegen sein. Grund dafür wäre die bessere Taktilität durch die manuellen Instrumente (RÜHLING ET AL. 2002). KOCHER ET AL. (1997A UND 1997B) zeigten in zwei Studien, dass erfahrene Behandler unabhängig von der Methode mit einer höheren Effektivität als ungeübte Behandler arbeiteten. Die Behandlungsqualität hing ebenso von der Erfahrung des Behandlers und nicht nur von der Wahl des Instrumentes ab. Aber in beiden Gruppen wurde die höchste Effektivität mit Gracey-Küretten erreicht. In einer anderen Studie von STASSINAKIS ET AL. (1995) beobachtete er, dass die meisten unerfahrenen Behandler schneller eine höhere Effektivität bei der Bearbeitung mit oszillierenden Geräten als bei der Bearbeitung mit Gracey-Küretten erreichten.

Maschinelle Instrumente wurden entwickelt um ein SRP schneller, ermüdungsfreier und delegierbar zu machen. Es wurde also vermutlich auch ein wirtschaftlicher Aspekt verfolgt, mit dem Ziel ein effektives Behandlungssystem zu entwickeln, mit dem eine reproduzierbare Qualität auch bei unzugänglichen Taschen gewährleistet würde. Der Behandler sollte in die Lage versetzt werden, täglich auch mehrere Behandlungen ergonomisch und ermüdungsarm zu absolvieren bei einer möglichst geringen Aerosolbelastung, geräuscharm und effizient zu arbeiten (PETERSILKA & FLEMMING 2004, FISCHER & FICKL 2011).

Obwohl maschinelle und manuelle Reinigungsmethoden unterschiedliche Wirkungsweisen besitzen, verfolgen sie die gleichen Ziele, die an die Reinigungsqualität und Oberflächengüte der Wurzeloberflächen nach

Instrumentierung gestellt werden. Die verschiedenen Methoden und ihre Bewertung werden im Folgenden vorgestellt.

2.2 Manuelle Reinigung

Für die manuelle Reinigung werden verschiedene Ausführungen von Küretten angeboten, z.B. Universalküretten, Langer-Küretten oder Gracey-Küretten. Universalküretten sind an ihrer Schneidekante um 90° zum terminalen Schaft abgewinkelt und beidseitig scharf. Sie sind grundsätzlich an allen Flächen einsetzbar. Langer-Küretten besitzen die gleiche Arbeitsspitze wie die Universalküretten, haben aber ein modifiziertes Schaftdesign, das dem der Gracey-Küretten angepasst ist (MÜLLER 2001). Schon um 1930 wurde von dem Zahnarzt *C. H. Gracey* in Zusammenarbeit mit *Hugo Friedman* (Hu Friedy) ein Instrumentensatz entwickelt, der die subgingivale Reinigung und Wurzelglättung erleichtern sollte. Die Form des Arbeitsteils wurde so modifiziert, dass das Erreichen der unterschiedlichen Wurzelflächen erleichtert wurde. Diese Entwicklung war wegweisend und ist immer noch aktuell (WWW.HUFRIEDY.DE). Die Standard-Gracey-Küretten unterscheiden sich von anderen Küretten durch ihre veränderte Spitze. Der Winkel der einseitig scharfen Spitze steht im 70° Winkel zum unteren Schaft. Gracey-Küretten sind speziell für die Instrumentation der Hartgewebeseite in der Zahnfleischtasche konzipiert, die Seite des umgebenen Weichgewebes wird geschont (EICKHOLZ 2011). Verschiedene Formen der Gracey-Küretten sind für die Bearbeitung unterschiedlicher Wurzelflächen notwendig. Ein vollständiges Behandlungsset umfasst 14 Instrumente, häufig genügt eine vereinfachte Auswahl von vier doppelendigen Instrumenten. Ende der 80er Jahre kam eine Weiterentwicklung der Standard-Gracey-Kürette auf den Markt: die Standard-Gracey-After-Five-Kürette. Ihr terminaler Schaft wurde um 3 mm verlängert und ihre Schneide schmäler gestaltet. Diese Abänderung des Arbeitsteils sollte eine bessere Erreichbarkeit von subgingivalen Taschen über 5 mm Tiefe ermöglichen (HELLWEGE 2007). Anfang der 90er Jahre kam eine weitere Kürettenform hinzu: die Mini-Five-Kürette. Sie ist eine Modifikation der Gracey-After-Five-Kürette und ihre Schneide ist im Vergleich zum After-Five-Design die Schneide um die Hälfte gekürzt. Dadurch soll die Bearbeitung enger und tiefer Zahnfleischtaschen noch weiter erleichtert werden. Außerdem sollen damit Furkationen und mesiale wie distale Bearbeitungsflächen besser erreichbar sein (HELLWEGE 2007). Die Vorteile für

den Behandler bei der Verwendung von Handinstrumenten sind: ein erhöhtes taktileres Empfinden, die Vermeidung von Hitzeentwicklung auf der Wurzeloberfläche und keine Aerosolbelastung für das Behandlungsteam. Es gibt aber auch Nachteile gegenüber der maschinellen Behandlung nämlich den höheren Kraft- und Zeitaufwand, weshalb der Behandler rascher ermüdet (FISCHER & FICKL 2011). Die Spitzen der Handküretten müssen regelmäßig nachgeschärft werden, was zusätzlich die Behandlungszeit verlängert. (HELLWEGE 1987).

Gracey-Küretten dringen weniger tief in die Taschen ein als Ultraschallspitzen (BARENDREGT ET AL. 2008) und entfernen mehr Zahnhartsubstanz. Über die Qualität des Oberflächenreliefs gibt es unterschiedliche Aussagen. Es gibt Studien von KAWASHIMA (2007) UND RÜHLING (2005) nach deren Ergebnissen Handinstrumente eine rauere Oberfläche als Ultraschallverfahren erzeugen, in der Studie von SCHULTZ (2005) wird ein gegenteiliger Effekt beschrieben.

Aufgrund der langen Erfahrungen mit Gracey-Küretten und ihren angeführten Qualitäten ist die Bearbeitung von Wurzeloberflächen als „Goldstandard“ allgemein akzeptiert (BREININGER ET AL. 1987). An der Qualität dieser Methode müssen sich alle anderen Methoden messen lassen.

2.3 Maschinelle Reinigung

Maschinell getriebene Instrumente lassen sich in schwingende (1) und rotierende (2) Instrumente untergliedern, außerdem wird auch noch die Reinigung mittels Pulverstrahlgeräten (3) angeboten (FISCHER & FICKL 2011). Die Pulverstrahlreinigung wird oft ergänzend nach der konventionellen Vorreinigung genutzt.

2.3.1 Schwingende Instrumente

Die *Schallinstrumente*, auch Airscaler genannt, werden druckluftbetrieben, z.B. über den Turbinenanschluß der Behandlungseinheit. Ein Hohlzylinder im Inneren des Handstückes wird durch den Luftstrom zur Rotation gebracht, die erzeugte Rotation bewegt die Arbeitsspitze. Sie schwingt mit etwa bis zu 8.000 Schwingungen pro Sekunde ungedämpft, je nach Geometrie der Spitze, kreisförmig, mit einer Amplitude von bis zu 1.000 µm (PETERSILKA & FLEMMING 2005, LEA & WALMSLEY 2009). Diese kreisförmige Schwingung arbeitet immer gleichbleibend, egal wie das Ansatzstück gehalten wird. Ein Beispiel hierfür ist das von der Fa. KaVo (Biberach) entwickelte

SonicSys-System. Innerhalb dieser Produktreihe wurden verschiedene Ansätze für die unterschiedlichsten Anwendungsbereiche entwickelt. Es gibt glatte oder diamantierte Ansätze, konventionell oder kontrawinkelig gebogen. Die diamantierten Knospen dienen für die Zahn- und Wurzelreinigung von Einziehungen oder engen Furkationsbereichen (Produktinformation Fa. KaVo). Die glatten Ansätze sind besonders für die Reinigung im Rahmen der UPT geeignet (PETERSILKA & FLEMMING 2004, EICKHOLZ 2007).

Die *Ultraschallgeräte* arbeiten in einem höheren Frequenzbereich als die Schallgeräte. Der Ultraschallbereich ist durch Schwingungen in einem Bereich oberhalb von 20.000 Hz definiert (PETERSILKA & FLEMMING 2005, LEA & WALMSLEY 2009). Es werden zwei Antriebssysteme zur Erzeugung dieser Schwingungen unterschieden: das magnetostriktive und das piezoelektrische Prinzip (GANKERSEER & WALMSLEY 1996, PETERSILKA & FLEMMING 2004, LEA & WALMSLEY 2009).

Beim *magnetostriktiven* Verfahren, welches zum Beispiel bei dem „Cavitron Jet Plus“ der Fa. Dentsply (USA) eingesetzt wird, ist im Inneren des Handstückes ein Eisen- oder Nickelstahlkern in Lamellenform enthalten. Um diesen Kern herum verläuft eine Wechselstromspule. Beim Durchfluss von Strom durch die Spule werden, um den Metallkern herum, wechselnde Energiefelder erzeugt. Der Metallkern reagiert mit schnellen Dimensionsveränderungen der Länge. Daraus resultiert eine oszillierende Schwingung der Arbeitsspitze mit einer Frequenz von 18-45 kHz. Sie ist ellipsoid bis kreisförmig. Ihre Amplitude beträgt 13-100 µm (LEA & WALMSLEY 2009). Durch das ellipsoide Schwingungsmuster wirkt eine gerade Arbeitsspitze schlagend an der Spitze und sollte daher möglichst tangential zur Wurzeloberfläche gehalten werden und mit wenig Druck geführt werden. Die Arbeitsfläche hat keinen gleichmäßigen Effekt und zum Arbeitsende hin wirkt die Instrumentenspitze aggressiver (IFF & MARINELLO 1998, PETERSILKA & FLEMMING 2004).

Die *piezoelektrisch* angetriebenen Geräte, wie z.B. das „Piezon Master 700“ von EMS (Nyon, Schweiz) und das „Symmetrie IQ 3000“ von HuFriedy (Chicago, USA), erzielen ihre Schwingungen durch einen Quarzkristall, der durch wechselnde Spannung in mechanische Bewegung gerät (25-50 kHz). Die Arbeitsspitzen der Geräte führen eine nahezu lineare vertikale Bewegung mit einer Amplitude von 17-72 µm durch (KOCHER & PLAGMANN 1997). Daraus resultiert je nach angelegter Arbeitsfläche des Instrumentes ein hämmernder oder kratzender/ schabender Abtrag

auf der Wurzeloberfläche. Eine gerade Instrumentenspitze wirkt nur bei paralleler Anlagerung optimal. Instrumente mit wahlweise rechts- oder linksgewinkelter Angulation ermöglichen den Einsatz im Seitenzahnggebiet. Dabei verändert nicht nur die reine Abwinkelung, sondern auch eine zusätzliche Verdrehung der Instrumentenspitze, ähnlich der Form einer Locke (DRAGOO 1992), den großen Einfluss auf die Effektivität des Instrumentes. Die kontraangulierten Arbeitsspitzen müssen so gehalten werden, dass ihre konvexe Seite die Wurzeloberfläche berührt und die Spitze nicht die Oberfläche beschädigt (DRAGOO ET AL. 1995, PETERSILKA & FLEMMING 2004). Mit ihnen können schwer zu erreichende Flächen, z.B. Furkationseingänge leichter instrumentiert werden (KOCHER ET AL. 1998 B). Wenn die Instrumentenspitze im rechten Winkel zur Zahnoberfläche angesetzt wird, erlangt sie die höchste Effektivität. Dadurch werden ein besserer Komfort und eine geringe Weichgewebstraumatisierung ermöglicht (BRAY 1996). Der Anpressdruck von max. 1 N ist hier eher touchierend, er wirkt sonst schädlich und muss geringer als mit der Kürette, max. 2 N, bleiben (PETERSILKA & FLEMMING 2004, FISCHER & FICKL 2011).

Durch die Schwingungen der Schall- und Ultraschallgeräte tritt bei Kontakt mit der Wurzeloberfläche eine Hitzeentwicklung durch Reibungswärme auf, wodurch Schädigungen des Parodonts und des Zahnes möglich sind. Um eine Überhitzung zu vermeiden, ist eine permanente Wasserkühlung in die Tasche hinein notwendig.

Die Instrumentenspitzen der Ultraschallgeräte sind als Hohlkörper gestaltet, so dass das Spülmittel in die Tasche durch Austritt aus der Instrumentenspitze gelangt. Erst seit dieser Entwicklung ist eine Behandlung mit Ultraschall in der PA-Tasche zulässig (vorher konnte Ultraschall nur supragingival genutzt werden). Diese wissenschaftliche Entwicklung ist in der Forschung von Mick Dragoo begründet (DRAGOO 1992, IFF & MARINELLO, 1998).

Bei verschiedenen Herstellern können dem Kühlmittel Wasser andere pharmakologisch wirksame Substanzen zugesetzt und so zusätzlich eine desinfizierende Wirkung erzielt werden (IFF & MARINELLO 1998). Die Wirksamkeit der Desinfektion während der SRP ist umstritten (PETERSILKA & FLEMMING 2004). Zusätzlich kann durch Anregung der Spülflüssigkeit zu hochfrequenten Schwingungen eine Strömung der Flüssigkeit durch die parodontale Tasche als geschlossenes System erzeugt werden. Diese Welle heißt hydrodynamische Welle oder auch akustische Strömung. Es entstehen kleine Bläschen, die wiederum in sich

implodieren und Kräfte freisetzen. Es wird vermutet, dass weiterhin ein Zerreißen von bakteriellen Zellwänden und eine Zerstörung des Biofilms bewirkt werden, dieses Phänomen wird als Kavitationseffekt bezeichnet (GRIESINGER ET AL. 1994, LEA & WALMSLEY 2009).

Ein Vorteil der Instrumentierung mit Schall- bzw. Ultraschallinstrumenten besteht in den sehr graziösen Ansätzen, die tiefer als manuelle Küretten in die Tasche eindringen, da die Kürette ein breiteres Arbeitsende besitzt (DRAGOO & MARINELLO, 1995).

Als Nachteile der oszillierenden schwingenden Systeme sind zu erwähnen, dass es zur Entwicklung von kontaminiertem Aerosol kommt. Mögliche Wechselwirkungen bei Herzschrittmachern sind bei modernen Geräten umstritten (IFF & MARINELLO 1998, FLEMMING & PETERSILKA 2003). Des Weiteren hat der Behandler im Vergleich zu Handinstrumenten ein geringeres taktiles Empfinden (IFF & MARINELLO 1998). Über die Güte der Oberflächen und ihre Rauigkeit gibt es kontroverse Aussagen (SCHMAGE ET AL. 2000, KIMMEL 2003, KAWASHIMA ET AL. 2007). Der Substanzabtrag ist dabei gering (FLEMMING ET AL. 1998).

Hinsichtlich der Effektivität von Schall- und Ultraschallgeräten bestanden keine wesentlichen Unterschiede bezüglich Taschentiefenveränderung, gingivaler Rezession und modifiziertem gingivalem Index (D'HAESE ET AL. 2003).

Im Vergleich von Geräten mit magnetostruktivem Antrieb und Geräten mit piezoelektrischem Antrieb differieren die Meinungen: Die einen meinen, dass „magnetostruktiven Ultraschallscaler schonender und schmerzärmer arbeiteten als die piezoelektrischen Geräte“ (BUSSLINGER ET AL. 2001); die anderen sagen, dass „magnetostruktive Systeme eine größere Defekttiefe bewirkten“ (FLEMMING ET AL. 1998A, FLEMMING ET AL. 1998B).

2.3.2 Rotierende Instrumente

Rotierende Instrumente werden für die Parodontaltherapie von verschiedenen Firmen z.B. Fa. Busch (Engelskirchen), Fa. Meisinger (Neuss) und Fa. Brasseler (Lemgo) angeboten. Sie bestehen aus Stahl oder Hartmetall bzw. sind diamantiert. Sie sollten mit Zurückhaltung eingesetzt werden, um einen zu starken Substanzverlust zu vermeiden (Fischer & Fickl 2011). Im Rahmen der Odontoplastik haben sie sich bewährt (z.B. Perio System). Für eine Reinigung der

Wurzeloberflächen sollten sie nicht angewendet werden, weil der Substanzabtrag und die verbleibende Oberflächenrauigkeit zu groß sind (RATEITSCHAK ET AL. 1989, SCHMAGE ET AL. 2000, SCHULTZ 2005). Außerdem bieten sie auf Grund ihrer geometrischen Voraussetzungen nur eine schlechte Zugänglichkeit zu der anspruchsvollen Wurzelmorphologie.

2.3.3 Pulverstrahlgeräte

Pulverstrahlgeräte wurden ursprünglich für die Entfernung von supragingivalem Biofilm und die Belagentfernung von Verfärbungen entwickelt. Nach Weiterentwicklung der Geräte wurde ihr Anwendungsbereich auch auf den subgingivalen Bereich erweitert (SCULEAN ET AL. 2012). Sie sollen die Zahnoberfläche mittels feinkörnigen Strahlguts reinigen. In einem Gemisch mit Wasser wird es durch Druckluft z.B. auf die Zahnwurzeloberfläche gebracht. Früher bestand das Strahlgut auf einer Basis von Natriumbikarbonat, es hatte eine hohe Abrasivität und besaß eine hohe Verletzungsgefahr. Dieses Pulverstrahlgemisch durfte das Epithel nicht verletzen, da es zu Entzündungen und Emphysembildung führen konnte. Deshalb soll die Strahldüse immer im schrägen Winkel auf die zu reinigende Oberfläche, von dem Taschenboden wegweisend geführt und nie in die Zahnfleischtasche hinein gestrahlt werden (MOENE ET AL. 2010).

Neuere Verfahren bieten durch ein modifiziertes Strahlgut eine höhere Sicherheit. Bei dem Air-Flow Piezon Master-Gerät von EMS ist das Air-Flow System integriert. Neben den klassischen Strahlmitteln für die supragingivale Anwendung („Classic“ und „Soft“), wird ein weiteres Strahlmittel für die subgingivale Anwendung angeboten, („Perio“) das aus von Aminoacid-Glycin besteht. Seine Korngröße beträgt 25 µm. Alternativ steht ein Produkt von 3M ESPE „ClinPro Powder“ (3MESPE 2012) für die subgingivale Biofilmentfernung zur Verfügung. Dieses Strahlgut basiert ebenfalls auf Aminoacid-Glycin (PETERSILKA ET AL. 2008).

Gefordert wird, dass das natriumkarbonathaltige Strahlmittel nicht in der Zahnfleischtasche benutzt wird, sondern nur glycinhaltige (MOENE ET AL. 2010). Die kleine Korngröße birgt unter Umständen den Nachteil, dass das Strahlgut potentiell lungenschädigend beim Aspirieren sein kann (Produktinformation von 3M Espe). Der Patient kann vorsorglich während der Anwendung mittels einer Atemschutzmaske geschützt werden.

Im Vergleich zu Handinstrumenten bewirkt das Air Polishing mit Pulverstrahlgeräten eine signifikant stärkere Reduktion von koloniebildenden Einheiten und ist für den Patienten schmerzärmer (PETERSILKA ET AL. 2003B). Es kann zum Abschluss des SRP nach der Instrumentierung eingesetzt werden um die Wurzel zu glätten und verbliebenen Biofilm zu entfernen. Air Polishing kann nur Auflagerungen von verfärbten Partikeln (durch Rauchen, Tee, Rotwein) und Biofilme entfernen, aber nicht Zahnstein und Konkremente, die nur mechanisch entfernt werden können.

2.4 Laser Systeme und desinfizierende Verfahren

Zusätzlich zu den mechanischen Verfahren zur Wurzeloberflächenreinigung werden Lasertechnik und desinfizierende Verfahren zur subgingivalen Taschenreinigung angeboten. Diese Verfahren haben einen gewebeabtragenden und bakteriziden Effekt (LASERZAHNHEILKUNDE.INFO 2012). Ob der Einsatz von Laser allein eine mechanische Reinigung ersetzen kann wird kontrovers beurteilt (SCHWARZ ET AL. 2003, AAP 2011). Derzeit scheint eine alleinige mechanische Reinigung noch am effektivsten mit einem Er-YAG Laser erreichbar zu sein (SCHWARZ ET AL. 2003). In anderen Fällen kann der Laser auch begleitend nach SRP zur Bakterienbekämpfung eingesetzt werden (BRINK & ROMANOS 2007). In der Lasertechnik werden je nach Strahlenintensität Hardlaser von Softlasern unterschieden. Der Softlaser wird auch Niederleistungslaser genannt und wirkt stimulierend auf menschliches Gewebe. Er wird bevorzugt in der Beschleunigung der Wundheilung und zur Stärkung der lokalen Immunabwehr eingesetzt. Zu der Gruppe dieser Laser gehört u.a. der Dioden Laser (680-980 nm). Dieser Laser wird auch bei der photodynamischen Therapie (PDT) genutzt, dabei werden zusätzlich spezielle Farbstoffe eingesetzt.

Zu der Gruppe der Hardlaser, die energiereicher sind und eine höhere Wellenlänge haben, gehören der CO₂-Laser (10600 nm), der Nd:YAG- (1064 nm), der Argon- (488 nm) und der Er:YAG-Laser (2940 nm). Mit ihnen können Weich- und Hartgewebe behandelt werden. Von diesen Systemen scheint der Er:YAG-Laser, z. B. der „KaVo-Key“ Laser, besonders für die Parodontaltherapie geeignet zu sein. Seine Wellenlänge ist so konzipiert, dass eine Energieabsorption an Wassermolekülen unmittelbar ab der ersten wasserhaltigen Schicht des Zielgewebes erfolgt und nicht an Farbstoffen. Ein Licht der Wellenlänge 2540 nm wird absorbiert und in kinetische Energie umgewandelt, dieser Vorgang heißt Kaltablation (SCHWARZ ET AL. 2005).

In Untersuchungen (DERDILOPOULOU ET AL. 2007) wurde erwähnt, dass im Vergleich verschiedener Behandlungsmethoden (Küretten, Schall-/Ultraschall und Er:YAG-Laser) zur Reduktion der pathogenen Keime, keines der Systeme signifikant erfolgreicher war. Es wurden die mikrobiologischen Effekte der oben beschriebenen Methoden untersucht. Vor der Behandlung, drei Monate und sechs Monate nach der Behandlung wurde der bakterielle Status erneut ermittelt. Alle Systeme bewirkten eine Reduktion der parodontal pathogenen Bakterien. Andererseits wurde der *Actinobacillus actinomycetemcomitans* (AA) durch die Behandlung mit Laser und einem sonischen System nicht reduziert. Die AAP (American Academy of Periodontology) bestätigt in ihrer Stellungnahme zur Effizienz von Laserbehandlung in der PA-Behandlung dieses Ergebnis (AAP 2011).

Die photodynamische Therapie arbeitet mit einem Softlaser. Seine Wellenlänge liegt bei etwa 660 nm, die sich im sichtbaren Rot-Bereich befindet. Es wird mit ihr eine gezielte Zerstörung von Bakterien bewirkt. Die zu behandelnden Flächen werden mit einem speziellen Farbstoff, dem Photosensitizer, beschickt. Dieser Photosensitizer besteht aus Toluidinblau oder Methylenblau. Diese Stoffe haben die Fähigkeit in die Polysaccharid-Matrix und in die Bakterienzellwand zu penetrieren, sich anzuheften und damit zu markieren (TAKASAKI ET AL. 2009). Danach kann mittels eines auf den Farbstoff abgestimmten Laserspektrums, das im Absorptionsmaximum des Photosensitizers liegt, die markierten Zellen der Bakterien selektiv aktiviert werden. Für Toluidinblau liegt das Absorptionsmaximum bei ca. 690 nm, für Methylenblau bei ca. 664 nm. Der Farbstoff übernimmt durch die Bestrahlung die Protonenenergie und erreicht dadurch in einen angeregten Singulett-Zustand. Dieser kann (1) entweder in seinen Grundzustand zurückfallen und Energie abgeben. Oder (2) das Triplett gibt überschüssige Energie an ein anderes Triplett Molekül ab: dabei entsteht ein O₂-Molekül, es wird dabei zu Singulett-Sauerstoff. Singulett-Sauerstoff ist sehr toxisch und stark oxidierend. Es ist aber auch nur sehr kurzlebig, daher bleibt seine zelluläre Schädigung auf genau das Gebiet beschränkt, wo der Photosensitizer angereichert ist und das Licht einstrahlt (SIGUSCH ET AL. 2009, TAKASAKI ET AL. 2009, METTRAUX & DÖRTBUDAK 2012).

Eine innovative Behandlungsmethode alternativ zum PDT ist der Einsatz von Ozon. Ozon wirkt keimabtötend und desinfizierend und steigert kurzfristig die Durchblutung (Bocci, 2004). Ozon ist chemisch ein Tri-Sauerstoff (O₃), das in O₂ und ein

Sauerstoffradikal zerfällt. Ozon ist neben Fluor das stärkste bekannte Oxidationsmittel und besitzt eine sehr hohe Reaktivität. Bei der Oxidationsreaktion wirkt es durch freie Radikale auf die Bakterienmembran, wobei es zu Störungen der Zellwandpermeabilität und anschließend zur Zellyse kommt (DÄHNHARDT & LUSSI, 2004). Ozongas wirkt zusätzlich schmerzstillend. Es kann in der unterstützenden Parodontitistherapie gasförmig oder als ozonisiertes Wasser genutzt werden. Es wurde festgestellt, dass ozonisiertes Wasser bei täglicher Anwendung die epitheliale Wundheilung fördert (FILIPPI 2001). Ozonisiertes Wasser zeigt sich ebenso wirkungsvoll wie die Anwendung von CHX 0,2%, kann also als nebenwirkungsarme Alternative eingesetzt werden (HUTH ET AL. 2008). Gasförmiges Ozon steht z.B. mit dem Gerät „Ozotop“ der Fa. Mectron (Köln) für die Parodontologie zur Verfügung. Das Ozongas kann mit Periospitzen in die gereinigte Zahnfleischtasche eingebracht werden, muss aber sofort abgesaugt werden.

Obwohl die PDT sowie die Behandlung mit Ozon theoretisch sehr wirksam auf Biofilm sind, ist ihr Einsatz in der Parodontologie nur ergänzend zum SRP als zusätzliche desinfizierende Maßnahmen sinnvoll, da harte Auflagerungen nur mechanisch zu entfernen sind (MÜLLER ET AL. 2007, GONZALEZ- MUNOZ 2011).

2.5 Vergleich der Effektivität verschiedener Systeme

Neben den technischen Möglichkeiten des SRP haben sich diverse Autoren mit den Fragen des Handlings der verschiedenen Systeme und des Erfahrungsgrades der Anwender beschäftigt. In Tabelle 1 sind Publikationen gelistet, die verschiedene Reinigungsmethoden vergleichen und dazu wurden die verwendeten Untersuchungsmethoden und ihre Ergebnisse angegeben. Als Bewertungsparameter wurden z.B. Veränderungen der Oberflächen, Zeitaufwand, Attachmentgewinn, BOP, Taschentiefen und die Bakterienanzahl berücksichtigt. Nicht alle Studien nutzten die gleichen Bewertungsparameter. In Tabelle 2 sind Studien aufgeführt, die die Fähigkeiten von erfahrenen und unerfahrenen Behandlern beim SRP und beim Erlernen von maschinellen Reinigungsverfahren vergleichen.

Autor/Jahr	Versuchsgruppen	Versuchsparameter	Ergebnisse
<i>Schmage et al. 2000</i>	80 unbehandelte extrahierte Molaren, je zehn Molaren pro Methode	Vergleich manueller und maschineller Systeme: acht Methoden (manuell, rotierende Instrumente, Schall, Ultraschall, piezoelektrisch), Vergleich Rauigkeit, Substanzverlust, Zeit In-vitro	Vergleichbare Rauigkeit in allen Gruppen, Perio-Diamant hatte glattere Flächen als Gracey-Küretten, bei Substanzverlust kein signifikanter Unterschied, höherer Zeitaufwand mit maschinellen Methoden.
<i>Buslinger et al. 2001</i>	30 extrahierte humane Zähne mit natürlichen Konkrementen, drei Behandlergruppen	Vergleich manueller und maschineller Systeme: Universalkürette, Cavitron Jet SPS (magnetostruktiv), Sonosoft 5 (Ultraschall, piezoelektrisch). Zeitaufwand, Menge entfernter Konkreme, Rauigkeit, REM-Vergleich	Signifikant höherer Zeitaufwand für Handküretten, Konkrementmenge gleich, glatteste Oberfläche aber höchster Substanzverlust mit Küretten, geringster Substanzverlust mit magnetostruktivem System.
<i>Tunkel J. et al. 2002</i>	Literaturvergleich von 27 klinischen Studien, Vergleich maschineller Instrumente mit Handinstrumenten, Attachmentgewinn, Taschentiefe, BOP und Effektivität wurden verglichen		Kein Unterschied in den Parametern: Attachmentgewinn, Taschentiefe und BOP, Ultraschall und Schallsysteme benötigten signifikant weniger Zeit als Handinstrumente.
<i>Croft et al. 2003</i>	469 Patienten, drei Behandlerpraxen	Vergleich manueller und maschineller Systeme: Handscaling und Ultraschall-Scaling, Fragebogen mit 13 Themen	74% der Patienten präferierten Ultraschall-Scaling gegenüber Handscaling.

Tab. 1: Literaturtabelle: Vergleich der Ergebnisse der Taschenreinigung mit unterschiedlichen Methoden und Geräten

Autor/Jahr	Versuchsgruppen	Versuchsparameter	Ergebnisse
<i>D'Haese J. 2003</i>	16 Probanden, mindestens zehn Zähne je Kiefer, parodontal geschädigtes Gebiss	Vergleich manueller und maschineller Systeme: Ultraschall-Scaling, Schall-Scaling, und Handscaling	Keine signifikanten Unterschiede. Sondierungstiefen und Rezessionen, mit allen vier Methoden. Alle getesteten Methoden sind effektiv in der Behandlung von moderater PAR.
<i>Jepsen et al. 2004</i>	20 extrahierte Zähne	Vergleich von zwei maschinellen Systemen: Cavi-Med 200, (magnetostruktiv) Piezon Master 400, (piezoelektrisch)	Der Substanzverlust ist beeinflusst vom Design der Spitzen.
<i>Rühling et al. 2005</i>	82 Zähne in Situ wurden an einer approximalen Seite behandelt und später extrahiert	Vergleich manueller und maschineller Systeme: Handinstrumente, Schallinstrumente und Ultraschall mit und ohne teflonbeschichteten Spitzen, piezoelektrisch	Ultraschall und teflonbeschichtete Spitzen entfernten weniger Substanz als Hand- oder sonische Instrumente.
<i>Güntsch, et al. 2006</i>	Kontroll- und Testgruppen mit je 20 Patienten mit schwerer chronischer PA	Vergleich manueller und maschineller Systeme: Testgruppe mit Vector (Ultraschall, piezoelektrisch) behandelt, Kontrollgruppe mit Handinstrumenten, vorher und nach sechs Monaten Erhebung von ST, AL und BOP, Bakterienbestimmung	Alle klinischen Parameter waren in beiden Gruppen signifikant verringert, kein Unterschied zwischen beiden Gruppen, bei Handinstrumenten war Bakterienanzahl initial geringer, später wieder ausgeglichen.

Tab. 1: Literaturtabelle: Vergleich der Ergebnisse der Taschenreinigung mit unterschiedlichen Methoden und Geräten

Autor/Jahr	Versuchsgruppen	Versuchsparameter	Ergebnisse
<i>Kawashima, H. et al. 2007</i>	drei Gruppen mit je zehn Zähnen, zwei erfahrene Behandler	Vergleich manueller und maschineller Systeme: Vector (Ultraschall piezoelektrisch), Enac (Ultraschall magnetostruktiv), Gracey-Kürette	Alle drei Methoden hatten vergleichbare Fähigkeiten Konkrementen zu entfernen, Rauigkeit und Substanzverlust waren in beiden Ultraschall-Gruppen signifikant geringer als bei Küretten, Vector signifikant schonender als Enac.
<i>Santos et al. 2008</i>	14 Patienten mit 35 einwurzligen Zähnen	Vergleich manueller und maschineller Systeme: Ultraschall piezoelektrisch, Ultraschall magnetostruktiv, Handinstrumente	Größerer Substanzverlust und stärkere Rauigkeit mit Handküretten.
<i>Lea C. und Walmsley D. 2009</i>	Metanalyse verschiedener vergleichender Studien von Hand-, Schall- und Ultraschallinstrumenten, magnetostruktiv und piezoelektrisch, von 1972 bis 2008, In-vitro und In-vivo		Zukünftig sollten mehr standardisierte Untersuchungen durchgeführt werden für eine bessere Vergleichbarkeit.
<i>Schmage et al. 2011</i>	70 extrahierte humane Molaren mit künstlichen Konkrementen	Vergleich der Reinigungseffektivität manueller und maschineller Systeme: Handinstrumente, verschiedene ultraschallgetriebene Systeme, magnetostruktiv und piezoelektrisch, Universalansätze, Bearbeitungszeit 5 min.	Es traten große Unterschiede in der Reinigungseffektivität zwischen den Systemen auf, Piezon Master 700 war signifikant besser als die anderen Systeme.

Tab. 1: Literaturtabelle: Vergleich der Ergebnisse der Taschenreinigung mit unterschiedlichen Methoden und Geräten

Autor/Jahr	Versuchsgruppen	Versuchsparameter	Ergebnisse
<i>Schmage et al. 2012</i>	95 extrahierte Molaren mit künstlichen Konkrementen	Vergleich manueller und maschineller Systeme: Küretten und verschiedene Ultraschallgeräte mit magnetostruktivem oder piezoelektrischem Antrieb, unterschiedliche Ansätze	Bessere Reinigungsergebnisse mit ultraschallgetriebenen Systemen, Ultraschallantrieb hat größeren Einfluss auf Effektivität als die Auswahl der Instrumentenspitze, kein statistischer signifikanter Unterschied zwischen universeller und empfohlener Instrumentenspitze je Gerät.

Tab. 1: Literaturtabelle: Vergleich der Ergebnisse der Taschenreinigung mit unterschiedlichen Methoden und Geräten

Die Studien von SCHMAGE ET AL. (2000), TUNKEL (2002), D`HAESE (2003), GÜNTSCH (2006) UND KAWASHIMA (2007) ergaben ähnliche Ergebnisse hinsichtlich der Vergleichbarkeit von manuellen und maschinellen Methoden zur Konkremententfernung. BUSSLINGER (2001) UND TUNKEL (2002) erwähnten eine signifikante Zeitersparnis bei der Anwendung von maschinellen Methoden. BUSSLINGER (2001) bemerkte den geringsten Substanzverlust mit einem magnetostruktiven System. KAWASHIMA (2007) und SANTOS (2008) hoben glattere Oberflächen mit den maschinellen Systemen hervor. GROFT (2003) kam zu dem Ergebnis, dass Patienten Ultraschall-Scaling gegenüber Handscaling präferierten.

In einer Studie von RÜHLING ET AL. (2002) wurde in einem Versuch an Phantomköpfen geprüft, wie effektiv ungeübte Behandler in dem Erlernen von Methoden zur Wurzeloberflächenreinigung sind. Zwei Gruppen mit untrainierten Probanden wurden in die Technik des SRP eingewiesen: Die eine Gruppe erlernte das manuelle Verfahren mit Gracey-Küretten, die andere ein maschinelles Verfahren mit dem PerioPolisher-System (Hawe Neos Dental, Biaggio Schweiz). Innerhalb von elf Wochen wurden sie an sechs Terminen in der jeweiligen Technik instruiert. Zwischen diesen Terminen mussten die Probanden jeweils zehn Zähne reinigen.

Beide Gruppen erreichten erhebliche Fortschritte in der Effektivität. Beide Verfahren waren gleich effektiv, aber bei schwieriger Morphologie der Wurzeloberfläche war die manuelle Technik überlegen.

In einer Anschlussstudie von RÜHLING ET AL. (2003) wurden diesmal zwei Gruppen von unerfahrenen Behandlern aufgestellt: Die erste Gruppe wurde zehn Wochen in die Technik der Reinigung mit Gracey-Küretten und im Anschluss eine Woche in die Technik des PerioPolisher-Systems eingewiesen, erlernte also erst die manuelle und danach die maschinelle Technik. Die zweite Gruppe erlernte zuerst in zehn Wochen das PerioPolisher-System und dann eine Woche lang die Reinigung mit Gracey-Küretten. Pro Woche erfolgten zwei Stunden Training. Im Anschluss reinigten alle Probanden je einen Patienten im Split-Mouth Design. Taschentiefe, Attachment Level und BOP wurden vor- und nachher gemessen. Alle Parameter verbesserten sich, BOP signifikant.

In einer Studie von KOCHER ET AL. (1997B) wurden erfahrene und unerfahrene Behandler miteinander verglichen. Es sollte festgestellt werden, ob die Reinigungseffektivität von der Behandlungsmethode beim Vergleich Küretten gegen modifizierte Schallscaler oder der Erfahrung des Behandler abhängt. Die maschinelle Methode erreichte eine höhere Effektivität in beiden Gruppen. Die unerfahrenen Behandler erreichten nicht die Effektivität der erfahrenen Behandler. Es wurde geschlussfolgert, dass der Behandlungserfolg von der Behandlerqualität und nicht von der Wahl des Instrumentes abhing.

Auch in einer weiteren Studie (KOCHER ET AL. 1997A) wurde im Vergleich zwischen erfahrenen und unerfahrenen Behandlern eine größere Effektivität bei der Reinigung mit Handinstrumenten festgestellt. Allerdings waren die erfahrenen Behandler nicht so geübt in den maschinellen Verfahren. Erfahrene und unerfahrene Behandler mussten jeweils sieben Zähne mit künstlichen Konkrementen mehrmals mit verschiedenen Methoden reinigen: mit Gracey-Küretten, mit dem Perioplaner-System, mit Schall- und mit Ultraschallscalern. Folgende Ergebnisse wurden zusammengefasst: Erfahrene Behandler benötigten mit allen Methoden mehr Zeit als unerfahrene. Die Handinstrumente waren effektiver im Reinigungsergebnis als die maschinellen Systeme. Unerfahrenen Behandler konnten ihre Behandlungsergebnisse nicht durch die Anwendung der maschinellen Methoden verbessern. Eine Studie untersuchte den Aspekt, ob das Erlernen von Scaling und Root Planing erfolgreicher

verläuft, wenn es zusätzlich visuell über einen Video-Support unterstützt wurde. Die Ergebnisse waren signifikant besser (BOTICELLI ET AL. 2005).

Autor/Jahr	Versuchsgruppe	Parameter	Ergebnisse
<i>Stassinakis et al. 1995</i>	Dental Hygienist, erfahrene Behandler, unerfahrene Behandler, sechs Zähne	Vergleich manueller und maschineller Systeme: Ermittlung der Reinigungseffektivität mit Handküretten und Schallsystem mit EVA-Kopf	Insgesamt schnitt das Schallsystem am schlechtesten ab, unerfahrene Behandler erreichten mit der maschinellen Methode ähnliche Ergebnisse wie die anderen Behandler mit Küretten.
<i>Kocher, et al. 1997a</i>	zehn erfahrene und zehn unerfahrene Behandler, sieben Zähne mit künstlichen Konkrementen	Vergleich manueller und maschineller Systeme: Handinstrumente, ein Perioplaner System, ein sonisches und ein Ultraschall System (piezoelektrisch). Verglichen wurden: Zeitaufwand, Substanzverlust und ungereinigte Restflächen.	Erfahrene Behandler reinigten signifikant besser als unerfahrene, unabhängig vom Instrumententyp. Beide Gruppen reinigten am besten mit Handinstrumenten. Beide Gruppen entfernten mehr Hartsubstanz mit Handinstrumenten als mit Perioplaner, erfahrene Behandler benötigten mehr Zeit.

Tab. 2: Literaturtabelle: Vergleich der Reinigungsmethoden bei unterschiedlichem Erfahrungsgrad der Behandler

Autor/Jahr	Versuchsgruppen	Versuchsparameter	Ergebnisse
<i>Kocher, T. Riedel, D. et al. 1997b</i>	erfahrene und unerfahrene Behandler, künstliche Zähne	Vergleich manueller und mechanischer Systeme: Küretten und Schall- getriebene Instrumente mit modifizierten Aufsätzen	30% < Zeitaufwand mit diamantierten Schallscalern. Erfahrene Behandler bearbeiteten mehr Wurzeloberfläche als unerfahrene Behandler. Behandlungsqualität steigerte sich mit zunehmender Behandlererfahrung.
<i>Rühling et al. 2002</i>	zwei Behandlergruppen mit jeweils elf untrainierten Personen	Während zehn Wochen wurden sechs Unterrichtseinheiten à zwei Stunden gehalten. Es wurden Gracey-Küretten und die PerioPolisher Methode verwendet. Das Ziel war ein Vergleich der Effektivität.	Ungeübte Behandler reinigten effektiver mit zunehmender Übung. Die Effektivität steigerte sich durch Training unabhängig von der Methode. Bei schwieriger Morphologie/ Zugänglichkeit arbeiteten maschinelle Instrumente signifikant weniger effektiv.
<i>Rühling et al. 2003</i>	zwei Behandlergruppen mit untrainierten Studenten	Gruppe 1 erlernte zehn Wochen die Behandlung mit Gracey-Küretten und eine Woche mit dem Perio- Polisher System, Gruppe 2 lernte eine Woche mit Gracey-Küretten und zehn Wochen mit dem PerioPolisher System. Jeder behandelte hinterher einen Patienten mit beiden Methoden. Sondierungstiefe, Attachmentlevel und BOP wurden verglichen.	In beiden Gruppen wurden ST und Attachmentlevel verbessert, BOP signifikant. Studenten, die ein systematisches Training erfahren hatten, waren in beiden Methoden erfolgreicher.

Tab. 2: Literaturtabelle: Vergleich der Reinigungsmethoden bei unterschiedlichem Erfahrungsgrad der Behandler

Autor/Jahr	Versuchsgruppen	Versuchsparameter	Ergebnisse
<i>Boticelli et al. 2005</i>	neun Gruppen mit Studenten, fünf experimentelle und vier Kontrollgruppen	Kontrollgruppe erhielt theoretische und praktische Einweisung, experimentelle Gruppe zusätzlich Zugang zu Video-Support	Studierende der experimentellen Gruppe arbeiteten signifikant besser, besonders die, die den Video-Support nutzten.

Tab. 2: Literaturliste: Vergleich der Reinigungsmethoden bei unterschiedlichem Erfahrungsgrad der Behandler

2.6 Resümee

Das Ziel einer effektiven Parodontaltherapie und unterstützenden Parodontaltherapie folgt einer systematischen Behandlungsplanung und -durchführung, wobei ein sehr wichtiger Bestandteil die Methodik des SRP und der Erfahrungsgrad der Behandler ist.

Heutzutage wird die maschinelle SRP, besonders mit Ultraschallgeräten mit speziell ausgewählten Aufsätzen, als vorteilhaft für Patienten und Behandler bewertet. Bei entsprechender Einweisung wurden mit der Ultraschall-Methode sehr gute Erfolge erzielt. In Vergleichsstudien behielten die Gracey-Küretten als „Goldstandard“ bislang jedoch ihre Berechtigung und erzielten hinsichtlich der Behandlungsqualität und der Effektivität oft gleichwertige Ergebnisse. Insofern wurde deutlich, dass der korrekten Anwendung der Geräte und Instrumente und der Erfahrung der Behandler eine große Bedeutung zukommt. Diese Zusammenhänge gilt es weiter zu verifizieren. Nur bei optimaler Anwendung der Techniken ist zu erwarten, dass die im In-vitro Versuch erzielten Ergebnisse in die Klinik übertragen werden können.

Vor dem Hintergrund der zunehmenden Nutzung maschineller Methoden in der zahnärztlichen Praxis, muss hinterfragt werden, ob die Ausbildung der Studierenden in SRP adäquat ist, damit sie ihre Kenntnisse auf aktuelle Systeme übertragen können. Weiterhin sollten maschinelle Systeme auch bei geringem Erfahrungsgrad des Behandlers akzeptable Ergebnisse erzielen. Die Literatur beantwortet diese Fragen unzureichend, zumal sich die maschinellen Techniken ständig weiterentwickeln. Schließlich lässt sich bislang zu wenig differenzieren, welchen Anteil Erfahrungsgrad und Sorgfalt des Behandlers gegenüber dem

Reinigungssystem und der Morphologie der Wurzeloberfläche haben und wie sie sich optimieren lassen.

2.7 Fragestellung

In dieser Arbeit sollte untersucht werden, ob die Anwendung drei verschiedener maschineller Methoden im Vergleich zur manuellen Methode beim SRP am In-vitro-Modell durch Studierende qualitative Unterschiede hinsichtlich Reinigungseffektivität und Oberflächenstruktur ergeben. Außerdem wurden die Probanden über ihre Einschätzung der verwendeten Methoden befragt.

Zusätzlich wurden die Ergebnisse von einer kleinen Gruppe ZMP mit derselben Methode und verglichen.

Die Nullhypothesen lauteten:

1. Die drei maschinellen Methoden sind der Kontrollgruppe in Form der manuellen Küretten hinsichtlich Reinigungseffektivität und Oberflächengüte gleichwertig.
2. Studierende der Zahnmedizin erzielen homogene Ergebnisse mit den vier getesteten Methoden hinsichtlich Reinigungseffektivität und Oberflächengüte.

3. Material und Methode

3.1 Geräte

3.1.1 Gracey-Küretten

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde der reduzierte Kürettensatz nach Gracey (Fa. Hu Friedy, Chicago, USA) benutzt. Da ausschließlich Molaren instrumentiert wurden, wurden die Küretten 7/8 (grau), 11/12 (rot) und 13/14 (blau) verwendet. Eine Ansicht dieser Instrumente ist auf der Abb. 1 zu sehen. Die Studierenden wurden angewiesen mit leichtem Anpressdruck von max. 2 N (FISCHER & FICKL 2001), zu arbeiten, so wie sie ihn auch am Patienten anwenden würden. Die Instrumente wurden bis zum Boden der Tasche eingeführt und dann tangential ziehend unter leichtem Druck bis zum Zahnhals geführt. Diese vertikalen Bewegungen wurden sukzessive, nebeneinander überlappend, die Zahnwurzel entlang ausgeführt, bis die gesamte Fläche instrumentiert war und der Anwender den Eindruck hatte, dass alle Konkremente entfernt seien. Der Reinigungserfolg durfte mittels einer PA-Sonde kontrolliert und gegebenenfalls nachgearbeitet werden.



Abb. 1: die Arbeitsenden der Gracey-Küretten, von links nach rechts: Kürette Nr. 7/8, 11/12, 13/14

3.1.2 Cavitron Jet Plus

Das Gerät Cavitron Jet Plus (Fa. Dentsply, York, USA), siehe Abb. 3a und b, ist ein Kombinationsgerät für Air Polishing und Ultraschallreinigung. In diesem Versuch wurde nur die Ultraschallreinigungsfunktion benutzt. Zur Vergleichbarkeit der Methoden wurde nur der gerade Aufsatz verwendet (FSI Slimline 30 K, gerade). Das Gerät wurde auf eine mittlere Leistungsfähigkeit eingestellt, so dass die Spitze des Leistungsreglers auf den zweiten grauen Punkt wies. Die Arbeitsspitze sollte parallel in den Sulkus eingeführt werden und die Zahnwurzel horizontal mit gleichmäßigen Zügen, in tangentialer Arbeitsweise, abgefahren werden (je nach Präferenz horizontal oder vertikal). Der Anpressdruck sollte nicht mehr als 1 N betragen (FLEMMING ET AL. 1998A).

Es wurde solange gereinigt, bis der Proband davon überzeugt war, dass die Wurzeloberfläche sauber sei. Als Spül- und Kühlmittel wurde Leitungswasser verwendet, per externe Wasserleitung zugeführt. Die Dosierung der Wasserzufuhr erfolgte über einen Regler, der am Griffanfang positioniert war und wurde so dosiert, dass der Behandler unter guter Sicht eine genügende Spülung erreichte.

Das Ultraschallgerät Cavitron Jet Plus verfügt über einen magnetostriktiven Antrieb. Dabei wird ein magnetisches Feld mit etwa 18.000 bis 40.000 Schwingungen pro Sekunde erzeugt. Die Schwingungen der Arbeitsspitze werden durch ein Lamellenbündel im Inneren des Handstückes erzeugt. Dieses vibriert durch das sich verändernde Magnetfeld. Diese Vibrationen werden auf das mit dem Lamellenbündel fest verbundenem Arbeitsende übertragen. Die daraus resultierende Bewegung der Arbeitsspitze ist elliptisch bis kreisrund.



Abb. 2: Ultraschallgerät Cavitron Jet Plus (2a) und Arbeitsspitze FSI Slimline (2b)

3.1.3 Symmetrie IQ 3000

Bei dem Symmetrie IQ 3000 Gerät (Fa. Hu Friedy, Chicago, USA), Abb. 3a und b, handelt es sich um ein tragbares Ultraschallgerät mit piezoelektrischem Antrieb. Sein Frequenzbereich liegt bei 28-32 kHz. Im Versuch wurde die Scalerspitze US 100 (Universal 100) eingesetzt, die eine gerade geformte Spitze darstellt. Das Handstück ist mit einer Glasfaserbeleuchtung ausgestattet, die das Arbeitsfeld ausleuchtet. Die Wasserzufuhr zur Kühlung erfolgt über eine externe Zuleitung, die direkt an das Leitungswassernetz anzuschliessen ist.

Die Schwingungen der Arbeitsspitze werden bei diesem Verfahren durch einen sich im Handstück befindenden Quarz erzeugt. Der Quarz wird mit einer Wechselspannung versorgt. Aufgrund der charakteristischen bipolaren Struktur von Quarzmolekülen kommt es wechselweise, je nach Polung der Spannung, zu einer Kontraktion oder Ausdehnung des Stoffes, der Oszillation. Diese Oszillationsbewegung wird auf das fest verbundene Arbeitsende des Handstückes übertragen. Bei diesem Modell wird die Spitze linear und horizontal parallel zur Wurzeloberfläche bewegt und schwingt mit einer Frequenz von 32.000 Bewegungen pro Sekunde.

Das Symmetrie IQ-Gerät wurde auf einer mittleren Leistungsstufe, der Stufe sechs, betrieben. Die Handhabung der Arbeitsspitze sollte, genauso wie schon beim

Cavitron Jet Plus-Gerät beschrieben, angewendet werden. Sie sollte also parallel zur Wurzeloberfläche in den Sulkus eingeführt und deren Oberfläche mit gleichmäßigen Zügen in tangentialer Arbeitsweise unter geringem Druck (1 N) abgefahren werden, bis der Behandler davon überzeugt war, dass die Oberfläche gereinigt sei.



Abb. 3: Ultraschallgerät Symmetrie IQ 3000 (3a) und Arbeitsspitze US 100 (3b)

3.1.4 Piezon Master 700

Das Piezon Master 700-Gerät (Fa. EMS, Nyon, Schweiz) besitzt zwei Handstücke, dargestellt in Abb. 4a und b. Für den Versuch wurde ausschließlich ein Handstück mit dem geraden Aufsatz PL3 verwendet. Dieses Gerät arbeitet mit einem piezoelektrischen Antrieb. Die Funktionsweise dieses Antriebes entspricht dem in Abschnitt 3.1.3 erklärten Prinzip. Das Handstück verfügt über eine Beleuchtung.

Das Gerät wurde bei mittlerer Leistungsfähigkeit betrieben, das bedeutet dass in der Anzeigeleiste sechs Punkte aufleuchteten. Als Spülmittel wurde Aqua dest. benutzt, welches über einen externen Tank (Füllmenge 500 ml) bereitgestellt wurde. Die Wasserzufuhr ist stufenlos regelbar, in der Anzeige leuchteten sieben Punkte für eine mittlere Wassermenge.

Die gerade Spitze sollte wiederum, wie bei 3.1.2 und 3.1.3 beschrieben, parallel in den Sulkus eingeführt werden. Die Wurzeloberfläche sollte in gleichmäßigen horizontalen Zügen systematisch, bei tangentialer Arbeitsweise mit einem Anpressdruck von etwa 1 N bis zur vollständigen Reinigung bearbeitet werden.



Abb. 4: Ultraschallgerät Piezon Master 700 (4a) und Arbeitsspitze PL 3, gerade (4b)

3.2 Versuchsablauf

In diesem Versuch mit 50 Studierenden der Zahnmedizin (ab dem zweiten klinischen Jahr) und drei ZMP sollten folgende Parameter bestimmt werden:

- a) Die Effektivität der Konkremententfernung, also die Wirksamkeit der drei maschinellen Geräte im Vergleich zum „Goldstandard“ der manuellen Reinigung mit Gracey-Küretten als Kontrollgruppe. Die Effektivität sollte anhand der Größe der verbliebenen, ungereinigten Restflächen im Verhältnis zur gesamten zu reinigenden Wurzeloberflächen bestimmt werden.
- b) Die aus der Reinigung resultierenden Oberflächenrauigkeiten bzw. Strukturen der Wurzeloberflächen.
- c) Die Bewertung der Probanden (Studierende und ZMP) der verschiedenen Verfahren anhand eines Fragebogens

In der Abb. 5 wird der systematische Versuchsablauf grafisch dargestellt.

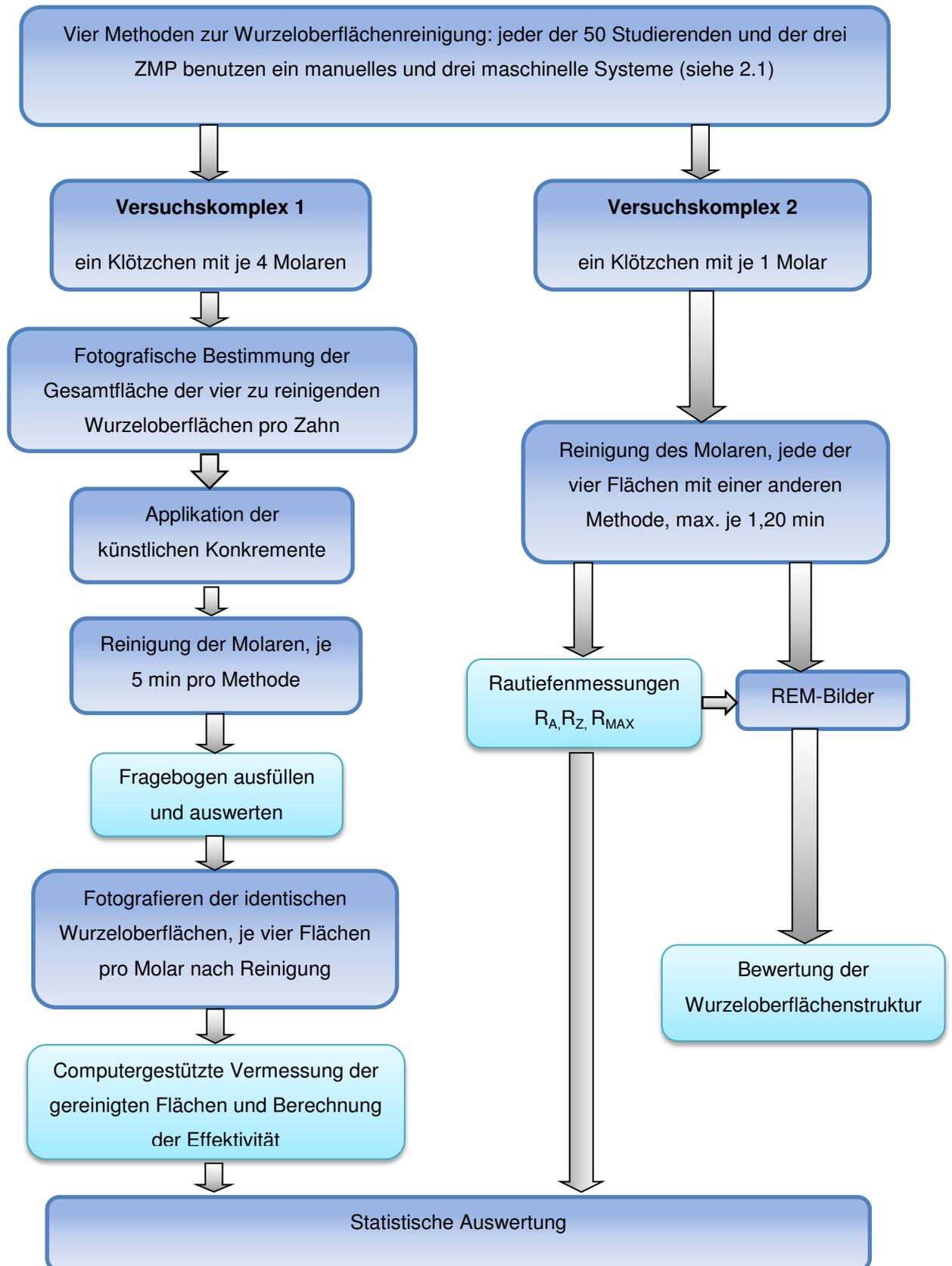


Abb. 5: Systematische Darstellung des Versuchsablaufes

3.2.1 Versuchsvorbereitung

Dieser Versuch wurde an 101 humanen, aus medizinischen Gründen extrahierten Molaren durchgeführt. Die Molaren wurden nach der Extraktion anfangs für 24 Stunden in 3,5% Formaldehydlösung und danach ununterbrochen in physiologischer Kochsalzlösung gelagert, nach der Herstellung der Klötzchen und zwischen den Versuchen. Sie wurden zufällig auf die Versuchsgruppen verteilt.

Der Versuch bestand aus zwei Teilen. Zur Auswertung der Effektivität im Versuchsteil eins wurden zuerst Blöcke aus Silikon, in denen eine Reihe von vier Molaren steckte, mit Simulation einer parodontalen Tasche hergestellt. Jeder Block enthielt vier natürliche, extrahierte Molaren deren Wurzeln mit künstlichen Konkrementen (roter Nagellack, Fa. Maybelline) bedeckt wurden. Die Zahnwurzel wurde bis zur Schmelz-/Zementgrenze mit Silikon bedeckt. Zur Nachahmung der Situation im Mund, wurden die Molaren in engem approximalen Kontakt nebeneinander angeordnet, so dass ein Approximalkontakt vorhanden war. Die Zähne wurden von eins bis vier durchnummeriert. Von diesen Versuchsblöcken wurden 13 Stück hergestellt (Abb. 6).



Abb. 6: Beispiel eines Silikonblockes mit vier nebeneinander positionierten natürlichen Molaren, Arbeitsgrundlage für die Versuchsdurchführung zur Ermittlung der Reinigungseffektivität.

Die Basis der Blöcke bestand aus einem Knetsilikon (blau, Fa. Eurosil „Max Putty Lab“, Fa. Henry Schein, Langen). Die Molaren wurden im Bereich der oberen 2/3 des Wurzelbereiches mit Tauchwachs (Fa. Bredent, Senden) in einer Schichtstärke von

0,5 mm ausgeblockt, das apikale 1/3 blieb unbedeckt. So vorbereitet wurden die Zähne in das Silikon, dessen Breite etwa zwei Zentimeter betrug, gesteckt, bis ca. 1 mm unterhalb der Schmelz-/Zementgrenze. Um den Bereich des Saumepithels nachzubilden, wurde der zervikale Bereich der Zähne mit einem weichbleibendem Silikon, einer sogenannten Zahnfleischmaske verfüllt („Gingifast elastic“, rosa, von der Fa. Zhermack, Badia Polesine, Italien). Der Anteil der klinischen Krone der Zähne lag frei. Das Knetsilikon bildete die stabile Ummantelung des weichen Zahnfleisch-Silikons.

Nach dem Aushärten des Silikons wurden die Molaren angehoben und die Wachsummantelung entfernt. Der Wachsmantel konnte im Ganzen abgeschält werden, anschließend wurden etwaige Reste mit einem Dampfstrahlgerät (Fa. AmannGirrbach, Pforzheim) entfernt, um eine gute Haftung des Nagellackes mit dem gesäuberten Wurzelbereich zu erreichen. Dann wurde der Nagellack zur Nachahmung der Konkrementen auf die gesamte Wurzeloberfläche aufgetragen und 15 min trocknen gelassen. Nach dem Trocknen des Lackes wurden die Molaren wieder in ihren Block eingebracht.

Um nach der Versuchsdurchführung die gereinigten Molaren fotografisch zu erfassen, wurden reproduzierbare Positionierungshilfen in Form von Silikonblöcken erstellt. Für diese wurden die jeweils vier zusammengehörenden Molaren einer Versuchsreihe aus ihrem Bearbeitungsblock entfernt und seitlich nebeneinander auf einem weiteren neu angefertigten Block gelagert, so, dass sich alle Wurzeloberflächen möglichst auf einem horizontalen Niveau befanden. Insgesamt wurden vier Positionierungsblöcke für je einen Bearbeitungsblock angefertigt auf denen alle vier Molaren platziert wurden: Einer für die bukkale, einer für die linguale, einer für die mesiale und einer für die distale Lagerung. In den Abbildungen 7 und 8 werden die Positionierungsblöcke für die fotografische Erfassung zum besseren Verständnis dargestellt. Es wurden für jede Versuchsreihe je vier Blöcke gefertigt. So konnten zügig und effektiv die Fotografien angefertigt werden, ohne dass zwischendurch allzu große Veränderungen der Abstandseinstellung der Kamera (siehe Seite 38) nötig waren. Sie wurde per Stativ zentral über den Objekten positioniert.

Die Herstellung von Silikonblöcken mit nebeneinander angeordneten Molaren und Simulation einer parodontalen Tasche basiert auf der Promotionsarbeit von Y. SCHULTZ (2005).



Abb. 7: Silikonblock zur seitlichen Lagerung der unbearbeiteten Molaren für die fotografische Erfassung der maximal zu reinigenden Fläche vor der Reinigung



Abb. 8: Silikonblock zur seitlichen Lagerung der bearbeiteten Molaren für die fotografische Erfassung der gereinigten Molaren nach der Reinigung

Für den zweiten Teil des Versuches, bei dem die nach der Reinigung resultierenden Rauigkeiten bestimmt werden sollten, wurden mit dem gleichen Verfahren Einzelklötzchen aus Silikon hergestellt (Abb. 9). Hier enthielt jeder Block nur einen Molar. Es wurde jede Zahnseite durchnummeriert. Jede Seite sollte mit einem anderen Verfahren in fester Reihenfolge bearbeitet werden. Von diesen Blöcken wurden für jeden Probanden einer hergestellt, also insgesamt 53 Stück. Auch hier

wurde als Basismaterial das oben beschriebene Knetsilikon verwendet und ebenfalls eine parodontale Tasche simuliert (wie beschrieben). Der Bereich des Saumepithels wurde mit dem Zahnfleischmaskenmaterial verfüllt.



Abb. 9: Silikonblock Einzelzahn

3.2.2 Versuchsdurchführung

Die 53 Probanden wurden in kleine Gruppen zu je vier Personen eingeteilt, sie nahmen freiwillig an dieser Aufgabe in ihrer Freizeit teil. Es ergaben sich 13 Gruppen mit Studierenden und abschließend eine Gruppe mit drei ZMP. Die Behandlungsgeräte wurden nebeneinander angeordnet und die Stationen von jeder Gruppe rotierend besucht. Zuerst wurde den Probanden der Zweck dieser Aufgaben erklärt. Sie erhielten dann eine genaue Einweisung in die zu benutzenden Geräte und Verfahren. Diese Einweisung enthielt sowohl technische Angaben und Verhaltensweisen zu den Geräten als auch eine Einweisung in die praktische Handhabung. Auf Nachfragen wurde jederzeit eingegangen und das Handling kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert.

Jeder Behandler erhielt zuerst je einen Block mit vier Molaren mit der Aufgabe jeden Zahn mit einem anderen Verfahren in einer festgelegten Reihenfolge innerhalb einer vorgegebenen Zeit zu reinigen (Tab. 3 und Abb. 10). Dabei war es den Behandlern nicht erlaubt, zwischendurch ihren Behandlungserfolg durch Entnahme der Zähne zu kontrollieren.

		Gracey-Küretten	Cavitron Jet Plus	Symmetrie IQ 3000	Piezon Master 700
Studierende	Effektivität	50 x 1 Molar	50 x 1 Molar	50 x 1 Molar	50 x 1 Molar
	Rauigkeit	50 x 1 Fläche	50 x 1 Fläche	50 x 1 Fläche	50 x 1 Fläche
ZMP	Effektivität	3 x 1 Molar	3 x 1 Molar	3 x 1 Molar	3 x 1 Molar
	Rauigkeit	3 x 1 Fläche	3 x 1 Fläche	3 x 1 Fläche	3 x 1 Fläche

Tab. 3: Darstellung der Versuchsgruppen



Abb. 10: Student beim Reinigen einer Wurzelfläche, Versuchsteil 1

In jedem der Versuchsblöcke wurde Zahn Nr. 1 mit Gracey-Küretten, Zahn Nr. 2 mit dem Cavitron Jet Plus-Gerät, Zahn Nr. 3 mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät und Zahn Nr. 4 mit dem Piezon Master 700-Gerät gereinigt. Die Maximaldauer der Reinigung betrug für jedes Gerät fünf Minuten. Jedem Probanden wurde freigestellt, eher die Reinigung zu beenden, wenn er der Meinung sei, dass er die Aufgabe erfüllt habe. In diesem Fall wurde die Zeit gestoppt. Die Molaren wurden für die Auswertung der Effektivität feucht gelagert und aufbewahrt. Direkt im Anschluss an die Reinigung der Zähne mit den verschiedenen Verfahren wurde den Behandlern ein Fragebogen zur Bearbeitung vorgelegt. Danach konnten die Behandler „ihre“

Zähne aus den Silikonformen entnehmen und ihre Reinigungsleistung beurteilen (freiwillig).

Zur Ermittlung der Daten für den zweiten Versuchsteil erhielt jeder Behandler einen Molar in einem Einzelblock (Tab. 3). Jede Seite sollte mit einem anderen Verfahren gereinigt werden. Seite eins mit Gracey-Küretten, Seite zwei mit dem Cavitron Jet Plus- Gerät, Seite drei mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät und Seite vier mit dem Piezon Master 700. Hier betrug die Maximaldauer der Reinigung 1,20 min je Seite und Methode. Diese Molaren wurden anschließend auf ihre Rauigkeitswerte untersucht.

Die Silikonklötzchen und die dazugehörigen Molaren zur Ermittlung der Reinigungseffektivität wurden mehrfach verwendet. Das bedeutet, dass sie nach der fotografischen Erfassung und Auswertung der Daten gereinigt, wiederum mit künstlichen Konkrementen beschickt, wieder in „ihre“ Silikonformen platziert und einer weiteren Behandlungsgruppe zur Verfügung gestellt wurden. Es wurden 13 Blöcke zur Ermittlung der Reinigungseffektivität hergestellt, daraus ergibt sich, dass jeder Block durchschnittlich viermal benutzt wurde. Die Silikonblöcke zur Ermittlung der Rauigkeit hingegen konnten nur einmal je Proband genutzt werden. Es wurden also 53 Stück davon hergestellt.

3.3 Versuchsauswertung

3.3.1. Auswertung der Reinigungseffektivität

Zur Auswertung der Reinigungseffektivität, wurde zu Beginn der gesamte Satz der Molaren mittels der Silikonblöcke (Abb. 7 und 8) fotografiert. Die Aufnahmen wurden mit einer Nikon D 700 Kamera, Medical Objektiv 120 mm und der Einstellung 1: 25, Blende 16, ½ Blitzleistung durchgeführt. Es wurde ein Stativ genutzt.

Von allen Molaren waren Einzelaufnahmen jeder Wurzelfläche vor der Reinigung erstellt worden (Abb. 11a). Diese ermöglichten die computergestützte Erfassung der Gesamtoberfläche der Wurzeloberflächen von jeder der vier Seiten. Die Aufnahmen wurden digital am PC bearbeitet, indem die Umrisse der zu reinigenden Flächen umfahren und die Konkremente (roter Nagellack) markiert wurden. Der Flächeninhalt wurde jeweils errechnet (Programm Image J 1.41o, freies aus dem Internet beziehbares Bildbe- und Verarbeitungsprogramm). Dieser Wert ergab die absolute Größe der zu reinigenden Wurzeloberflächen und wurde in einer Excel-Tabelle (Version 2010) gespeichert.

Nach der Reinigung wurden wiederum alle Wurzelflächen der Molaren mit dem oben beschriebenen Verfahren fotografiert (Abb. 11b). Die Reste der nicht gereinigten Flächen, wurden einzeln markiert, indem ihre Umrisse abgefahren wurden. Mit dem oben genannten Bildbearbeitungsprogramm wurde der Flächeninhalt aller einzeln markierten Flächen berechnet und summiert. Auch diese Werte wurden in den Excel-Tabellen dokumentiert, den anderen Werten gegenübergestellt und später statistisch ausgewertet.



Abb. 11: Beispiel einer Wurzeloberfläche eines Molaren vor- (11a) und nach der Reinigung (11b)

3.3.2. Auswertung der Oberflächenrauigkeit

Die Molaren der Einzelblöcke sollten nach ihrer Bearbeitung durch die Behandler hinsichtlich ihrer Rauigkeitswerte untersucht werden. Dabei wurde ebenfalls zwischen Studierenden und ZMP unterschieden. Hierzu wurden die Kenngrößen R_A , R_Z und R_{MAX} ermittelt nach EN ISO 4287, ASME B46.1. (WWW.DIN.DE).

Die Kenngrößen sind folgendermaßen definiert:

R_A beschreibt den Mittenrauwert. Das ist der arithmetische Mittelwert der Beträge aller Profilwerte des Rauheitsprofils.

$$R_A = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

R_Z beschreibt die Profiltiefe von zehn Einzelmeßstrecken. R_Z , die gemittelte Rautiefe, setzt sich als arithmetischer Mittelwert der Einzelrautiefen R_{zi} aufeinanderfolgender Einzelmeßstrecken zusammen. R_{zi} beschreibt die Einzelrautiefe und ist die Summe aus der Höhe der größten Profilspitze und der Tiefe des größten Profiltals des Rauheitsprofils innerhalb einer Einzelmeßstrecke.

$$R_Z = 1/n (R_{z1} + R_{z2} + \dots + R_{zn})$$

R_{MAX} steht für die maximale Rautiefe. Das ist die größte Einzelrautiefe innerhalb der Gesamtmeßstrecke.

Für die Ermittlung dieser Daten wurde ein taktiles Oberflächenmeßgerät zur Rauigkeitsbestimmung, ein Perthometer 58 P (Hersteller Mahr/ Perthen) benutzt.

Jeder Zahn wurde auf einem Block aus Knete fixiert und so positioniert, dass die Prüfspitze (Diamant) die zu prüfende Oberfläche längs der Zahnwurzel abtasten konnte, parallel zur Bearbeitungsrichtung. Die Taststrecke betrug 5,6 mm. Die zu vermessende Fläche wurde drei Mal mit konstanter Geschwindigkeit abgetastet und aus diesen Werten ein Mittelwert berechnet. Das Messgerät zeichnete dabei einen zweidimensionalen Profilschnitt auf, indem es die Oberflächenstrukturen als mechanische Auslenkung der Tastspitze erfasste und in digitale Werte umwandelte. Die Taststrecke von 5,6 mm wurde immer innerhalb der Bearbeitungsspur von 7 mm abgegriffen, um erhöhte Rauigkeiten durch den Wendepunkt der Arbeitsspitze nicht in die Messung mit eingehen zu lassen. Für jede Probe wurde ein eigenes

Meßprotokoll mit einem Profildiagramm und den diversen Kenngrößen ermittelt. Alle Werte wurden dokumentiert, statistisch ausgewertet und grafisch dargestellt. Für jede Kenngröße wurde eine eigene Abbildung angefertigt.

3.3.3. Rasterelektronenmikroskopie

Die Molaren, die ein besonders auffälliges Rauigkeitsprofil beim Ermitteln des Wertes R_{MAX} aufwiesen, wurden zusätzlich mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) untersucht und dokumentiert.

Um REM-Aufnahmen anfertigen zu können, wurde von dem zu untersuchenden Zahn zuerst eine Abformung mithilfe der zwei Phasen des Silikons „Silagum“ und „Honigum“ (DMG, Hamburg) als Doppelmischabdruck hergestellt. Nach Entfernung des Zahnes aus der Silikonform, wurde die Negativform mit einem Gießharz („Araldite CW 2215“ und Härter „HY 5161“, Vantico, Basel) aufgefüllt und danach sieben Tage ausgehärtet. Dieses Replikat wurde mit Leitsilber, beschichtet, auf einem Stiftprobenträger befestigt und mit einer Goldschicht, durch Sputter Coating (Sputter Coater, Watfordshire, GB) galvanisiert. So vorbereitet konnten die Proben im Rasterelektronenmikroskop DSM 940 der Fa. Zeiss (Oberkochen) inspiziert und fotografiert werden. Abzüge wurden in verschiedenen Vergrößerungen (50-500fach) erstellt, dokumentiert und abschließend katalogisiert. Von diesen Aufnahmen wurden solche mit relativ glatter Oberfläche als gute Oberflächenqualität und solche mit relativ rauer Oberfläche als extreme bzw. schlechte Oberflächenqualität ausgewählt und präsentiert.

3.4 Statistische Auswertung

Die Erfassung der Daten wurde mit dem Excel 2010 Kalkulationsprogramm von Microsoft Office ausgeführt. Dafür wurden die gemessenen Daten der Reinigungseffektivität vorbereitet und folgende Werte zusammengefasst: z.B. alle bukkalen und oralen Flächen zu „Glatflächen“ und alle mesialen und distalen Flächen zu „Approximalflächen“. Gleichzeitig erfolgte eine Plausibilitätskontrolle. Danach wurden die Werte statistisch berechnet.

Für die statistische Berechnung, SPSS/PC, Version 18.0 (IBM, New York, USA) der Reinigungseffektivitäten wurde das einfaktorielle ANOVA-Verfahren mit einer Korrektur nach Bonferroni/ Dunn ausgewählt. Der Signifikanzlevel α betrug 5%. Beim Vergleich der Glattflächen (Zusammenfassung der Werte der bukkalen und der lingualen Flächen) und der Approximalflächen (Zusammenfassung der mesialen und der distalen Flächen) wurde zur statistischen Berechnung ein T-Test verwendet. Für die Berechnung der Faktoren von Behandler, Gerät und Zahnfläche auf die Reinigung ist die 3-faktorielle ANOVA mit $\alpha = 0,05$ und $p < 0,0083$, für den Einfluss der Parameter Behandler und Gerät bezüglich der Rauigkeit ist die 2-faktorielle ANOVA berechnet worden. Ab einem p-Wert $< 0,05$ waren die Differenzen signifikant. Alle Ergebnisse wurden als Boxplot- Grafiken dargestellt.

3.5. Auswertung des Fragebogens

Die Probanden sollten in einem Fragebogen vier Fragen beantworten, (Mehrfachnennungen waren möglich):

- a) Welche der Methoden empfinde ich als angenehm?
- b) Sind 5 min Zeitaufwand je Zahn ausreichend? (wenn weniger Zeit benötigt wird, Zeit in Sekunden angeben)
- c) Welches Gerät/ Methode schätze ich als besonders effektiv ein?
- d) Für welches Gerät/ Methode würde ich mich entscheiden?

4. Ergebnisse

4.1 Einzelergebnisse hinsichtlich Reinigungseffektivitäten und Oberflächengüte

4.1.1 Gracey-Küretten

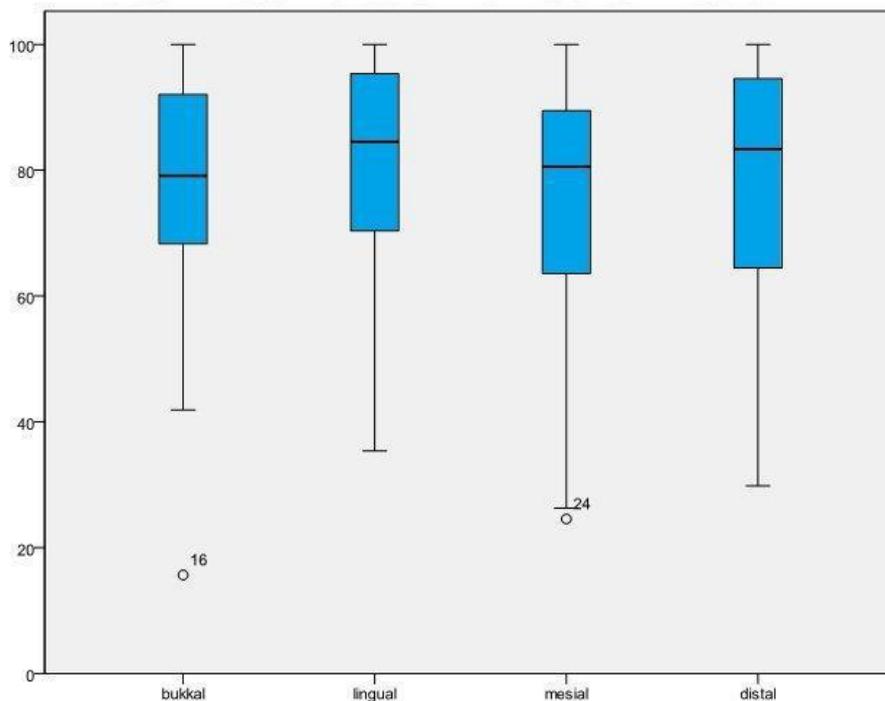


Abb. 12: Reinigungseffektivitäten der Studierenden mit den Gracey-Küretten in %

Die Reinigungseffektivitäten der Studierenden mit Gracey-Küretten stellte sich gleichmäßig auf einem Niveau von durchschnittlich 80-85% für alle Flächen dar (Abb. 12). Alle Seiten wurden ähnlich gut bearbeitet und unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Durchschnittswerte für bukkale und mesiale Flächen lagen etwas niedriger als die der lingualen und distalen Flächen, wobei die Standardabweichung mit +/- 20% zu erheblichen Schwankungen innerhalb der Flächen führte. Im schlechtesten Fall wurden nur durchschnittlich 40% der Fläche gereinigt.

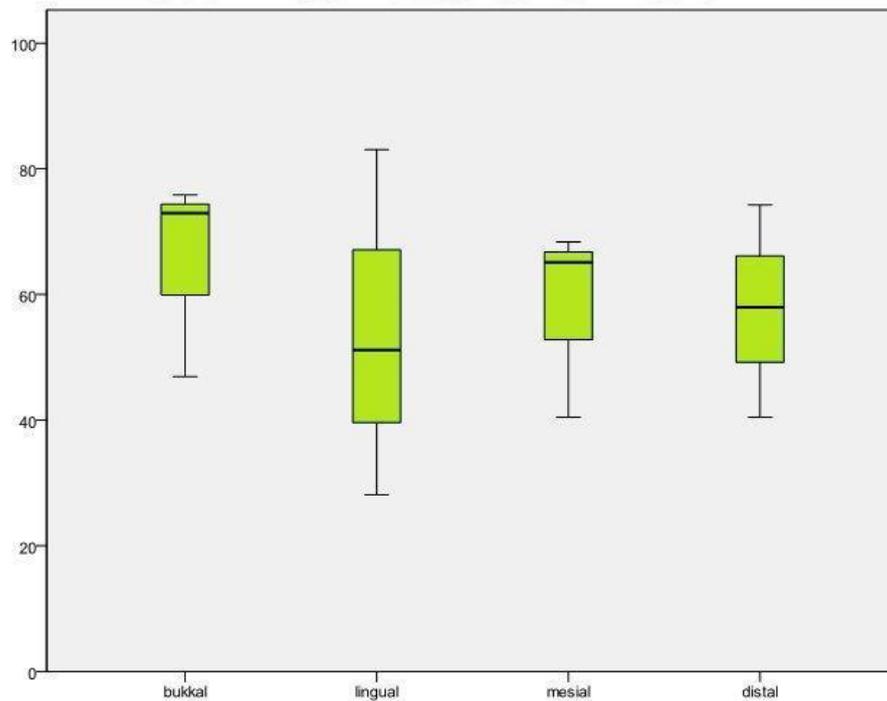


Abb. 13: Reinigungseffektivitäten der ZMP mit Gracey-Küretten in %

Die Reinigungseffektivitäten der ZMP mit den Gracey-Küretten war zum einen geringer als die der Studierenden und zum anderen schwankte sie stärker zwischen den Flächen, allerdings nicht signifikant (Abb. 13). Der niedrigste mittlere Wert betrug lingual etwas über 50%, bukkal der höchste mittlere Wert etwa 73%, mesial etwa 65% und distal etwa 55%. Das Mittel aller vier Flächen lag wenig über 60%. Für alle Seiten wurden gleichmäßige Ergebnisse erzielt, die sich nicht signifikant unterschieden.

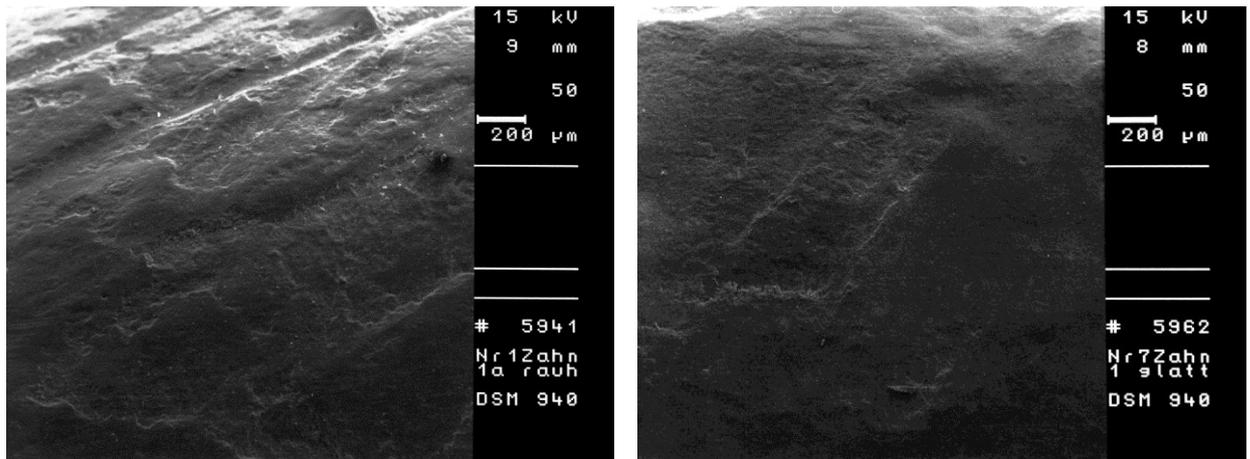


Abb. 14a und b : Darstellung einer Wurzeloberfläche nach Reinigung mit der Gracey-Kürette mittels REM (50fache Vergrößerung), mit relativ glatter (14a) und relativ rauer (14b) Oberflächenstruktur.

Bei der Messung der durchschnittlichen Rauigkeiten der Wurzeln nach der Bearbeitung mit Gracey-Küretten wurden durchschnittliche Werte von R_A 7,12 μm , R_z 25,6 μm und R_{MAX} 47,42 μm gemessen.

Die Abbildungen 14a und b verdeutlichen welche Oberflächenstrukturen die Gracey-Küretten auf den Wurzeloberflächen ideal (14a) und im Extremfall erzeugen können (14b). Dabei handelte es sich hier um Kratzer, Spuren und Wellen, die diagonal zur Arbeitsrichtung verliefen. Dies verdeutlichte, dass dasselbe Instrument, je nach Arbeitsweise unterschiedliche Oberflächenstrukturen verursachen konnten.

4.1.2 Cavitron Jet Plus

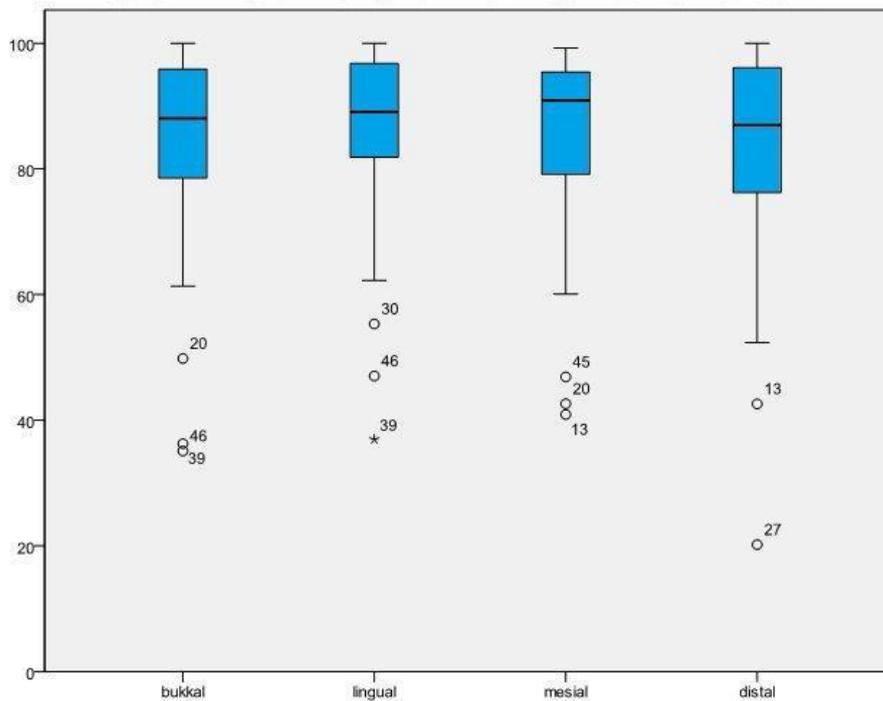


Abb. 15 : Reinigungseffektivitäten der Studierenden mit dem Cavitron Jet Plus Gerät in %

Die Reinigungseffektivitäten der Studierenden mit dem Cavitron Jet Plus-Gerät (Abb. 15) erschien gleichmäßig hoch: im Mittel lag sie bei 88% Konkremententfernung. Die Werte für die mesialen Flächen waren mit etwa 92% höher als distal (86%). Die Werte für die lingualen Flächen betrug ca. 88% und für die bukkalen Flächen etwa 96%. Alle Gruppen unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Obwohl die Standardabweichung mit +/- 22% relativ hoch war, lag das Niveau der niedrigsten Extremwerte höher als mit den Gracey-Küretten auf einem Niveau von ca. 60% Reinigungseffektivität.

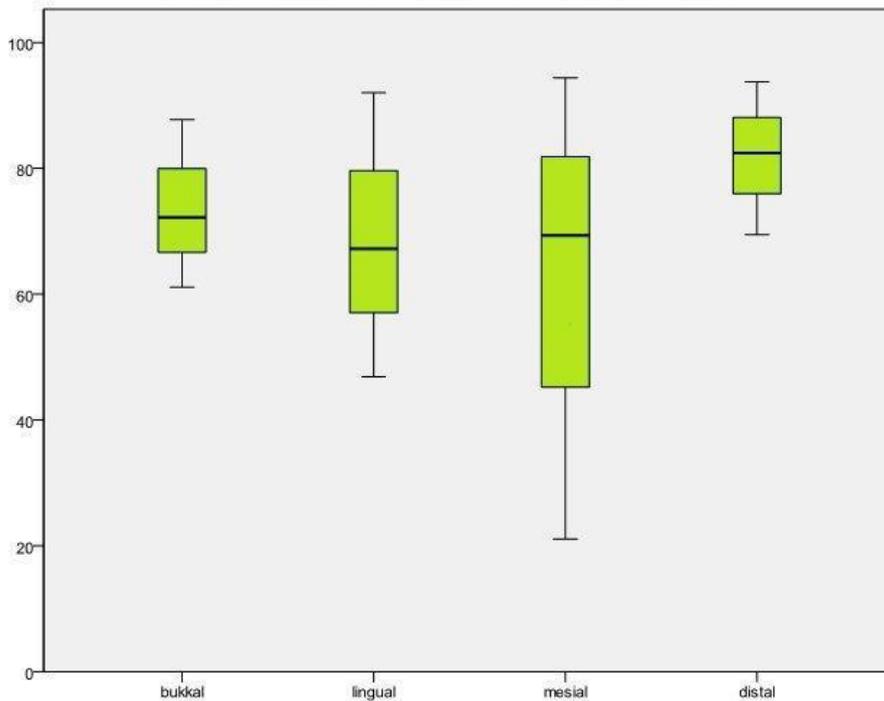


Abb. 16 : Reinigungseffektivitäten der ZMP mit dem Cavitron Jet Plus-Gerät in %

Bei dieser Methode erreichten die Studierenden bessere Ergebnisse als die ZMP (Abb. 16). Die Reinigungseffektivitäten der ZMP lag im Mittel etwa bei 74%, wobei alle Flächen gleich gut gereinigt wurden und sich nicht signifikant voneinander unterschieden. Die beste Reinigungseffektivität wurde an den distalen Flächen mit etwa 83% erreicht, es folgten die bukkalen Flächen mit etwa 72%, die mesialen mit ca. 70% und die lingualen mit etwa 68%. Die Standardabweichung war mesial am größten.

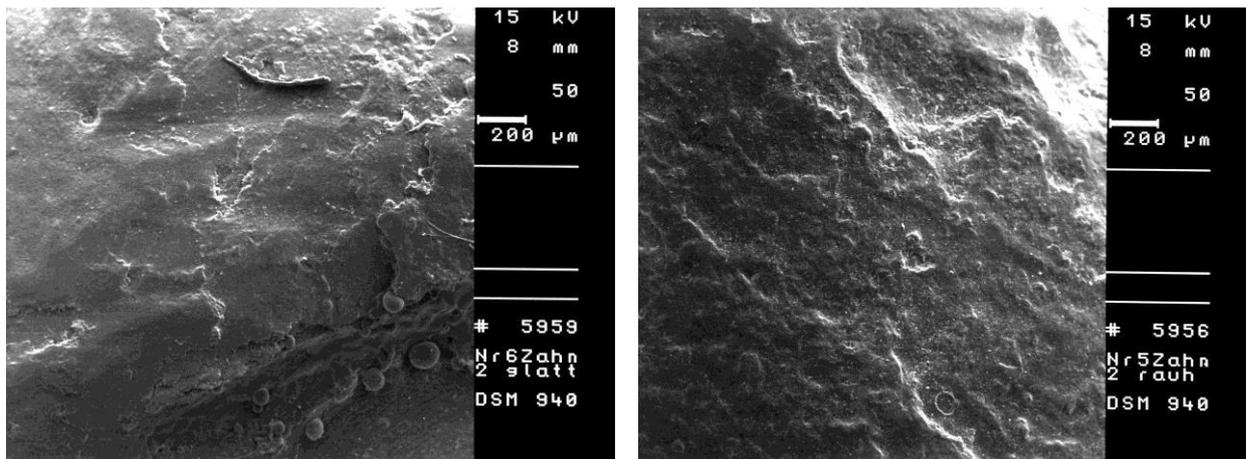


Abb. 17a und b: Darstellung einer Wurzeloberfläche nach Reinigung mit dem Cavitron Jet Plus Gerät mittels REM (50fache Vergrößerung) mit relativ glatter (17a) und relativ rauher (17b) Oberflächenstruktur

Die Rauigkeitsmessungen der Wurzeloberflächen nach Bearbeitung mit dem Cavitron Jet Plus-Gerät erzielten durchschnittliche Werte von R_A 8,6 μm , R_Z 29,7 μm und R_{MAX} 58,5 μm .

Die Abbildungen 17a und b zeigen, dass bei Inspektion bester (17a) und schlechtester Oberflächengüte (17b) alle Strukturen eine relativ hohe Rauigkeit mit zerklüfteten Strukturen aufweisen. Teile der Oberfläche waren schollenartig herausgebrochen. Im Gegensatz zur Gracey-Kürette schien das Handling darauf keinen Einfluss zu haben, da alle Oberflächen davon betroffen waren. Diese strukturellen Unterschiede waren unabhängig von den Werten der Rauigkeitskenngößen, die ähnlich ausfielen.

4.1.3 Symmetrie IQ 3000

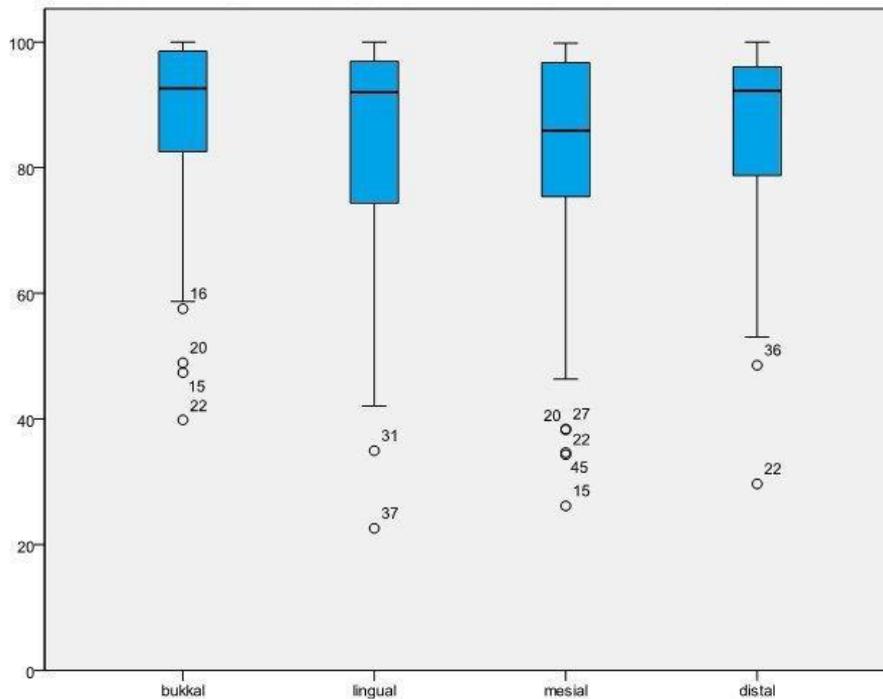


Abb. 18 : Reinigungseffektivitäten der Studierenden mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät in %

Die Werte der Reinigungseffektivitäten der Studierenden (Abb. 18) lagen mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät durchschnittlich bei etwa 91%. Zwischen den Flächen variierten die Werte nicht signifikant. Die niedrigste Effektivität wurde auf den mesialen Flächen mit 86% erzielt. Besser wurden die lingualen Flächen mit 92% sowie die bukkalen und distalen Flächen mit ähnlichem mittlerem Wert von 93% gereinigt. Die Standardabweichungen betragen mit durchschnittlich 18% und lagen niedriger als die der Gracey-Küretten und des Cavitron Jet Plus-Gerätes. Bei den niedrigsten Extremwerten wurden nur 40% (lingual) bis 60% (bukkal) gereinigt.

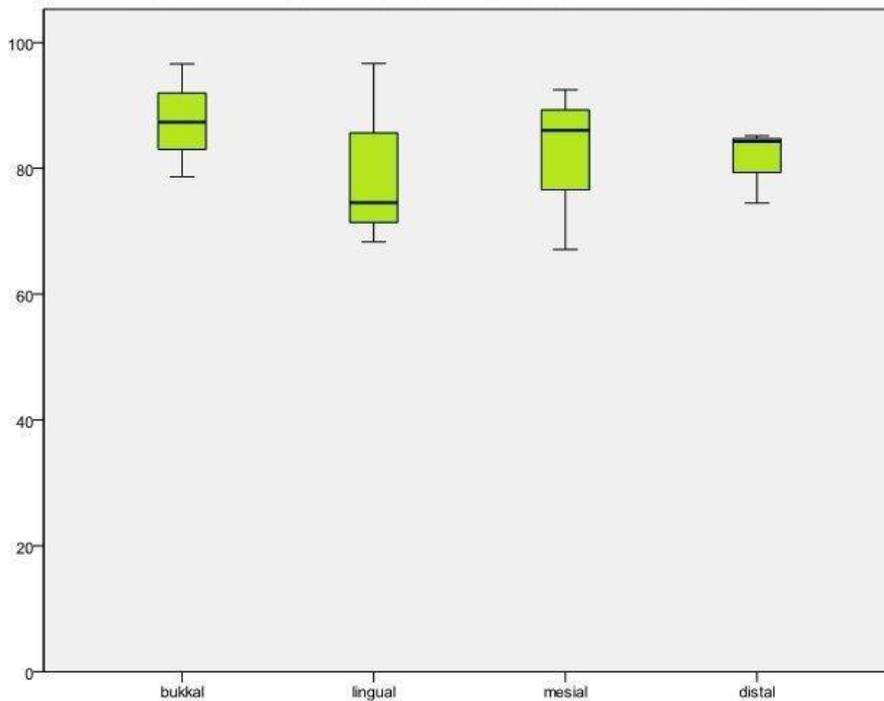


Abb. 19 : Reinigungseffektivitäten der ZMP mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät in %

Die Effektivitäten der ZMP (Abb. 19) betragen für die bukkalen Flächen durchschnittlich 87%, es folgten die mesialen Flächen mit einem Wert von ca. 86%, die distalen mit etwa 85% und dann die lingualen Flächen mit etwa 75%. Diese Werte zusammen ergaben eine durchschnittliche Reinigungseffektivität von ungefähr 83%, wobei sich die Gruppen nicht signifikant voneinander unterschieden. Die Streuung war gegenüber dem Cavitron Jet Plus-Gerät geringer und die Ergebnisse besser als die der Gracey-Küretten.

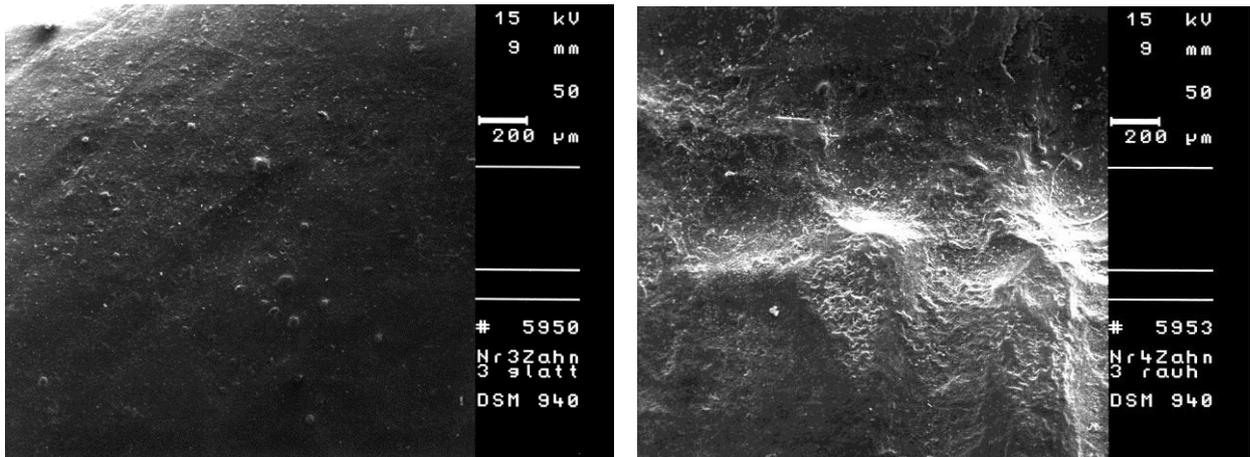


Abb. 20a und b: Darstellung einer Wurzeloberfläche nach Reinigung mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät mittels REM (50fache Vergrößerung) mit relativ glatter (20a) und relativ rauer (20b) Oberflächenstruktur.

Mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät wurden durchschnittliche Rauigkeitswerte von R_A 6,7 μm , R_z 23,3 μm und R_{MAX} 42,17 μm gemessen.

Die Abbildungen 20a und b verdeutlichen, dass mit dem Gerät sehr homogene Oberflächen mit nur leichten Wellen (20a) erzeugt werden können, aber auch zipfelige gröbere Wellenstrukturen mit wiederum poriger Mikrostruktur bei ungünstigen Bedingungen entstehen können (20b).

Die Oberflächengüte entspricht im Idealfall der Gracey-Kürette, kann aber auch zu größeren Strukturen führen, bei denen aber die Wurzeloberfläche nicht schollig herausgeschlagen wurde wie beim Cavitron Jet Plus-Gerät.

4.1.4 Piezon Master 700

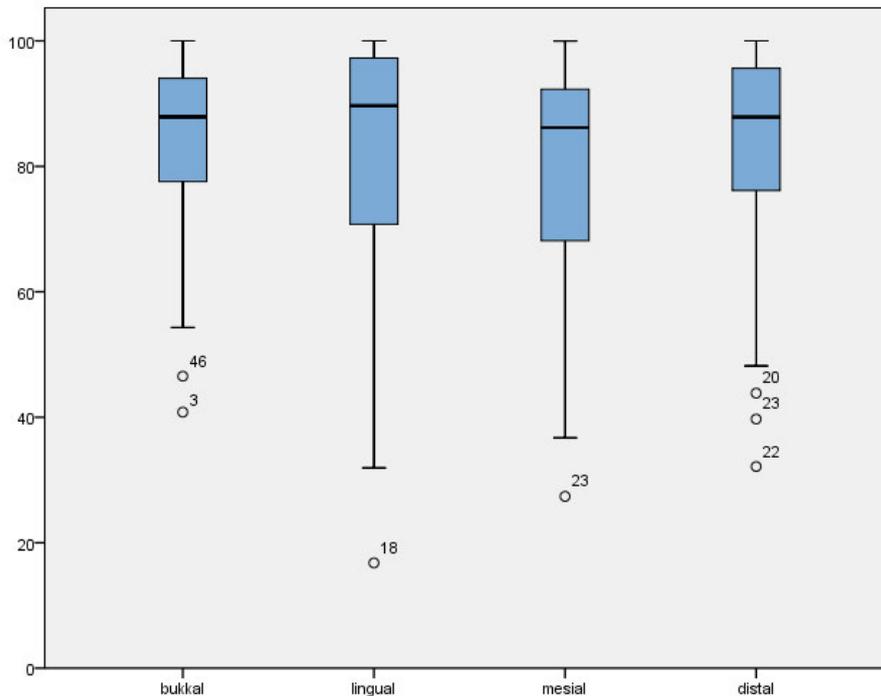


Abb. 21 : Reinigungseffektivitäten der Studierenden mit dem Piezon Master 700-Gerät in %

Die verschiedenen Zahnflächen wurden von den Studierenden mit dem Piezon Master 700-Gerät gleichmäßig und effektiv gereinigt (Abb. 21). Die Effektivitäten an den verschiedenen Flächen unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Lingual wurde eine durchschnittliche Effektivität von durchschnittlich 86%, bukkal und distal von ca. 88% und für die mesialen Flächen von ca. 90% erreicht. Alle Werte gemittelt ergaben einen durchschnittlichen Wert von 88%.

Die Standardabweichungen sind mit durchschnittlich 17% niedrig und entsprachen im Vergleich denen des Symmetrie IQ 3000-Gerätes und lagen unter denen des Cavitron Jet Plus-Gerätes und den Gracey-Küretten.

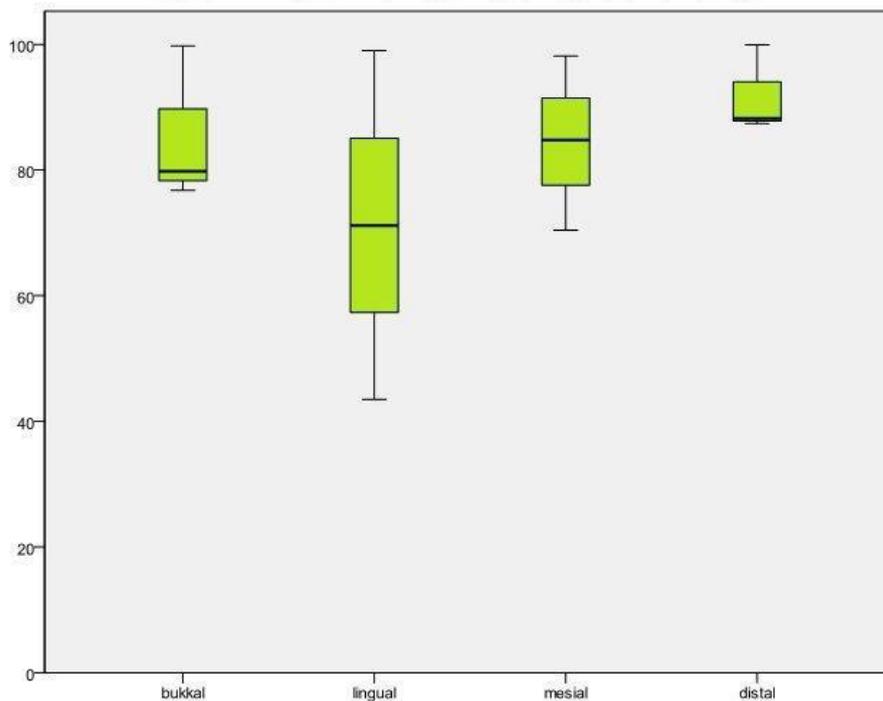


Abb. 22 : Reinigungseffektivitäten der ZMP mit dem Piezon Master 700-Gerät in %

Die Reinigungseffektivitäten der ZMP differierten, wenn auch nicht signifikant, zwischen den verschiedenen Wurzelflächen (Abb. 22). Die geringste Effektivität wurde lingual mit durchschnittlich 62% erreicht, für die bukkalen Flächen betrug der durchschnittliche Wert 80%, mesial ca. 85% und distal ca. 90%. Die mittlere Reinigungseffektivität betrug durchschnittlich 79%.

Die Effektivität war mit dem Piezon Master 700-Gerät bei den ZMP höher als mit den Gracey-Küretten und dem Cavitron Jet Plus-Gerät und ähnlich dem Symmetrie IQ 3000-Gerät. Gegenüber den Studierenden erreichten die ZMP die verschiedenen Flächen unterschiedlich gut.

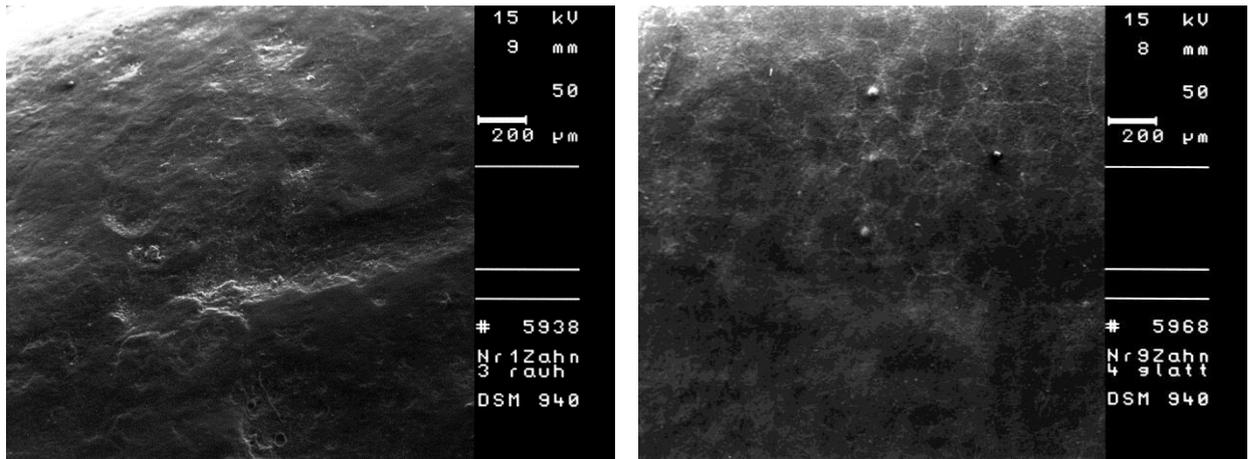


Abb. 23a und b: Darstellung einer Wurzeloberfläche nach Reinigung mit dem Piezon Master 700-Gerät mittels REM (50fache Vergrößerung) mit relativ glatter (23a) und relativ rauer (23b) Oberflächenstruktur

Mit dem Piezon Master 700-Gerät wurden durchschnittliche Rauigkeitswerte der Wurzeloberflächen für R_A von $9,5 \mu\text{m}$, R_Z $32,6 \mu\text{m}$ und R_{MAX} $60,3 \mu\text{m}$ gemessen.

Die Abbildungen 23a und b zeigen mit dem Piezon Master 700-Gerät gereinigte Wurzeloberflächen, die sehr glatt erscheinen konnten (23a) oder eine gewisse Rauigkeit mit makroskopischen Wellen und leichten Mulden besaßen (23b).

Die Oberflächengüte der besten Oberfläche entsprach der Gracey-Kürette, die der schlechteren Qualität zeigte leichtere Aussprengungen ähnlich dem Cavitron Jet Plus-Gerät, aber weniger tief. In Abhängigkeit vom Handling kann das Gerät eine sehr gute Oberflächenqualität liefern, aber auch Beschädigungen sind möglich, die jedoch geringer als die Extremstrukturen mit den übrigen beiden maschinellen Geräten waren.

4.2 Gesamtergebnisse der Reinigungseffektivitäten

4.2.1 Einfluss der Parameter: Behandler, Methoden und Zahnfläche

	Summe der Flächen	p-Wert
Behandler	3135,926	0,001 s
Methode	6962,565	< 0,0001 s
Zahnfläche	0,02	0,9934
Behandler x Methode	2869,323	0,0192 s
Behandler x Zahnfläche	118,174	0,5216
Methode x Zahnfläche	204,74	0,8703
Behandler x Methode x Zahnfläche	340,286	0,757

Tab. 4: Einfluss der Parameter: Behandler, Methode und Zahnfläche auf der Basis einer 3-faktoriellen ANOVA in % der Reinigung, $p < 0,05$

Die 3-faktorielle ANOVA gibt statistisch (Tab. 4) signifikante Differenzen bezogen auf die einzelnen Parameter und ihre Kombinationen an. In diesem Verfahren wurde kein Korrekturverfahren („Post-hoc-Test“) angewendet. Dabei wiesen die Parameter: „Behandler gegeneinander“ und „Methoden gegeneinander“ eine Signifikanz auf, ebenso die Parameter „Behandler“ und „Methoden“ gegeneinander. Die Kombinationen der übrigen Parameter ergaben keine statistisch signifikanten Differenzen.

Die Faktoren „Behandler“ und „Methode“ und ihre Kombination, übten einen größeren Einfluß auf das Testergebnis aus, als der Faktor „Zahnfläche“ oder eine der weiteren, möglichen Kombinationen.

4.2.2 Zusammenfassung der Ergebnisse der Reinigungseffektivitäten mit allen vier Methoden

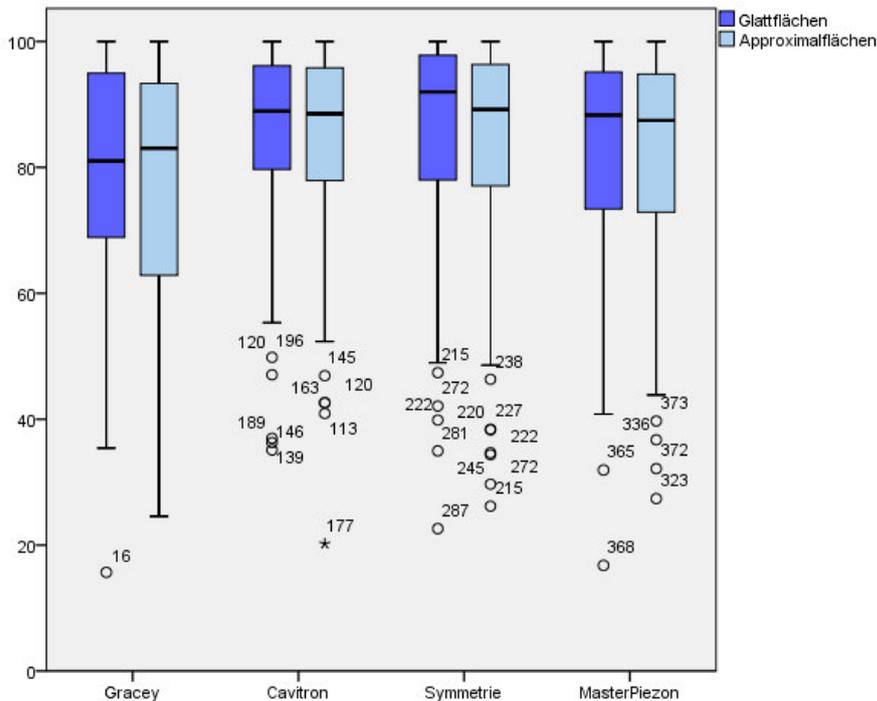


Abb. 24: Ergebnisse der Reinigungseffektivitäten der Studierenden mit allen vier Methoden im Vergleich in %

In Abbildung 24 sind die Werte der Effektivität aller vier Methoden bei den Studierenden zusammen dargestellt. Die vier Flächen wurden in zwei Gruppen zusammengefasst in: Glattflächen (bukkal und lingual) und Approximalflächen (mesial und distal). Die Reinigung der Glattflächen mit den Gracey-Küretten erzielte durchschnittlich eine Effektivität von 81%, das Cavitron Jet Plus-Gerät und Piezon Master 700-Gerät erreichten 90% und das Symmetrie IQ 3000-Gerät 93%. An den Approximalflächen wurde mit den Gracey-Küretten eine durchschnittliche Effektivität von 83%, mit dem Piezon Master 700-Gerät von 89%, dem Cavitron Jet Plus-Gerät von 90% und mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät von 91% ermittelt.

Die Glattflächen wurden mit der jeweiligen Methode maschinell tendenziell besser gereinigt als die Approximalflächen, bei den Gracey-Küretten war es Gegenteilig. Die

Reinigungseffektivitäten der Studierenden lagen mit allen Methoden auf hohem Niveau.

Statistischer Vergleich der Methoden gegeneinander bei den Studierenden			
Zu vergleichende Methoden	größte Differenz	p-Wert	
Cavitron Jet Plus - Gracey	7,034 %	< 0,0001	s
Cavitron Jet Plus - Piezon Master 700	2,178 %	0,1983	
Cavitron Jet Plus – Symmetrie IQ 3000	- 0,337 %	0,8421	
Gracey – Piezon Master 700	- 4,856 %	0,0042	s
Gracey – Symmetrie IQ 3000	- 7,371 %	< 0,0001	s
Piezon Master 700 -Symmetrie IQ 3000	- 2,515 %	0,1375	

Tab. 5: Statistischer Vergleich der Reinigungseffektivitäten durch die Studierenden in % mit allen vier Methoden gegeneinander (Zusammenfassung aller Flächen je Gerät). ANOVA mit Korrektur nach Bonferroni/ Dunn, Signifikanzlevel $\alpha = 0,05$, $p < 0,0083$.

Der statistische Vergleich der Effektivität der Anwendung der Methoden durch die Studierenden (Tab. 5) ergab, dass das Cavitron Jet Plus-, das Symmetrie IQ 3000- und das Piezon Master 700-Gerät signifikant besser abschnitten als die Gracey-Küretten. Dabei betragen die Differenzen der Mittelwerte vom Cavitron Jet Plus-Gerät 7,034%, vom Piezon Master 700-Gerät 4,856% und vom Symmetrie IQ 3000-Gerät 7,371% gegenüber den Gracey-Küretten. Die Werte keiner maschinellen Methode gegeneinander waren signifikant.

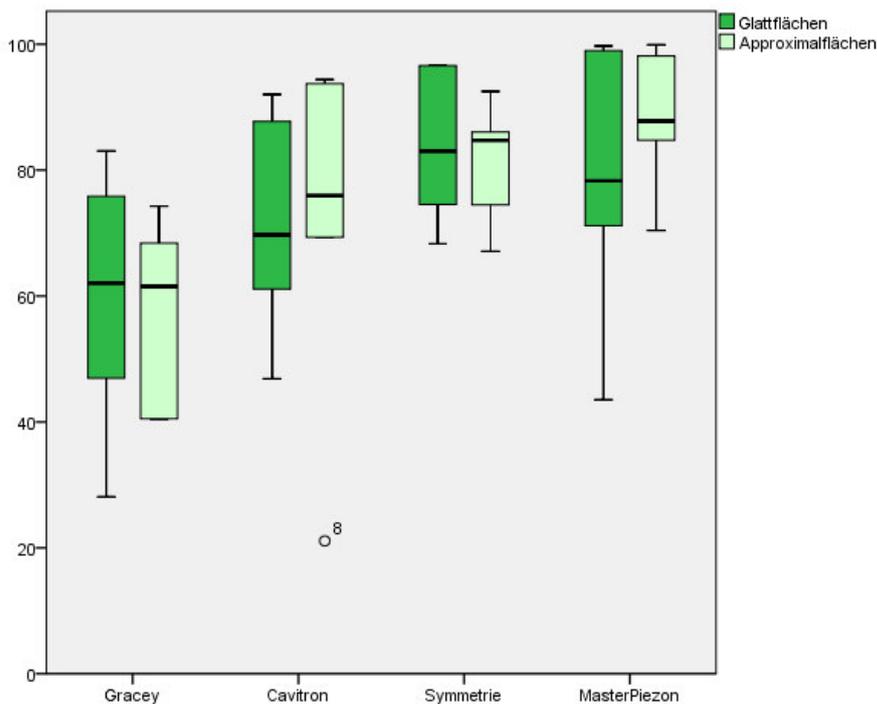


Abb. 25 : Ergebnisse der Reinigungseffektivitäten der ZMP mit allen vier Methoden im Vergleich in %

Die Grafik (Abb. 25) zeigt die Reinigungseffektivitäten der vier Methoden bei Anwendung durch die ZMP, wobei jeweils die beiden Glattflächen und Approximalflächen zusammengefasst wurden. Die Reinigungseffektivitäten der Approximalflächen waren bei den maschinellen Methoden jeweils größer als bei den Glattflächen. Lediglich bei den Gracey-Küretten wurden beide Flächen gleich gut gereinigt. Die Reinigungseffektivitäten der Glattflächen betragen mit den Gracey-Küretten im Durchschnitt 62%, mit dem Cavitron Jet Plus-Gerät ca. 70%, mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät ca. 83% und mit dem Piezon Master 700-Gerät ca. 79%. Die durchschnittlichen Effektivitätswerte der Approximalflächen lauteten: für Gracey-Küretten ca. 61%, für das Cavitron Jet Plus-Gerät ca. 77%, fürs Symmetrie IQ 3000-Gerät ca. 85% und für das Piezon Master 700-Gerät ca. 89%. Die Ergebnisse der Gracey-Küretten waren tendenziell schlechter, als die der maschinellen Systeme.

Statistischer Vergleich der Methoden gegeneinander bei den ZMP

zu vergleichende Methoden	größte Differenz der Mittelwerte	p- Wert
Cavitron Jet Plus - Gracey	12,742 %	0,0707
Cavitron Jet Plus - Piezon Master 700	-11,765 %	0,0943
Cavitron Jet Plus – Symmetrie IQ 3000	-11,172 %	0,1116
Gracey - Piezon Master 700	-24,507 %	0,0009 s
Gracey – Symmetrie IQ 3000	-23,914 %	0,0012 s
Piezon Master 700 -Symmetrie IQ 3000	0,593 %	0,9317

Tab. 6: Statistischer Vergleich der Reinigungseffektivitäten der ZMP in %, mit allen vier Methoden gegeneinander und allen Flächen zusammengefasst. ANOVA mit Korrektur nach Bonferroni/ Dunn, Signifikanzlevel $\alpha = 0,05$, $p < 0,0083$

Der statistische Vergleich der Reinigungseffektivitäten der ZMP (Tab. 6) ergab ein signifikant besseres Abschneiden vom Piezon Master 700-Gerät und Cavitron Jet Plus-Gerät gegenüber den Gracey-Küretten. Zwischen den Gracey-Küretten und dem Cavitron Jet Plus-Gerät war die Differenz nicht signifikant. Die Differenzwerte der Gracey-Küretten betragen 24,507% gegenüber dem Piezon Master 700-Gerät und 23,914% gegenüber dem Symmetrie IQ 3000-Gerät. Zwischen der Reinigungseffektivität der maschinellen Methoden bestanden bei den ZMP keine signifikanten Differenzen.

4.2.3 Vergleich der Reinigungseffektivitäten der Studierenden und ZMP mit vier Methoden für Approximalflächen

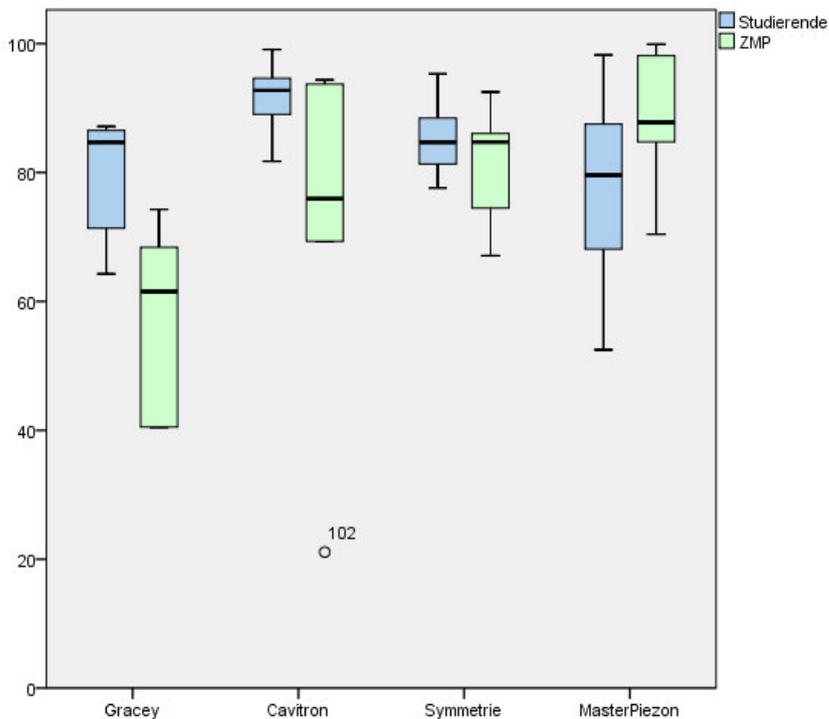


Abb. 26 : Gegenüberstellung der Reinigungseffektivitäten der Studierenden und der ZMP mit allen vier Methoden im Vergleich in %, für die Approximalflächen

Abbildung 26 stellt die durchschnittlichen Reinigungseffektivitäten der Studierenden und der ZMP für die Approximalflächen gegenüber. Die Studierenden reinigten Approximalflächen mit dem Cavitron Jet Plus-Gerät mit der besten Effektivität, erreichten aber auch mit den anderen drei Methoden einen hohen Level von ca. 80% Reinigungseffektivität. Die ZMP erzielten die beste Reinigungseffektivität der Approximalflächen mit dem Piezon Master 700-Gerät, die schlechteste mit Gracey-Küretten. Mit Gracey-Küretten und dem Cavitron Jet Plus-Gerät waren die Reinigungseffektivitäten bei den ZMP schlechter als bei den Studierenden. Dagegen erreichten die ZMP mit dem Piezon Master 700-Gerät bessere Ergebnisse als die Studierenden. Mit dem Cavitron Jet Plus-Gerät waren die Ergebnisse beider Gruppen für die Approximalflächen gleich. Bei den ZMP betrug die Effektivität mit Gracey-Küretten für Approximalflächen ca. 60%. Das war ein deutlich schwächeres Niveau als alle übrigen Gruppen.

Statistischer Vergleich, Studierende gegen ZMP, der Reinigungseffektivitäten (%) der Approximalflächen

Methode	größte Differenz der Mittelwerte	p- Wert
Gracey- Kürette	19,276 %	0,0209 s
Cavitron Jet Plus	12,293 %	0,0802
Symmetrie IQ 3000	2,407 %	0,7276
Piezon Master 700	-7,146 %	0,3296

Tab. 7: Statistischer Vergleich der Reinigungseffektivitäten für Approximalflächen in %, zwischen Studierenden und ZMP, mittels T-Test, Signifikanzlevel $\alpha= 0,05$, $p < 0,05$

Der statistische Vergleich mittels des T-Testes (Tab. 7) ergab für die Reinigungseffektivitäten zwischen Student und ZMP, nur auf die Approximalflächen bezogen, größere Differenzen für Gracey-Küretten und das Cavitron Jet Plus-Gerät. Die größten Unterschiede zwischen den Behandlergruppen wurden mit dem manuellen Verfahren erzielt, wobei die Differenz hier 19,276% betrug. Diese Abweichung war signifikant. Mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät wurden sehr ähnliche Werte erreicht. Bei der Anwendung von Gracey-Küretten, dem Cavitron Jet Plus-Gerät und dem Symmetrie IQ 3000-Gerät resultierten bei den Studierenden bessere Reinigungsergebnisse als für die ZMP, bei dem Piezon Master 700-Gerät erreichten die ZMP bessere Werte als die Studierenden.

4.2.4 Vergleich der Reinigungseffektivitäten der Studierenden und ZMP mit den vier Methoden für Glattflächen

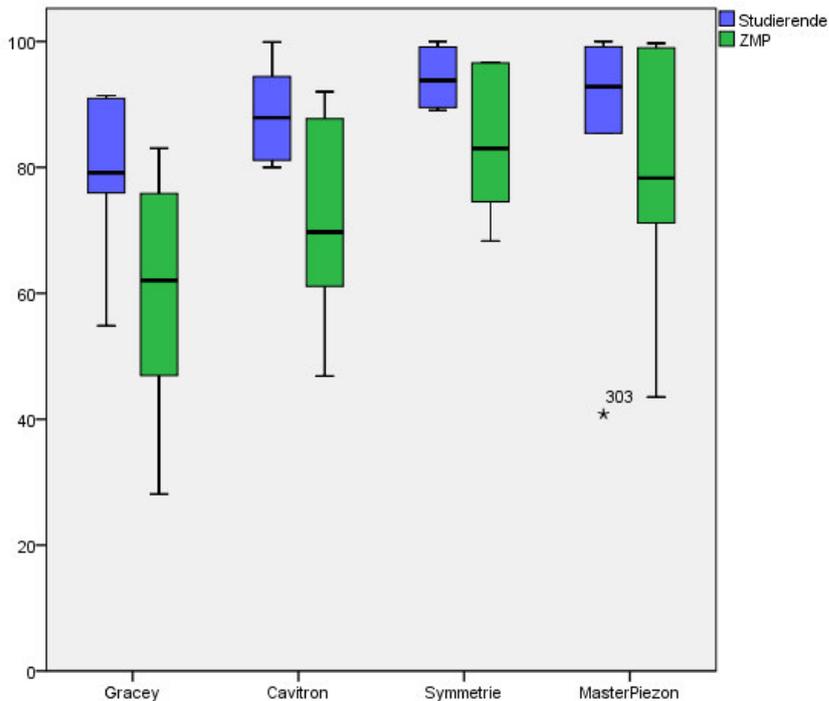


Abb. 27 : Gegenüberstellung der Reinigungseffektivitäten der Studierenden und der ZMP mit allen vier Methoden im Vergleich in %, für die Glattflächen

In der Abb. 27 werden die Ergebnisse der Reinigungseffektivitäten an den Glattflächen zwischen Studierenden und ZMP mit allen vier Methoden gegenübergestellt. Die Studierenden erbrachten die besten Reinigungseffektivitäten an Glattflächen mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät und dem Piezon Master 700-Gerät und die schlechtesten mit Gracey-Küretten, wobei die Effektivitäten ein hohes Niveau von 80-90% hatten. Die ZMP erreichten die besten Reinigungseffektivitäten mit Symmetrie IQ 3000-Gerät und die schlechtesten mit Gracey-Küretten, bei ihnen lag das Niveau zwischen 60-80% der Effektivität. An Glattflächen reinigten mit allen Methoden die ZMP schlechter als die Studierenden, wobei die größeren Diskrepanzen mit Gracey-Küretten und dem Cavitron Jet Plus-Gerät auffielen.

Statistischer Vergleich, Studierende gegen ZMP, der Reinigungseffektivitäten der Glattflächen in %

Methode	größte Differenz	p- Wert
Gracey- Kürette	18,32 %	0,0178 s
Cavitron Jet Plus	13,888 %	0,0281 s
Symmetrie IQ 3000	2,104 %	0,7595
Piezon Master 700	5,441 %	0,4241

Tab. 8: Statistischer Vergleich der Reinigungseffektivitäten für Glattflächen in %, zwischen Studierenden und ZMP, mittels T-Test, $\alpha = 0,05$, $p < 0,05$.

Der statistische Vergleich der Reinigungseffektivitäten der Glattflächen zwischen Studierenden und ZMP mittels des T-Testes (Tab. 8) zeigte signifikante Differenzen für die Gracey-Küretten mit 18,32% und das Cavitron Jet Plus-Gerät mit einer Differenz von 13,888%. Nicht signifikant waren die Werte für das Piezon Master 700-Gerät mit 5,441% und am geringsten war der Unterschied bei der Reinigung mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät (2,104%). Die Studierenden erreichten mit allen vier Methoden bessere Ergebnisse als die ZMP.

4.2.5 Vergleich der Reinigungseffektivitäten aller Flächen innerhalb der Studierendengruppe

Methode	Signifikante Abweichungen vom Mittel	Besser als das Mittel	Schlechter als das Mittel	Von den Schlechteren, Abweichung \geq 10 Stud.
Gracey- K�urette	16	6	10	3
Cavitron Jet Plus	32	26	6	3
Symmetrie IQ 3000	29	20	9	6
Piezon Master 700	4	2	2	0
Gesamt	81	54	27	12

Tab. 9 : Vergleich aller Teilnehmer der Studierendengruppe einzeln gegeneinander, ANOVA mit Korrektur nach Bonferroni/ Dunn

Die Homogenität der Reinigungseffektivitäten (in %) wurde innerhalb der Studierendengruppe geprüft (Tab. 9). Hierfür wurden alle bearbeiteten Zahnflächen pro Zahn und Methode für jeden Studierenden zusammengefasst und dann die Werte jedes einzelnen Studierenden den Werten aller anderen Studierenden gegenübergestellt. Dadurch wurde der Stand jedes Studierenden hinsichtlich seiner Behandlungsqualität in Bezug auf den Durchschnitt der Studiengruppe gebildet. Die Auswertung der Behandlungsqualität jedes Studierenden wurde einzeln durchgeführt. Für die Statistik wurde das ANOVA-Verfahren für jede Methode mit einer Korrektur nach Bonferroni/Dunn angewendet. Durch die Berechnung der Abweichung der Reinigungseffektivitäten jedes einzelnen Studierenden vom Mittelwert des jeweiligen Systems verdeutlicht, inwieweit die Qualität der Behandlung wie vieler Studierenden unter- oder überdurchschnittlich war.

Bei der Anwendung der Gracey-Küretten zeigten 16 der 50 Studierenden signifikante Abweichungen in der Reinigungseffektivität gegenüber dem Durchschnitt aller

Studierenden, wobei sechs Behandler bessere und zehn schlechtere Werte als der Durchschnitt erzielten. Von diesen zehn schlechteren Studierenden, ergaben sich für drei Studierende viel höhere Abweichungen, einer erreichte zehn Abweichungen, d.h. er war gegenüber zehn Studierenden signifikant schlechter, ein anderer Studierender gegenüber 13 Mitstreitern und in einem Fall erreichte ein Proband gegenüber 28 anderen signifikant schlechtere Reinigungsergebnisse.

Bei der Betrachtung der Werte des Cavitron Jet Plus-Gerätes fielen 32 signifikante Abweichungen auf, 26 waren besser, sechs schlechter als der Mittelwert. Von diesen sechs Abweichungen erzielten drei Probanden eine erhöhte Abweichung (signifikant schlechtere Ergebnisse) von je 17, 16 und 11 Fällen. Mit 32 von 50 signifikanten Differenzen der Behandlungsergebnisse zum Durchschnitt traten für das Cavitron Jet Plus-Gerät die meisten Abweichungen aller vier Methoden auf (positive und negative Abweichungen).

Bei dem Symmetrie IQ 3000-Gerät wurden bei 29 von 50 Studierenden signifikante Abweichungen vom Mittelwert ermittelt. 20 Studierende arbeiteten mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät signifikant besser und neun Studierende signifikant schlechter als der Durchschnitt. Für sechs Studierende wurden höhere Abweichungen (schlechtere Reinigungsergebnisse als das Mittel) im Vergleich zu mehr als zehn Mitstudierenden festgestellt. Die meisten Studierenden lagen mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät unter dem Durchschnitt, mehr als mit allen anderen Systemen.

Mit insgesamt nur vier signifikanten Abweichungen erreichte das Piezon Master 700-Gerät ein homogenes Ergebnis, zwei Studierende erreichten bessere Ergebnisse, zwei schlechtere als das Mittel. Bei keinem Studierenden fiel eine größere Abweichung auf.

4.3 Ergebnisse der Rauigkeiten

4.3.1 Vergleich der Mittenrauigkeiten R_A

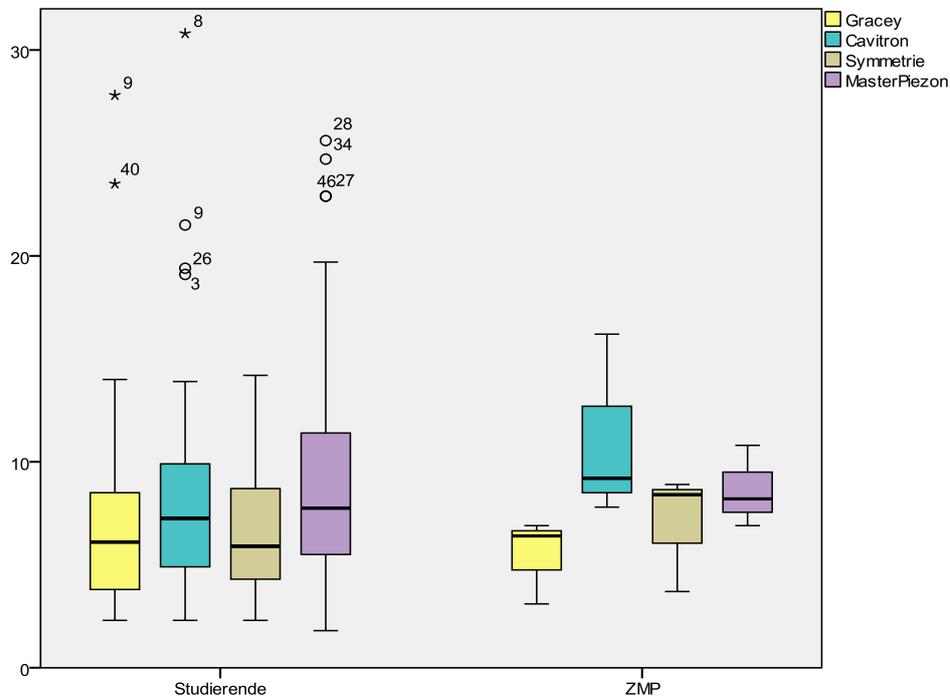


Abb. 28: Mittenrauigkeiten R_A in μm für alle Methoden bei Studierenden und ZMP, gegenübergestellt

Die R_A -Werte waren bei den Studierenden relativ homogen und die Durchschnittswerte lagen für die Gracey-Küretten und Symmetrie IQ 3000-Gerät am niedrigsten mit ca. $6 \mu\text{m}$ und für das Piezon Master 700-Gerät am größten mit etwa $8 \mu\text{m}$ (Abb. 28).

Bei den ZMP variierten die R_A -Werte stärker und die Durchschnittswerte waren für Gracey-Küretten mit etwa $6,5 \mu\text{m}$ am niedrigsten und für das Cavitron Jet Plus-Gerät mit etwa $9 \mu\text{m}$ am höchsten.

Zwischen den Behandlergruppen differierten die Ergebnisse für Cavitron Jet Plus-Gerät und Symmetrie IQ 3000-Gerät.

	Summe der Flächen	p-Wert
R_A / Behandler	0,008	0,9847
R_A / Methode	93,632	0,2526
R_A / Behandler x Methode	30,117	0,7238

Tab. 10: Einfluss der Parameter Behandler und Methode errechnet mit der 2-faktoriellen ANOVA, $\alpha = 0,05$, $p < 0,05$ ist signifikant

Die statistische Auswertungen der Parameter: „Behandler“ und „Methode“ (Tab. 10) sowie die Kombination aus beiden ergaben für R_A keine signifikanten Differenzen.

4.3.2 Vergleich der gemittelten Rautiefen R_Z

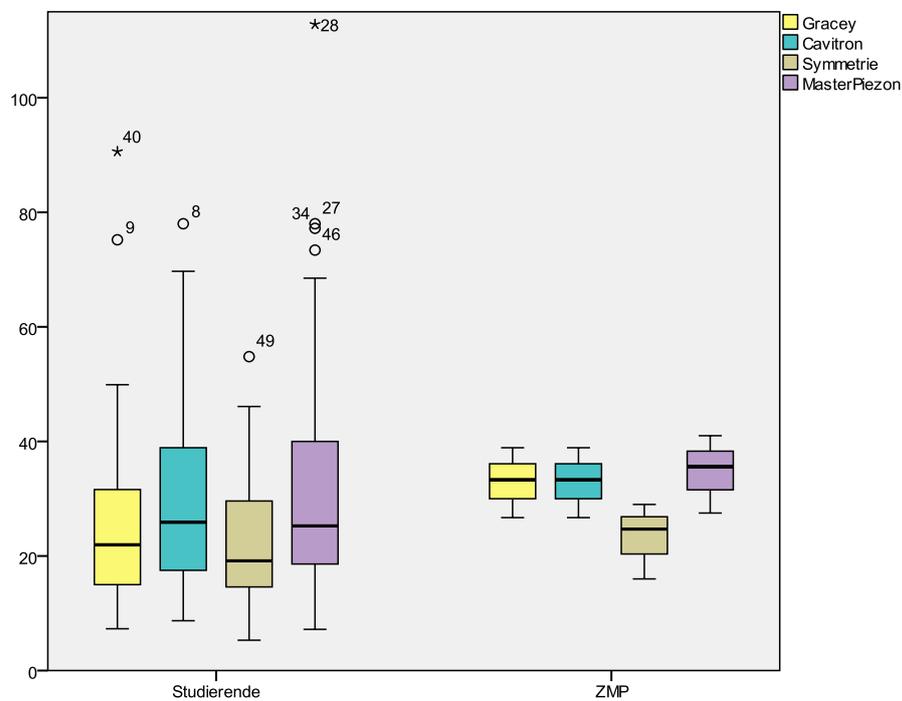


Abb. 29: Gemittelte Rautiefen R_Z in μm für alle Methoden bei Studierenden und ZMP gegenübergestellt

Die R_z -Werte waren bei den Studierenden relativ gleichmäßig. Die durchschnittlichen Werte für die Gracey-Küretten lagen bei ca. 22 μm , für das Cavitron Jet Plus-Gerät sowie das Piezon Master 700-Gerät bei ca. 26 μm und für das Symmetrie IQ 3000-Gerät bei ca. 19 μm . Die Werte waren mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät und den Gracey-Küretten am niedrigsten. Die ZMP erzielten mit allen Methoden außer dem Symmetrie IQ 3000-Gerät ein homogenes Ergebnis. Die durchschnittlichen Werte mit den Gracey-Küretten und dem Cavitron Jet Plus-Gerät lagen bei ca. 34 μm und für das Piezon Master 700-Gerät bei ca. 36 μm , während die Werte mit dem Symmetrie IQ 3000-Geräte am geringsten mit 25 μm waren. Die ZMP hatten außer mit dem Symmetrie IQ 3000-Gerät durchschnittlich höhere Werte als die Studierenden.

	Summe der Flächen	p-Wert
R_z / Behandler	1,13	0,9483
R_z / Methode	1058,768	0,2699
R_z / Behandler x Methode	181,041	0,8788

Tab. 11: Einfluss der Parameter Behandler und Methode errechnet mit der 2-faktoriellen ANOVA, $\alpha = 0,05$, $p < 0,05$ ist signifikant

Die statistischen Auswertungen der Parameter: „Behandler“ und „Methode“ (Tab. 11) sowie die Kombination der beiden ergaben für R_z keine signifikanten Differenzen.

4.3.3 Vergleich der maximalen Rautiefen R_{MAX}

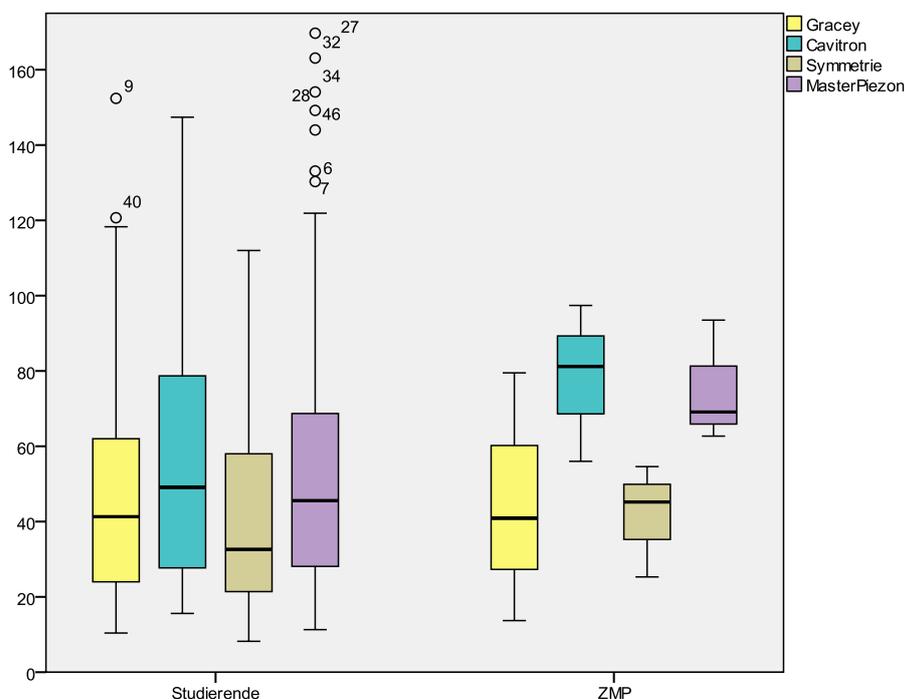


Abb. 30: Maximale Rautiefen R_{MAX} in μm für alle Methoden bei Studierenden und ZMP gegenübergestellt

Die durchschnittlichen R_{MAX} Werte der Studierenden (Abb. 30) waren homogen: Das Cavitron Jet Plus-Gerät mit ca. $50 \mu\text{m}$ und das Piezon Master 700-Gerät mit etwa ca. $42 \mu\text{m}$ erreichten durchschnittlich höhere Werte als die Gracey-Küretten mit ca. $42 \mu\text{m}$ und das Symmetrie IQ 3000-Gerät mit ca. $30 \mu\text{m}$. Die Werte der ZMP differierten stark. Die geringsten Rauigkeiten wurden hier mit den Gracey-Küretten ca. $40 \mu\text{m}$ und dem Symmetrie IQ 3000-Gerät ca. $43 \mu\text{m}$ gemessen. Mit durchschnittlich $80 \mu\text{m}$ mit dem Cavitron Jet Plus-Gerät und ca. $68 \mu\text{m}$ mit dem Piezon Master 700-Gerät wurden die höchsten Werte gefunden.

	Summe der Flächen	p-Wert
R_{MAX} / Behandler	779,605	0,4185
R_{MAX} / Methode	6328,448	0,1525
R_{MAX} / Behandler x Methode	1177,823	0,803

Tab. 12: Einfluss der Parameter Behandler und Methode berechnet mit der 2-faktoriellen ANOVA, $\alpha = 0,05$, $p < 0,05$ ist signifikant

Die statistischen Auswertungen der Parameter „Behandler“ und „Methode“ (Tab. 12) sowie die Kombination aus beiden ergaben für R_{MAX} keine signifikanten Differenzen.

4.4 Ergebnisse des Fragebogens

	Welche der Methoden empfinde ich als angenehm?	Welche der Methoden schätze ich als besonders effektiv ein?	Für welche Methode würde ich mich entscheiden?
Gracey- Kürette	5 Stud.	15 Stud.	2 Stud.
Cavitron Jet Plus	20 Stud.	19 Stud./ 3 ZMP	19 Stud.
Symmetrie IQ 3000	11 Stud./ 1 ZMP	8 Stud.	15 Stud./ 1 ZMP
Piezon Master 700	14 Stud./ 2 ZMP	9 Stud.	14 Stud./ 2 ZMP

Tab. 13: Zusammenfassung der Ergebnisse des Fragebogens für Studierende und ZMP

Die Studierenden empfanden das Arbeiten mit den Ultraschallgeräten mit großer Mehrheit als angenehmer und einfacher als das Arbeiten mit den Handinstrumenten (Tab. 13). Die Entscheidung für nur eine Methode fiel ihnen nicht immer leicht, häufig hätten sie sich eine Mehrfachnennung gewünscht.

Für das Cavitron Jet Plus-Gerät entschieden sich die Mehrheit der Studierenden (20 Nennungen), es folgen mit 14 Nennungen das Piezon Master 700-Gerät und mit elf Nennungen das Symmetrie IQ 3000-Gerät. Die wenigsten entschieden sich für die Gracey-Küretten.

Auf die Frage, ob die Zeit ausreichend sei, antworteten die Studenten mehrheitlich positiv. Einige hätten sich mehr Zeit für die Bearbeitung mit den Handinstrumenten gewünscht. Häufig beendeten sie die Aufgabe bei Benutzung der Ultraschallgeräte vorzeitig. Einer der Probanden beendete seine Aufgabe nach zwei minütiger Bearbeitungsdauer (mit einer maschinellen Methode).

Auf die Frage nach der Einschätzung der Erwartung der erreichten Effektivität veränderte sich die Bewertung der Studierenden. 15 Probanden bewerteten die manuelle Methode als effektiv, 19 Personen nannten das Cavitron Jet Plus-Gerät, acht Personen das Symmetrie IQ 3000 und neun das Piezon Master 700-Gerät.

Die abschließende Frage stellte die Probanden vor die Entscheidung, für welche der erprobten Geräte oder Methoden sie sich in ihrem Berufsleben entscheiden würden, (den Studierenden waren die Anschaffungskosten nicht bekannt). Auch hier musste eine Entscheidung getroffen werden. Zwei Studierende entschieden sich für eine Nutzung der Gracey-Küretten, 19 Studierende für das Cavitron Jet Plus-Gerät, 15 für Symmetrie IQ 3000 und 14 für das Piezon Master 700-Gerät.

Die ZMP präferierten die maschinellen Methoden, eine entschied sich für das Symmetrie IQ 3000-Gerät, zwei Helferinnen für das Piezon Master 700.

Eine besonders hohe Effektivität wurde dem Cavitron Jet Plus-Gerät von den ZMP zugetraut. Bei der Auswahl einer Methode entschied sich eine ZMP für das Symmetrie IQ 3000-Gerät und die beiden anderen für das Piezon Master 700. Keine entschied sich für eine alleinige Anwendung von Gracey-Küretten.

5. Diskussion

5.1 Methodenkritik

Das Versuchsdesign, das sich bereits in früheren Untersuchungen bewährt hat, wurde übernommen (Y.SCHULTZ 2005). Es hatte die Anforderung parodontale Taschen so nachzubilden, dass sie ohne Sicht instrumentiert werden konnten. Dabei formten die benachbart stehenden Molaren ebenfalls Zwischenräume, die schwerer zugänglich waren als die Wurzelanteile der Glattflächen. Aus diesem Grund wurden bei der Auswertung Glatt- und Approximallflächen unterschieden. Das Modell wurde allerdings nicht in einem Phantomkopf, sondern frei zugänglich bearbeitet. Dadurch war die Zugänglichkeit erheblich leichter und es sind bessere Ergebnisse zu erwarten als unter In-vivo Bedingungen. Im Mund spielen weitere Faktoren wie die Mundöffnung, Blutung aus der Tasche und Speichel eine Rolle, die in dem Versuchsdesign nicht berücksichtigt wurden. Vor diesem Hintergrund wäre eine weitere Qualitätsbewertung der Studierenden bei ihren klinischen Arbeiten sinnvoll.

Die Zugänglichkeit der Taschen wurde von der Stärke der auszublockenden Wachsschicht bestimmt und war in Vorversuchen so eingestellt worden, dass sich die Gracey-Küretten gut einführen ließen. Die Konkremente, die der Zahnwurzel normalerweise nur regional aufgelagert sind, wurden in der Untersuchung durch Nagellack simuliert. Dabei bedeckte der Nagellack die Wurzeloberfläche flächig, um die Instrumentierung der gesamten Wurzeloberfläche messen zu können. Die Haftfestigkeit des Mediums zur Konkrementsimulation stellte sich in einer früheren Untersuchung als Problem dar: Die für solche Übungen angebotenen künstlichen Konkremente (Fa. KaVo, Biberach) hafteten zu stark, d.h. stärker als die natürlichen Konkremente, dieses beanstandeten auch SCHMAGE ET. AL. in ihren Untersuchungen (2011) . Aus diesem Grund wurden in der genannten Arbeit die Versuche mit Biofilm aus wasserfester Farbe wiederholt. Als Konsequenz wurde die vorliegende Arbeit mit Nagellack zur Konkrementsimulation ausgeführt. Nagellack wurde bereits in früheren Arbeiten anderer Autoren angewendet (PURUCKER ET AL. 2002).

Zu bedenken ist, dass mehrere Modelle hergestellt wurden, damit die Studierenden parallel arbeiten konnten. Diese beinhalteten unterschiedlich geformte Molaren, so

dass auch Differenzen im Ergebnis aufgrund der Unterschiedlichkeit der Versuchszähne zu berücksichtigen sind.

Des Weiteren wurde der Parameter Effektivität anhand der Reinigungsqualität evaluiert, was ein übliches Verfahren bei solchen Untersuchungen ist (BUSSLINGER ET AL. 2001, JEPSEN ET AL. 2004). Die Beurteilung der gereinigten Fläche ist nur möglich, wenn die Zähne nach der Reinigung entnommen werden können, weshalb das In-vitro-Design gewählt wurde. Studien, bei denen extraktionswürdige Zähne noch In-vivo gereinigt und danach entfernt wurden, sind aus ethischen Gründen schwer durchführbar, würden aber die Situation am besten wiedergeben (RÜHLING ET AL. 2005). Ein anderer interessanter Aspekt ist der Heilungserfolg durch die Reinigung, der nur klinisch beurteilbar ist und der in vielen Studien geprüft wird (CROFT ET AL. 2003, TUNKEL ET AL. 2002, GÜNTSCH ET AL. 2006). Demzufolge sollten die präferierten Systeme danach auch In-vivo beurteilt werden.

Die Anzahl der Zähne, die jeder Student mit jedem System reinigen durfte, wurde begrenzt, da die Auswertung mit vier Zahnflächen ausreichendes Datenmaterial lieferte. Zu erwarten wäre jedoch ein Übungseffekt und noch bessere Ergebnisse mit den bis dahin den Studierenden unbekannt Systemen, wenn die Studierenden mehr Zähne mit demselben System reinigen dürften (RÜHLING ET AL. 2002 UND 2003).

Als Versuchszähne wurden Molaren gewählt, weil sie am schwierigsten zu reinigen sind. Wenn sich die Systeme dafür bewährten, wären sie auch an Frontzähnen und Prämolaren einsetzbar.

Die Auswertung der Effektivität erfolgt händisch durch Subtraktion der noch verunreinigten Flächen von der maximal zu reinigenden Fläche. Die verbliebenden Verunreinigungen, sowie der Umriss der Gesamtfläche wurden vom Untersucher markiert, um die Plausibilität zu gewährleisten und die Fehler einer rein computergestützten Auswertung zu umgehen. Diese Methode hatte sich in früheren Studien bewährt (SCHULTZ 2005, SCHMAGE 2011). Künftig sollte eine Umstellung auf eine computergestützte Auswertungsmöglichkeit erfolgen.

Glatflächen wurden aus den Wurzeloberflächen von Bukkal- und Oralflächen summiert und Approximalflächen aus Wurzeloberflächen von Mesial- und Distalflächen zusammengefasst, da ihre Unterscheidung für das Modell nicht

relevant war. Überraschend war daher, dass sich die Ergebnisse der jeweiligen zwei Flächen unterschieden und eine Streuung der Ergebnisse unterstrich.

Die Reinigungssysteme sind alle auf dem Markt eingeführt und klinisch bewährt (PETERSILKA & FLEMMING 2005, SCHMAGE ET AL. 2011). Die Limitation, die geraden Ansätze zu verwenden, erschwerte das Handling, weil gebogene Ansätze am Molaren besser wirksam wären (SCHMAGE ET AL. 2012). Diese Vorgabe wurde gewählt, um die Systeme vergleichen zu können, weil alle maschinellen Systeme gerade, aber unterschiedlich gewinkelte Ansätze anboten. Zum einen modifiziert sich das Schwingungsverhalten durch die Biegung der Instrumente (LEA & WALMSLEY 2009) und zum anderen wird sich nicht jeder Zahnarzt den gesamten Instrumentensatz anschaffen. Außerdem war sonst nicht zu differenzieren, welcher Student welche Ansätze für welche Flächen verwendet hat.

Die ZMP können nicht als statistisch relevante Kontrollgruppe dienen, weil ihre Anzahl zu gering ist. Vielmehr liefen sie als zusätzliche Versuchsgruppe mit, um Erkenntnisse über deren Kenntnisstand und praktischen Skills zu erhalten. Der Versuch könnte mit anderen Behandlergruppen, z.B. erfahrenen Zahnärzten oder ZMP wiederholt werden, dann müssten die Vergleichsgruppen aber gleich groß sein.

Die Wahl der Zähne für die rasterelektronenmikroskopische Analyse erfolgte unter dem Gesichtspunkt, solche mit der schlechtesten Oberflächenbearbeitung zu betrachten. Wenn diese Zähne nur Varianzen in ihrer Oberflächengüte von relativ glatt zu leichten Veränderungen aufwiesen, dann sind von den übrigen besser instrumentierten Zähnen umso bessere Wurzeloberflächenqualitäten zu erwarten. Im Vergleich zu den REM-Aufnahmen früherer Untersuchungen (SCHMAGE ET AL. 2000) sind die Oberflächenveränderungen als minimal im Vergleich zu denen z.B. diamantierter Ansätze zu erachten.

Die untersuchten Systeme unterscheiden sich in ihrem Antrieb: manuell, piezoelektrisch und magnetostruktiv (LEA & WALMSLEY 2009). Bewusst wurden nicht nur einheitliche Antriebsweisen gewählt, da für die praktische Durchführung des SRP relevante Systeme gegeneinander getestet werden sollten.

Die Studierenden kannten die Durchführung von SRP mit manuellen Küretten und zwei maschinellen Systemen (Cavitron, Dentsply und Mini Master, EMS) praktisch und theoretisch, da beide maschinellen Systeme in der Klinik zur Verfügung stehen.

Bei Bedarf wurden die maschinellen Systeme nochmals erläutert. Die Versuchsparameter wie Reinigungsdauer und Anpressdruck entsprachen den praktischen Empfehlungen. Die Einhaltung des korrekten Anpressdruckes von 1 N und der Anstellposition der Instrumente wurden aber nicht kontrolliert. Varianzen in den Parametern wie Anpressdruck, Arbeitsdauer, Einstellung der Leistungsstufe, der Antriebsart, der Wasserdurchflußrate und dem Design der Ansätze können die Ergebnisse der einzelnen Behandler beeinflusst haben (FLEMMING ET AL. 1998B, IFF & MARINELLO 1998, LEA & WALMSLEY 2009).

5.2 Ergebniskritik

Bezüglich der Hypothesen wurde festgestellt, dass beide angenommen wurden. Die Effektivität der maschinellen Systeme war bei den Studierenden und ZMP den Gracey-Küretten sogar signifikant überlegen. Demzufolge wurde bestätigt, dass maschinelle, ultraschallgetriebene Reinigungssysteme Reinigungseffektivitäten und Oberflächengüten erzielten, die denen der Gracey-Küretten wenigstens gleichwertig waren. Die Probanden erzielten relativ homogene Ergebnisse mit Ausreißern nach oben und unten, so dass geschlussfolgert werden kann, dass mit allen Systemen behandlerunabhängig gute Ergebnisse hinsichtlich Effektivität und Oberflächengüte erreicht werden können, wenn die Handling-Anweisung und Einstellungen korrekt eingehalten werden und motiviert, sorgfältig gearbeitet wird. Dies entspricht den Erfahrungen anderer Autoren (STASSINAKIS ET AL. 1995, RÜHLING ET AL. 2002).

Grundsätzlich ist bei einer geschlossenen Taschenbehandlung eine Effektivität von ca. 80% zu erwarten, was die Studierenden mindestens erfüllten. In verschiedenen Studien wurde die Effektivität einer geschlossenen Taschenbehandlung beurteilt (BADERSTEN 1981 & 1984, DRISKO 2001). Es wurde festgestellt, dass dieser Behandlungsansatz eine hohe Effektivität hinsichtlich der klinischen Reduktion der Sondierungstiefen besitzt und ein Attachmentlevel-Gewinn erreicht wird (HUNG & DOUGLAS 2002, D'HAESE 2003). In einer weiteren Arbeit (MERTE 2005) sind verschiedene Studien zu diesem Thema ausgewertet worden. Es wurde zusammengefasst, dass das geschlossene Vorgehen des SRP eine sehr hohe Effektivität in der Behandlung der PA-Therapie hat und manuelles wie maschinelles SRP sehr erfolgreich sind.

Zu den Ergebnissen der Studierenden in der vorliegenden Arbeit, die im Vergleich sehr gute Reinigungswerte erzielten, ist besonders hervorzuheben, dass es sich bei den zu reinigenden Taschen um simulierte, sehr tiefe Zahnfleischtaschen von ca. 9 mm handelte. Dies ergibt sich aus der gewählten Methode (siehe Kapitel 3.2.1). Solche Taschen stellen im Praxisalltag wegen ihrer schwierigen Erreichbarkeit eine besondere Herausforderung dar und eine vollständige Reinigung zählt zu den eher anspruchsvollen Aufgaben. In einer Studie von CLIFFORD ET AL. (1999) wurden beim SRP mit Mikro-Ultraschallansätzen bei Zähnen mit ST von über 7 mm Effektivitäten von ca. 42% erreicht. In einer weiteren Untersuchung wurden die Wurzeloberflächen von 30 parodontal vorgeschädigten Zähnen zwar nicht mit Ultraschallinstrumenten sondern mittels einer Mikrobrush gereinigt. Bei den Zähnen, die eine ST von >9 mm aufwiesen, wurde ein Reinigungseffekt von ca. 85% erreicht (CAREY & DALY 2001).

Durch die Literatur werden die in dieser Arbeit bestätigten Hypothesen untermauert, dass also mit unterschiedlichen Reinigungsmethoden die Wurzeloberflächen nahezu vollständig gereinigt werden können und die Reinigungseffektivitäten der Studierenden im Vergleich zu anderen Studien unter dem Vorbehalt des In-vitro Designs als sehr hoch einzuschätzen ist.

Zur Betrachtung der die Ergebnisse dieser Arbeit beeinflussenden Parameter im Einzelnen:

Die Reinigungseffektivität war mit allen maschinellen Methoden auf einem ähnlich hohen Level. Dieses Ergebnis entspricht dem früherer Studien (BUSSLINGER ET AL. 2001, KAWASHIMA ET AL. 2007). In der aktuellen Studie reinigten die Studierenden und ZMP mit den Gracey-Küretten teilweise signifikant schlechter als mit den maschinellen Verfahren.

Offenbar ist die manuelle Technik mit Gracey-Küretten techniksensitiv und schwieriger zu erlernen, bevor gute Ergebnisse erzielt werden (KOCHER ET AL. 1997). Darin hatten die Studierenden zwar bereits Übung, aber zu wenig Erfahrung. Den ZMP fehlte beides, da sie in der Praxis maschinell arbeiteten und zudem nicht subgingival. Diese Ergebnisse zeigen, dass Gracey-Küretten besser geschult werden müssen, um gleichwertige Effektivität zu erzielen. Mit den maschinellen Geräten haben vermutlich unerfahrene Behandler schneller Anfangserfolge. Trotzdem

müssen ihnen die Schwierigkeiten bewusst werden, weshalb erfahrene Behandler länger brauchen (KOCHER ET AL. 1997, RÜHLING ET AL. 2002).

Teilweise wurde an den Glattflächen eine niedrigere Effektivität als an den Approximalflächen erreicht. Logisch wäre an den Glattflächen eine höhere Reinigungseffektivität zu finden, da sie der Instrumentierung besser zugänglich sind. Unter klinischen Bedingungen befinden sich die Knocheneinbrüche eher approximal, so dass die Studierenden weniger Erfahrungen mit der Instrumentierung tiefer Taschen an Glattflächen besaßen. Zudem sind gerade die Übergänge zwischen Glatt- und Approximalflächen schwerer im Handling und manchmal stört eine ausladende Zahnkrone beim Anstellen der Instrumente in tiefen Taschen von Glattflächen. Hier wäre das vorherige Sondieren der Taschen hilfreich gewesen, was die meisten Probanden nicht genutzt haben.

Wurzelflächen der Approximalflächen weisen häufig Einziehungen und Konkavitäten auf die schlechter zu erreichen sind. Die verschieden geformten Arbeitsenden der Gracey-Küretten sind speziell für den Einsatz an den verschiedenen Zahnflächen gestaltet worden, so dass sie alle Flächen gut erreichen. Eine Einschränkung des vorliegenden Versuchdesigns war, dass die maschinellen Systeme nur mit der geraden Spitze verwendet wurden. So konnten bei korrekter Handhabung der Instrumente unter Umständen nicht alle Flächen gut erreicht werden. Insofern wurden Gracey-Küretten unter optimalen Bedingungen und die maschinellen Systeme mit Einschränkungen getestet. Es spricht für die Wirksamkeit der maschinellen Systeme, dass sie trotzdem so gut abgeschnitten haben und es bestätigt die Ergebnisse von SCHMAGE & BLOCHBERGER ET AL. (2011). Zu vermuten ist, dass das Ergebnis, wären die gewinkelten Ansätze des jeweiligen Systems verwendet worden, noch besser wäre (SCHMAGE & BLOCHBERGER ET AL. 2012).

Die maschinellen Geräte erzeugen ihre Reinigungseffekte im Gegensatz zu den manuellen Küretten nicht nur über mechanische Reinigung, sondern auch durch den Kavitationseffekt. Der Kavitationseffekt scheint einen nicht zu unterschätzenden Einfluss zu haben. Das Phänomen des Kavitationseffektes wurde in der Arbeit von LEA & WALMSLEY (2009) ausführlich erklärt. Die Differenzierung des mechanischen Anteils und des Kavitationseffektes muß die zukünftige Forschung näher beleuchten.

Dass die Studierenden fast durchweg bessere Ergebnisse erreichten als die ZMP ist ungewöhnlich, da die ZMP mehr praktische Erfahrung besaßen. Allerdings arbeiteten sie in diesem Versuch subgingival und da das subgingivale Scaling eine visuelle Kontrolle verhinderte, könnte diese Arbeitsweise für sie ungewohnt gewesen sein und ihnen die Erfahrung einer vollständigen Reinigung gefehlt haben. Die Gruppe der ZMP war zudem zu klein, um mit der Gruppe der Studierenden verglichen werden zu können.

Die Oberflächengüte anhand der Rauigkeiten war mit allen Systemen gut. Dies stimmt mit den Ergebnissen einer früheren Studie überein (SCHMAGE ET AL. 2000). Auch die damals gemessenen Werte wurden bestätigt: z.B. bei der Wurzelreinigung wurde ein durchschnittlicher Wert für R_z in der früheren Studie von 21 μm erreicht und in der vorliegenden Arbeit von ca. 23 μm . Eine solch glatte Oberfläche wird angestrebt, um eine Biofilmaablagerung zu reduzieren. Sie wurde anhand der Rauigkeitskenngrößen von allen Systemen erfüllt.

Eine Erklärung für die schlechteren Oberflächenstrukturen der Wurzeln nach Reinigung mit dem Cavitron Jet Plus-Gerät gegenüber den anderen Methoden könnte die magnetostriktive Schwingungsform sein, die ellipsoide Bahnen beschreibt und dabei auch bei tangentialer Arbeitsweise gegen die Wurzeloberfläche schlägt. Dies korrespondiert mit den herausgebrochenen schollenartigen Strukturen im REM-Bild, was auch bereits in der Literatur beschrieben wurde (BUSSLINGER ET AL. 2001). Obwohl sie sich nicht auf die Rauigkeiten auswirkten, sind solche Oberflächenbeschädigungen zu vermeiden, da sonst daraus zu viel Substanzabtrag resultiert. Dies wirkt sich besonders in der UPT nachteilig aus. Substanzabtrag wurde in dieser Arbeit nicht bestimmt, beträgt aber ca. 50 μm^4 je SRP (BADERSTEN ET AL. 1984) oder ca. 20 μm je Instrumentierung (SCHMAGE 2000). Die Oberflächenstrukturen mit Gracey-Küretten und Piezon Master 700 wirkten im REM-Bild am besten. Die Unterschiede zwischen Piezon Master 700 und Symmetrie IQ 3000 können nicht erklärt werden, da beide Geräte einen piezoelektrischen Antrieb haben. In einer anderen Arbeit (SCHMAGE ET AL. 2011) fielen auch keine Unterschiede auf. Vielleicht war das Symmetrie IQ 3000-Gerät ungewohnt, weil es den Studierenden vorher noch nicht bekannt war.

Bei Betrachtung der Differenzen der Effektivität innerhalb der Studierendengruppe fiel auf, dass kein Proband lustlos gearbeitet hatte, denn kein Proband lieferte

generell schlechte Ergebnisse, sondern die Abweichungen bestanden zwischen den Systemen: Für die Gracey-Küretten und das Piezon Master 700-Gerät gab es die wenigsten Abweichungen. Dafür waren aber bei den Gracey-Küretten und dem Symmetrie IQ 3000-Gerät die meisten Abweichungen mit erheblich schlechterer Effektivität zu finden. Unter der Voraussetzung, dass die Probanden alle Systeme mit gleicher Motivation verwendet haben, scheinen Studierende, die den Umgang mit den Gracey-Küretten bislang schlecht gelernt hatten, auch schwache Ergebnisse zu erzielen. Dies waren nur wenige, da die Studierenden darauf geschult wurden, trotzdem sollte diese Erkenntnis in der Ausbildung berücksichtigt werden. Die Abweichungen mit erheblich schlechterer Effektivität des Symmetrie IQ 3000-Gerätes lassen sich nicht erklären. Es verfügt über die gleiche Antriebsart wie das Piezon Master 700, welches nur sehr wenige Abweichungen zeigte und damit ein besonders homogenes Ergebnis erzielte. Das Cavitron Jet Plus-Gerät vermittelte offenbar den Eindruck besonderer Effektivität, was auch aus den Befragungen hervorgeht, hier wurden auch die meisten Abweichungen, die auf eine bessere Effektivität hinwiesen erreicht. Zu beachten ist aber, dass das Cavitron Jet Plus neben seiner subjektiven Beliebtheit beim Behandler und im Durchschnitt guten Effektivität eine schlechtere Oberflächenstruktur der Wurzel hinterließ als die übrigen Systeme. Behandler sollten daher wissen, dass ein angenehmes Handling und ein guter Eindruck der Effektivität nicht mit objektiven Kriterien korrelieren müssen. Auch der subjektive Eindruck maschineller Instrumente würden Zeit einsparen, wird in der Literatur widerlegt: Sie arbeiteten nicht schneller, sondern nur ermüdungsärmer (TUNKEL ET AL. 2002).

Trotz der Beliebtheit der maschinellen Systeme war den Studierenden die Schwäche mangelnder Taktilität offenbar bewusst, denn sie wünschten eine Kombination mit manuellen Küretten, um nicht auf die manuelle Kontrolle und Nacharbeit zu verzichten. Das waren mündliche Anmerkungen, die bei der Bearbeitung des Fragebogens gegeben wurden. Eine solche Kombination wird klinisch gefordert (RATEITSCHAK ET AL. 1989) und präferiert, konnte aber in dem Versuchsdesign nicht umgesetzt werden, um die Effekte der einzelnen Systeme auseinanderzuhalten.

Die Präferenz der Behandler für die maschinellen Systeme korreliert mit einer Präferenz von Patienten für eine Behandlung mit Ultraschallgeräten, die in der Literatur dokumentiert ist (CROFT ET AL. 2003). Sie bevorzugten eine Behandlung mit diesen, weil sie eine geringere Geräuschbelästigung empfanden, weniger Schmerz

fühlten und das Gefühl hatten, dass die Konkremente besser und schneller entfernt wurden und die Zähne sich sauberer anfühlten. Die maschinellen Systeme werden also als wirksames Instrument gesehen um die Compliance des Patienten zu erhöhen und ihn an den Behandler zu binden (CROFT ET AL. 2003, SCULEAN ET AL. 2013).

Da der Einsatz maschineller Systeme zur Wurzeloberflächenreinigung längst anerkannt und dem Einsatz von Handinstrumenten mindestens ebenbürtig, wenn nicht überlegen ist (BADERSTEN ET AL. 1984, DRAGOO 1992, SCHMAGE & BLOCHBERGER 2011 UND 2012) und zudem die Studierenden gut mit diesen Methoden zurechtkamen, besteht aus der Sicht dieser Untersuchung kein Grund, dieses Verfahren im Behandlungsalltag des Lehrbetriebes auszuschließen.

5.3 Schlussfolgerungen

- Alle getesteten Systeme waren ausgereift und konnten von wenig erfahrenen Behandlern (Studierenden) mit guter Effektivität und Oberflächengüte angewendet werden. Demzufolge erscheint der Einsatz maschineller Geräte in der Lehre gerechtfertigt.
- Die Systeme unterschieden sich nicht wesentlich voneinander, aber die maschinellen Systeme führten zu besseren Ergebnissen hinsichtlich Effektivität als die manuellen. Die Anwendung maschineller Systeme erscheint für wenig erfahrene Behandler leichter zu guten Ergebnissen zu führen.
- Der subjektive Eindruck und die Zeitersparnis maschineller Geräte dürfen nicht überbewertet werden, sondern es muss ebenso sorgfältig wie bei der manuellen Methode gearbeitet werden und die Limitationen der Verfahren bekannt sein, z.B. bei schwierigen Wurzelmorphologien. Dazu dient die taktile Überprüfung mit Sonde bzw. manuellen Küretten. Die kombinierte Anwendung ist ausdrücklich zu empfehlen.

- Die Beachtung der Qualität der Wurzeloberfläche nach der Reinigung ist neben der Effektivität wichtig. Diese kann nicht allein durch profilometrische Messung der Rauigkeit abgebildet werden, sondern es müssen die Oberflächenstrukturen (hier mittels REM erfolgt) beachtet werden.
- Klinisch fehlt die Kontrollmöglichkeit der Effektivität, weshalb sowohl für Studierende als auch für ZFA, eine fundierte Ausbildung, besonders mit manuellen, Systemen wichtig ist.
- Zur weiteren Bewertung der Geräte in der studentischen Lehre müssen sich In-vivo Studien der Behandlungsqualität anschließen, um z.B. Heilungsergebnisse oder Lehrkonzepte zu prüfen.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen einer In-vitro Studie sollte die Reinigung von Wurzeloberflächen mit vier Systemen (drei maschinelle, ein manuelles) durch 50 Studierende anhand ihrer Effektivitäten und Oberflächenstrukturen verglichen werden. Diese Erkenntnisse sollten Hinweise darauf liefern, ob maschinelle Reinigungsmethoden in der studentischen Lehre, neben den bislang gelehrt manuellen Verfahren, eingesetzt werden können und wie sich die Systeme unterscheiden. In einem zusätzlichen Versuchsteil nahmen auch drei ZMP an der Untersuchung separat teil, um Erkenntnisse über die Ergebnisse von praktisch erfahrenen Personen, die aber diese Arbeitsweise neu erlernten, zu bekommen.

Einem manuellem Verfahren (der Gracey-Kürette als Kontrollgruppe) wurden drei maschinelle Methoden, das Ultraschallgerät „Cavitron Jet Plus“ von Dentsply, das Ultraschallgerät „Symmetrie IQ 3000“ von Hu Friedy und das Ultraschallgerät „Piezon Master 700“ von EMS gegenübergestellt. 50 Studierende und drei ZMP reinigten die Wurzeloberflächen von insgesamt 101 extrahierten humanen Molaren in einem Modell zur Simulation parodontaler Taschen mit künstlichen Konkrementen innerhalb einer festgelegten Zeit. Die zu reinigenden Oberflächen wurden jeweils vor- und nach der Bearbeitung fotografisch erfasst und computergestützt ihre Größe vermessen. Zusätzlich wurden die Wurzeloberflächenrauigkeiten profilometrisch vermessen und besondere Oberflächeneffekte mit REM-Bildern festgehalten. Nach dem Bearbeiten der Oberflächen füllten alle Probanden einen Fragebogen zu ihrer Einschätzung aus. Alle Meßergebnisse wurden statistisch ausgewertet, und auf signifikante Differenzen geprüft.

Die Studierenden reinigten die Wurzeloberflächen mit allen Methoden mit einer hohen Effektivität (über durchschnittlich 82% der zu reinigenden Flächen). Mit den maschinellen Methoden erreichten sie allerdings signifikant bessere Reinigungsergebnisse (über durchschnittlich 88% der zu reinigenden Flächen) als mit dem manuellen System, den Gracey-Küretten (durchschnittlich 81%). Bei einem Vergleich der maschinellen Methoden untereinander erzielte das Symmetrie IQ 3000-Gerät mit einem Wert von durchschnittlich 91% einen etwas besseren Wert als die beiden anderen maschinellen Methoden mit einem durchschnittlichen Wert von

88%. Die maschinellen Methoden wiesen untereinander keine signifikanten Unterschiede auf. An den Glattflächen wurden tendenziell bessere Ergebnisse als an den Approximalflächen erzielt mit Ausnahme der Gracey-Küretten, wobei diese Differenz nicht signifikant war. Die ZMP erbrachten insgesamt schlechtere Testergebnisse als die Studierenden, welche sich aber nicht signifikant unterschieden. Besonders mit den Gracey-Küretten war die Effektivität der ZMP innerhalb ihrer Gruppe mit durchschnittlich 60% signifikant schlechter als mit den maschinellen Systemen von EMS (79%) und HuFriedy (83%), aber nicht gegenüber dem Cavitron Jet Plus-Gerät mit 74%.

Die Studierenden erreichten mit dem Piezon Master 700-Gerät am wenigsten Varianzen in ihrer Gruppe, sie erzielten eine gleichmäßige Qualität. Bei der Anwendung der Cavitron Jet Plus- und Symmetrie IQ 3000-Geräte traten sehr viele Varianzen auf, so dass sehr unterschiedliche Ergebnisse von sehr gut bis sehr schlecht möglich waren. Bei den Gracey-Küretten verhielten sich die Ergebnisse sehr homogen, es traten aber am meisten Abweichungen nach unten auf.

Im Vergleich der Rauigkeitswerte R_A , R_Z und R_{MAX} bestanden keine signifikant unterschiedlichen Messergebnisse. Die Werte für R_A befanden sich zwischen 6 μm und 8 μm , für R_Z zwischen 19 μm und 22 μm . Die Messwerte für R_{MAX} schwankten zwischen 32 μm und 50 μm . Es ergaben sich gute Oberflächenstrukturen nach der Bearbeitung mit Gracey-Küretten, den Symmetrie IQ 3000- und dem Piezon Master 700-Geräten. Die Wurzeloberflächen nach der Bearbeitung mit dem Cavitron Jet Plus wiesen eine inhomogenere, wie partiell herausgebrochene Oberflächenschicht auf.

Im abschließenden Fragebogen bevorzugten die Studierenden wie die ZMP die maschinellen Methoden gegenüber dem manuellen Verfahren. Bei den maschinellen Methoden wurde das magnetostruktiv angetriebene Cavitron Jet Plus-Gerät den beiden weiteren piezoelektrisch betriebenen Geräten vorgezogen.

Die Studierenden konnten die gestellten Aufgaben mit hoher Effektivität und guter Qualität der Oberflächengüte erfüllen. Dabei waren die Ergebnisse mindestens ebenso gut wie mit der ihnen vorher bekannten manuellen Methode.

Daher kann die Nutzung maschineller Methoden im Studierendenkurs unter der Voraussetzung vorheriger Schulung empfohlen werden.

7. Abkürzungsverzeichnis

AL	= Attachment level, englisch
ANOVA	= analysis of variance, englisch
API	= approximaler Plaque Index
ASME	= amerikanische Norm
AT	= Attachment Loss, englisch
BOP	= Bleeding On Probing, englisch
EN	= internationale Standard Richtlinie zwischen Mensch und Computer
et al.	= und andere
Hz	= Herz (Maßeinheit)
ISO	= International Organisation for Standardization
min	= Minute (Maßeinheit)
N	= Newton (Maßeinheit)
PA-Therapie	= Parodontale Therapie
PPD	= probing pocket depth, englisch, Sondierungstiefe
p-Wert	= Signifikanzwert
R _A	= arithmetischer Mittelrauwert
Rec	= Recession, englisch
REM	= Rasterelektronenmikroskop
R _{MAX}	= maximale Rautiefe
R _Z	= gemittelte Rautiefe
SRP	= Scaling und Root Planing, englisch

ST	= Sondierungstiefe
SPSS	= software package for statistical analysis
T-Test	= Hypothesentests mit t-verteilter Testprüfgröße
UPT	= unterstützende Parodontaltherapie, entspricht parodontalem Recall
US	= Ultraschall
Vs	= versus
ZMF	= zahnmedizinische Fachhelferin
ZMP	= zahnmedizinische Prophylaxeassistentin
µm	= Mikrometer, 10^{-6} (Maßeinheit)

8. Literaturverzeichnis

- 3MEspe ,2012 3MEspe. [Online]
Available at: solutions.3mdeutschland.de
[Zugriff im Juni 2012].
- AAP, 2011. Statement on the efficacy of lasers in the non surgical treatment of the inflammatory periodontal disease. J Periodontol , 82(4), pp. 513-514.
- Axelsson, P., Albandar, J. & Rams, T., 2002. Prevention and control of periodontal diseases in developing and industrialized nations. Periodontology 2000, 29, pp. 235-246.
- Axelsson, P. & Lindhe, J., 1981a. Effect of controlled oral hygiene procedures on caries and periodontal disease in adults. Results after 6 years. J Clin Periodontol, 8, pp. 239-248.
- Axelsson, P. & Lindhe, J., 1981b. The significance of maintenance care in the treatment of periodontal disease. J Clin Periodontol, 8, pp. 281-194.
- Badersten, A., Nilveus, R. & Egelberg, J., 1984. Effect of nonsurgical periodontal therapie II. J Clin Periodontol, 11, pp. 63-76.
- Barendregt, D., van der Velden, U., Timmermann, M. & van der Weijden, F., 2008. Penetration depths with an ultrasonic mini insert compared with a conventional curette in patients with periodontitis and in periodontal maintainance. J Clin Periodontol, 35(1), pp. 31-6.
- Bocci, V., 2004, der Autor zitiert aus "Ozone" The Revolution in Dentistry, Lynch,E. (Hrsg): Kap.1.1, 15, Quintessenz Verlag
- Boticelli, T., Janda S., Boticelli, D., Mattheos, N., Attström, R., 2005. The effectiveness of video support in the teaching of manual skills related to initial periodontal therapie tested on phantoms. Int J Comput Dent, 8(2), pp. 117-27.
- Bray, K., 1996. Innovationen in dem parodontalen Debridement. Eine Neubewertung der Rolle maschineller Zahnsteinentfernung. Dental Hygiene Connection, 1(1), pp. 1-7.
- Breininger, D., O`Leary, T. & Blumenshine, R., 1987. Comparative effectiveness of ultrasonic and hand scaling for the removal of subgingival plaque and calculus. Periodontology, 1, pp. 8-18.

- Brink, B., Romanos, G., 2007, Mikrobiologische Untersuchungen bei adjuvanten Laseranwendungen in der Parodontologie, Zeitschrift für Laser Zahnheilkunde, Quintessenz.
- Busslinger, A., Lampe, K., Beuchat, M. & Lehmann, B., 2001. A comparative in vitro study of a magnetostrictive and a piezoelectric ultrasonic scaling instrument. J Clin Periodontol, 28, pp. 642-649.
- Carey, H.M., Daly, C.G., 2001, Subgingival debridement of root surfaces with a micro-brush: macroscopic and ultrastructural assessment. J Clin Periodontol, 28:9; pp. 820-827.
- Clifford, L.R., Needleman, I.G., Chan, Y.K., 1999. Comparison of periodontal pocket penetration by conventional and microultrasonic inserts. J Clin Periodontol, 26, pp. 124-130
- Croft, L., Nunn, M., Crawford, L., Holbrook, T., Mc Guire, M., Kerger, M., Zacek, C., 2003. Patient preference for ultrasonic or hand instruments in periodontal maintenance. Int J Periodontics Restorative Dent, 23, pp. 567-573.
- Dähnhardt, J., Lussi, A., 2004, Rund ums Ozon - in der Zahnmedizin. www.zm-online.de, (Zugriff im Dezember 2012).
- Derdilopoulou, F., Nonhoff, J., Neumann, K. & Kielbassa, A., 2007. Microbiological findings after periodontal therapy using currettes, Er:YAG laser, sonic and ultrasonic scalers. J Clin Periodontol, 34, pp. 588-59.
- D'Haese, J., Matthijs, S. & Moradi Sabzevar, M., 2003. The efficacy of sonic and ultrasonic scaling. J Clin Periodontol, 30(4), p. 217.
- Dragoo, M., 1992. Klinische Einschätzung von Hand- und Ultraschallinstrumenten für die subgingivale Zahnreinigung. Teil 1. Unveränderte und veränderte Ultraschallansätze. Int J Rest Zahnheilkunde, 12, pp. 295-307.
- Dragoo, M., Marinello, C., 1995, Handbook for scaling and rootplaning with power driven instruments, Renaissance Publishing, Arizona, USA
- Drisko, C., 2001. Nonsurgical periodontal therapy. Periodontology 2000, 25, pp. 77-88.
- Eberhard, J., Ehlers, H., Falk, W., Acil, Y., Albers, H., Jepsen, S., 2003. Efficacy of subgingival calculus removal with Er:YAG laser compared to mechanical debridement: an in situ study. J Clin Periodontol, 30, pp. 511-518.

- Eickholz, P., 2007. Glossar der Grundbegriffe für die Praxis: Unterstützende Parodontitistherapie (UPT) Teil 1: Ziele und Inhalte. Parodontologie, 18(2), pp. 165-170.
- Eickholz, P., 2011. Glossar der Grundbegriffe für die Praxis. Instrumentierung der Zahnoberfläche. Parodontologie. 22(4): pp. 407-412.
- EMS, 2011. www.ems-company.com. [Online] [Zugriff am 03.12.2011].
- EN ISO 4287, ASME B46.1. www.din.de (Online) Zugriff am 17.12.2011
- Filippi, A., 2001. Wundheilung und Heilungsstörungen nach Entfernung 3. Molaren. Schweiz Monatsschr Zahnmed, 7, 111, pp. 847-856.
- Fischer, K. & Fickl, S., 2011. Scaling von A bis Z - Grundlagen der nichtchirurgischen Parodontaltherapie. Quintessenz, 3, p. 289ff.
- Flemming, T., Petersilka, G., Mehl, A., Hickel, R., Klaiber, B., 1998a. The effect of working parameters on root substance removal using a piezoelectric ultrasonic scaler in vitro. J Clin Periodontol, 25, pp. 158-163.
- Flemming, T., Petersilka, G., Mehl, A., Hickel, R., Klaiber, B., 1998b. Working parameters of a magnetostrictive ultrasonic scaler influencing root substance removal in vitro. J Clin Periodontol, 69, pp. 547-553.
- Flemming, T., Petersilka, G., 2003, Schall- und Ultraschallscaler in der Parodontitistherapie. Wissenschaftliche Stellungnahme. www.dgparo.de
- Gankerseer, E.J., Walmsley A.D., 1996, Preliminary Investigation into the performance of a sonic scaler. J Periodontol ,58, pp. 780-784.
- Gonzalez-Munoz, L., Flichy-Fernandez, A.J., Ata-Ali, J., Pascual-Mascardo, A., Penarrocha-Diago, M.A., 2011, Effect of ozone therapie upon clinical and bacteriological parameters of the oral cavity: an update. J Clin Exp Dent, 3(4): e325-7.
- Griesinger, H., Menne, A., Jepsen, S., Albers, H.-K., Jepsen, K., 1994. Hydrodynamik oszillierender Scaler. Deutsch zahnärztl Z, pp. 415-418.
- Güntsch, A., Fatori, S., Seltmann, T., Sigusch, B., Glockmann, E., Klinger, G., 2006. Klinische und mikrobiologische Untersuchungen zur Parodontitistherapie mit Handinstrumenten und Vector. Deutsch zahnärztl Z, 61, pp. 291-298.

- Hahn, R., 2011. www.zp-aktuell.de. [Online] [Zugriff am 03 12 2011].
- Hellwege, K.-D., 1987. Die Wurzelglättung. Instrumentelle und medikamentöse Therapie infizierter Wurzeloberflächen. Berlin: Quintessenz Verlag.
- Hellwege, K.-D., 2007. Die Praxis der professionellen Zahnreinigung und Ultraschall-Scaling. Georg Thieme Verlag.
- Hellwig, E., Klimek, J. & Attin, T., 2007. Einführung in die Zahnerhaltung. 4. München: Urban & Fischer Verlag.
- HuFriedy, www.hufriedy.de (Online), Zugriff am 23.11.2012.
- Hung, H.C., Douglass, C.W., 2002, Meta-analysis of the effect of scaling and root planing, surgical treatment and antibiotic therapies on periodontal probing depth and attachment loss. *J Clin Periodontol*, 29, 975
- Huth, K., Quirling, M., Lenzke, S., Kamereck, K., Brand, K., Hickel, R., 2008. Antimikrobielle Wirksamkeit von Ozongas und ozoniertem Wasser gegen parodontalpathogene Keime in Biofilmen. Abstract. DGZ Tagung, Würzburg.
- Iff, M. & Marinello, C., 1998. Ultraschallgeräte, Anwendung in der Parodontologie. Eine Literaturübersicht. *Acta med dent Helv*, 9, 3, pp. 149-160.
- Jepsen, S., Ayna, M., Hedderich, J. & Eberhard, J., 2004. Significant influence of scaler tip design on root substance loss resulting from ultrasonic scaling: a laserprofilometric in vitro study. *J Clin Periodontol*, 31, pp. 1003-1006.
- Kawashima, H., Sato, S., Kishida, M. & Ito, K., 2007. A comparison of root surface instrumentation using two piezoelectric ultrasonic scalers and a hand scaler in vivo. *J Periodontal Res*, 42, pp. 90-95.
- Kimmel, K., 2003. Verfahren und Arbeitsmittel zur Wurzel- und Implantatreinigung. *DZW- Spezial*, 8-9, pp. 10-14.
- Kocher, T. & Plagmann, H., 1997. The diamond coated sonic scaler tip. Part I. Oscillation pattern of different sonic scalers. *Int J Periodont Rest Dent*, 17, pp. 393-399.
- Kocher, T., Riedel, D. & Plagmann, H., 1997b. Debridement by operators with varying degrees of experience: a comparative study on manikins. *Quintessence Int*, 28(3), pp. 191-6.

- Kocher, T., Rühling, A., Momsen, H. & Plagmann, H., 1997a. Effectiveness of subgingival instrumentation with power-driven instruments in the hands of experienced and inexperienced operators. *J Clin Periodontol*, 24, pp. 498-504.
- Kocher, T., Tersic-Orth, B. & Plagmann, H., 1998 b. Instrumentation of furcation with modified sonic scaler inserts: a study on manikins (II). *J Clin Periodontal*, 25(6), pp. 451-6.
- Kolbe, C. & Laurisch, L., 2009. Prophylaxe in der täglichen Praxis. *Dentalzeitung*, 5, pp. 26-28.
- laserzahnheilkunde.info, 2012. www.laserzahnheilkunde.info. [Online] [Zugriff im Juni 2012].
- Lea, S. C. & Walmsley, D., 2009. Mechano-physical and biophysical properties of power-driven scalers: driving the future of powered instrument design and evaluation. *Periodontology* 2000, 51(2), pp. 63-78.
- Lindhe, J., Nyman, S., 1999. Behandlungsplanung. Autoren zitiert aus: *Klinische Parodontologie und Implantologie*. Lindhe, J., Karring, T., Lang, N., (Hrsg): Kap.4, 420ff, Berlin: Quintessenz.
- Merte, K., 2005. Initialtherapie-Scaling und Wurzelglättung. Autor zitiert aus: *Parodontologie*. Heidemann, D., (Hrsg), Kap. 7, 194ff, Urban & Fischer Verlag, München. Jena
- Mettraux, G., Dörtbudak, O., Die antimikrobielle photodynamische Therapie, www.helbo.de (Zugriff im Dezember 2012).
- Milauskaite, A., Berakdar, M., Junker, R., Kasaj, A., Willershausen, B., Sculean, A., 2005. Nicht-chirurgische Parodontalbehandlung: Subgingivales Debridement mit Handinstrumenten versus Vector. Eine prospektive, kontrollierte Studie an mehrwurzeligen Zähnen. *Deutsch Zahnärztl Z*, 60, pp. 187-192.
- Moene, R., Decaillet, F. & Mombelli, A., 2010. Subgingivales Airpolishing. Neue Perspektiven für die parodontale Erhaltungsphase. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.*, 10, 120, pp. 902-911.
- Müller, H., 2001. *Parodontologie*. Stuttgart-New York: Thieme Verlag
- Müller, P., Guggenheim, B., Schmidein, P., 2007, Efficacy of gasiform ozone and photodynamic therapie on a multispecies oral biofilm in vitro. *Eur J Ora Sci.*, Febr.(115/1): pp. 77-80.

- Nymann, S., Westfeld, E., Sarhed, G., Karring, T., 1988, Role of "diseased" root cementum in healing following treatment of periodontal disease. A clinical study, *J Clin Periodontol*, 15, pp. 464-468.
- Petersilka, G., Steinmann, D., Haeberlein, I., Heinecke, A., Flemming, T., 2003b. Subgingival plaque removal in buccal and lingual sites using a novel low abrasive airpolishing powder. *Journal of Clin. Periodontol*, 30, pp. 328-333.
- Petersilka, G. & Flemming, T., 2004. Periodontal debridement with sonic and ultrasonic scalers. *Periodontology*, 1, pp. 353-362.
- Petersilka, G. & Flemming, T., 2005. Schall- und Ultraschallscaler in der Parodontistherapie. *Deutsch Zahnärztl Z*, 60, p. (6).
- Petersilka, G., Faggion, C., Stratmann, U., Gerss, J., Ehmke, B., Haeberlein, I., Flemming, T., 2008. Effect of glycine powder air-polishing on the gingiva. *J Clin Periodontol*, April, 35(4), pp. 324-332.
- Plagmann, H.C., Rühling, A., 2006, *Parodontologie. Klinischer Studienunterricht in Kiel*, Autoren zitiert aus: Hoffmann, T., Meyle, J. (Hrsg.): *Mit der Lehre von Heute zum Zahnarzt von Morgen - Lehrabstimmung in der Parodontologie*, 79, S. 75 pp., Quintessenz Verlag
- Purucker, P., Raboldt, E., Bernimoulin, J.-P., 2002. Maschinelle Depuration der Furkation mit verschiedenen Instrumenten - Eine In-vitro-Studie, *Abstract, Parodontologie 2002*, 13/3, p. 280.
- Quirynen, M., Teughels, W., van Steenberghe, D., 2006. Impact of antiseptics on one-stage, full-mouth disinfection. *J Clin Periodontol*, 33, pp.49-52.
- Rateitschak, K., Rateitschak, E. & Wolf, H., 1989. *Parodontologie. 2.Auflage* Hrsg. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Rühling, A. et al., 2002. Learning root debridement with cures and power-driven instruments, Part 1. *J Clin Periodontol*, 29, pp. 622-629.
- Rühling, A. et al., 2003. Learning root debridement with cures and power-driven instruments. Part 2. *J Clin Periodontol*, 30(7), pp. 611-5.
- Rühling, A., Bernhardt, O. & Kocher, T., 2005. Subgingival debridement with a teflon-coated scaler insert in comparison to conventional instruments and assessment of substance removal on extracted teeth. *Quintessence Int*, 36(6), pp. 446-52.

- Santos, F., Pochapski, M., Leal, P., Gimeness-Sakima, P., Marcantonio Jr., E., 2008. Comparative study on the effect of ultrasonic instruments on the root surface in vivo. *Clin Oral Investig*, 12(2), pp. 143-50.
- Schmage, P., Nergiz, I. & Platzer, U., 1999. Comparison of six root planing methods with a curette. *J Dent Res (IADR Abstracts)*, p. 192.
- Schmage, P., Nergiz, I., Platzer, U., Siebert, K., 2000. Effekt der Wurzelreinigung mit maschinellen gegenüber manuellen Methoden. *Deutsch Zahnärztl Z*, pp. 478-481.
- Schmage, P., Blochberger B, Nergiz I, Pfeiffer P, Platzer U., 2011. Calculus removal of various ultrasonic driven devices with universal tips., *J Dent Res 90 Spec Iss A (IADR Abstr, Stick)*, Nr. 2834, 89th General Session & Exhibition der IADR International Association of Dental Research, San Diego, USA 2011.
- Schmage, P., Blochberger, B., Nergiz, I., Pfeiffer, P., Platzer, U., 2012, Biofilm removal of ultrasonic driven devices with universal and periodontal instrument tips. Poster 0827, Euro Perio 7, Wien.
- Schultz, Y., 2005. Vergleichende Untersuchung der Wurzeloberflächenbearbeitung mit schwingenden, rotierenden und manuellen Instrumenten. Hamburg: Dissertation.
- Schwarz, F., Sculean, A., Berakdar, M., Georg, T., Reich, E., Becker, J., 2003, Periodontal treatment with an Er:YAG laser or scaling and root planing. A 2-year follow-up split-mouth study. *J Periodontol* 74: 590-596.
- Schwarz, F., Becker, J., Sculean, A., Aoki, A., Folwaczny, M., Jepsen, S., 2005. Therapie der Parodontitis und Periimplantitis mit dem ER:YAG Laser. *Deutsch Zahnärztl Z*, 3(60), p. 135ff.
- Sculean, A., Bastendorf, K.-D., Becker, C. et al., 2013, Paradigm Shift in Mechanical Biofilm Management? Consensus Paper angenommen von Quintessenz International
- Sigusch, B., Volpel, A., Nietsch, T. & Poppitz, F., 2009. Effizienz der photodynamischen Therapie bei der Suppression von Bakterienspezies. *ZWR*, 118(4).
- Stassinakis, A., Hugo, B. & Hotz, P., 1995. Personal and instrumental differences in the treatment of root surfaces. A comparison on a phantom model. *Schweiz Monats Zahnmed*, 105, pp. 623-628.

- Stoltenberg, J. et al., 2007. A preliminary study of intra-pocket topical versus injected anaesthetic for scaling and root planing. *J Clin Periodontol*, 34, pp. 892-896.
- Takasaki, A. Aoki, A., Mizutani, K., Schwarz, F., Sculean, A., Wang, C., Koshy, G., Romanos, G., Ishikura, I., Izumi, Y., 2009. Application of antimicrobial photodynamic therapy in periodontal and periimplant diseases. *Periodontol 2000*, 51, pp. 109-140.
- Tunkel, J., Heinecke, A. & Flemming, T., 2002. A systematic review of efficacy of machine-driven and manual subgingival debridement in the treatment of chronic periodontitis. *J Clin Periodontol*, 29(Suppl.3), pp. 72-81.
- Universität Kiel, Lehrinhalt Parodontologie 2, www.uni-kiel.de (online), Zugriff 11.05.2013
- van der Velden, U., Schoo, W., 1999, *Wissenschaftliche Grundlagen der Parodontalbehandlung*. Autoren zitiert aus: Lindhe, K., Karring, T., Lang, N. (Hrsg.): *Klinische Parodontologie und Implantologie*. Kap. 26, S. 794 pp., Berlin: Quintessenz

9. Danksagung

Ich bedanke mich bei allen Personen, die mich über die lange Zeit der Ausarbeitung der Dissertationsschrift hinweg unterstützt und motiviert haben.

Damit meine ich insbesondere Frau Prof. Dr. Petra Schmage, die mir das Dissertationsthema überließ, mich anleitete und fortwährend unterstützte.

Ich bedanke mich bei Frau Dagmar Claussen für die professionelle und freundliche Anfertigung der Fotografien, Herrn Thomas Thimian und Herrn Frank Fischer für die technische Hilfestellung.

Frau Prof. Dr. Ursula Platzer danke ich für die Möglichkeit alle notwendigen Untersuchungen in der Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde, durchführen zu dürfen.

Ganz besonderen Dank verdienen mein Mann und meine Kinder, die die ganze Sache kritisch begleitet haben!

10. Lebenslauf

Entfällt aus Datenschutzgründen.

11. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: