

**Die physikalische Rauigkeit von Zahnwurzeloberflächen  
in vitro nach Behandlung mit drei unterschiedlichen  
maschinellen Systemen im Vergleich mit konventionellen  
Handinstrumenten**

Ute Merkel

2005

Aus der Poliklinik der Zahnerhaltung und Parodontologie  
der Universität München  
Direktor: Prof. Dr. R. Hickel

**Die physikalische Rauigkeit von Zahnwurzeloberflächen  
in vitro nach Behandlung mit drei unterschiedlichen  
maschinellen Systemen im Vergleich mit konventionellen  
Handinstrumenten**

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

vorgelegt von  
Ute Merkel  
München

2005

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:	PD Dr. Dr. M. Folwaczny
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. I. Rudzki - Janson Prof. Dr. Dr. h. c. W. Gernet
Dekan:	Prof. Dr. med. D. Reinhardt
Tag der mündlichen Prüfung:	28.06.2005

*Für Bernd †*

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1. Definition und Pathogenese der Parodontitis	1
1.2. Adhäsion der Bakterien und Wachstum der Plaque	1
1.3. Die Plaque als Biofilm	3
1.4. Therapie marginaler Parodontopathien	3
1.5. Die Bearbeitung der Wurzeloberfläche	4
1.6. Die Bedeutung der Rauigkeit der Wurzeloberfläche für die klinische Manifestation der Parodontitis	5
1.7. Die Bedeutung der Rauigkeit der Wurzeloberfläche bei der bakteriellen Kolonisation der Wurzeloberfläche und der parodontalen Heilung	5
1.8. Instrumente und Geräte:	7
1.8.1. Handinstrument	7
1.8.2. Pulver-Wasserstrahlgerät	7
1.8.3. Schall- und Ultraschallgeräte	7
<b>2. Ziele der Untersuchung</b>	<b>8</b>

<b>3.</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>9</b>
3.1.	Lagerung und Vorbereitung der Probenzähne	9
3.2.	Verwendete Instrumente und Geräte:	10
3.2.1.	Handinstrument	10
3.2.2.	Pulver-Wasserstrahlgerät	10
3.2.3.	Schall- und Ultraschallgeräte:	11
3.2.3.1.	Magnetostriktives Ultraschallgerät (Dentsply De Trey)	11
3.2.3.2.	Piezoelektrisches Ultraschallgerät (EMS)	12
3.2.3.3.	Pneumatisches Schallgerät (KaVo)	13
3.3.	Aufbau und Funktionsweise des 3D-Tisches	14
3.4.	Oberflächenmeßgerät zur Rauigkeitsbestimmung	17
3.5.	Optische Darstellung des Schwingungsbildes und Vermessung der Schwingweite der Arbeitsspitzen	18
3.6.	Statistische Analyse	18
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>19</b>
<b>4.1.</b>	<b>Handinstrument</b>	<b>19</b>
<b>4.2.</b>	<b>Pulver-Wasserstrahlgerät</b>	<b>20</b>
<b>4.3.</b>	<b>Magnetostriktives Ultraschallgerät</b>	<b>21</b>
	(Dentsply De Trey)	
4.3.1.	Gerades Arbeitsende	21
4.3.1.1.	Optische Darstellung und Vermessung der Schwingungsbilder	21

4.3.2.	Gebogenes Arbeitsende	22
4.3.2.1.	Optische Darstellung und Vermessung der Schwingungsbilder	23
4.3.3.	Rasterelektronenmikroskopische Darstellung	24
4.4.	<b>Piezoelektrisches Ultraschallgerät (EMS)</b>	25
4.4.1.	Gerades Arbeitsende	25
4.4.1.1.	Optische Darstellung und Vermessung des Schwingungsbildes	26
4.4.2.	Gebogenes Arbeitsende	26
4.4.2.1.	Optische Darstellung und Vermessung der Schwingungsbilder	27
4.4.3.	Rasterelektronenmikroskopische Darstellung	28
4.5.	<b>Pneumatisches Schallgerät (KaVo)</b>	29
4.5.1.	Gerades Arbeitsende	29
4.5.1.1.	Optische Darstellung und Vermessung der Schwingungsbilder	29
4.5.2.	Gebogenes Arbeitsende	30
4.5.2.1.	Optische Darstellung und Vermessung der Schwingungsbilder	31
4.5.3.	Rasterelektronenmikroskopische Darstellung	32
4.6.	Vergleichende Darstellung der Rauigkeitswerte (Abbildungen)	33

<b>5.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>38</b>
5.1.	Betrachtung verschiedener Arbeitsparameter:	38
5.1.1.	Auflagekraft	38
5.1.2.	Geräteintensität: Die Schwingweite der Arbeitsspitzen	40
5.1.3.	Das Schwingungsbild der Arbeitsspitzen	41
5.1.4.	Der Dämpfungseffekt bei hoher Auflagekraft	41
5.1.5.	Die Kavitation an der Arbeitsspitze	42
5.2.	Vergleich der geraden und gebogenen Arbeitsspitzen und mit den anderen Untersuchungsgruppen:	43
5.2.1.	Magnetostriktives Ultraschallgerät	43
5.2.2.	Piezoelektrisches Ultraschallgerät	44
5.2.3.	Schallscaler	46
5.3.	Die Kürette in der Parodontaltherapie	47
5.4.	Das Pulver-Wasserstrahlgerät in der Parodontaltherapie	48
5.5.	Die Rauigkeiten in den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen	49

<b>6.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>51</b>
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>52</b>
<b>8.</b>	<b>Danksagungen</b>	<b>59</b>
<b>9.</b>	<b>Lebenslauf</b>	<b>61</b>

## **1. Einleitung**

### **1.1. Definition und Pathogenese der Parodontitis**

Die Parodontitis ist eine Entzündung des Zahnhalteapparates, die überwiegend durch eine bakterielle Infektion, die klinisch als Zahnplaque sichtbar wird, verursacht wird. Diese Infektion durch die Plaquebakterien kann zur Ausbildung einer parodontalen Läsion führen, die sich zunächst als supraalveoläre Zahnfleischtasche, weiter fortgeschritten dann als intraalveoläre Tasche, unter Beteiligung des Knochens als destruktiver Prozess äußert (Hoffmann-Axthelm, 1983): Nach Akkumulation von Plaquebakterien kommt es zunächst zur Migration von Granulozyten aus den erweiterten Gingivakapillaren in den Sulkus. Nach vier bis sieben Tagen werden Lymphozyten aktiviert und es beginnt der Kollagenfaserabbau. Diese frühe Läsion etabliert sich nach etwa 21 Tagen durch Migration des Saumepithels nach apikal und einem vermehrten Auftreten von Plasmazellen. Der Verlust des bindegewebigen Attachments führt langfristig zur Zahnlockerung und zum Zahnverlust. Verantwortlich für diese irreversible Destruktion ist vorwiegend die direkte oder indirekte Toxizität der Bakterien, sowie die Wechselbeziehungen zwischen Bakterien und die Gewebeantwort gegen diese Bakterien (Renggli, 1997).

### **1.2. Adhäsion der Bakterien und Wachstum der Plaque**

Auf der gesäuberten Zahnoberfläche bildet sich nach wenigen Minuten ein azellulärer Film aus Glykoproteinen und Lipiden aus Speichel und

Sulkusfluid. An dieses Schmelzoberhäutchen (Pellicle) lagern sich nach und nach durch mehrere Mechanismen Mikroorganismen aus dem Speichel an: Zunächst begünstigen Unregelmäßigkeiten der Oberflächenstruktur die frühe Anlagerung von Bakterien. Beispielsweise dienen die Vertiefungen des Oberflächenreliefs als Retentionsnischen womit die Bakterien vor mechanischen Scherkräften geschützt sind. Darüber hinaus läuft die frühe bakterielle Adhäsion an Oberflächen - unabhängig vom Oberflächenrelief - durch Wechselwirkungen zwischen Oberfläche und Bakterienzelle in Form von nicht kovalenten Bindungen, vor allem Van-der-Waal-Kräfte oder durch hydrophobe Wechselwirkung, ab. Des Weiteren erfolgt die bakterielle Besiedelung auch über kovalente Bindungen, vor allem durch Adhäsine der Bakterienzelle, die an entsprechenden Strukturen der Pellicleschicht andocken können (Marsh, PD, 1995, Rosan, B, Lammont, RJ, 2000). Nach ein bis zwei Tagen hat sich eine sogenannte Primärflora von einer etwa 10-20 Zell-Lagen dicke zusammenhängende Bakterienmasse von überwiegend grampositiven Kokken und Stäbchen gebildet. Ab der zweiten Phase, die mit der Ansiedelung von gramnegativen Kokken, Filamenten und fusiformen Bakterien einhergeht, setzt die Pathogenität für das Parodontium ein. In der dritten Phase reift die Plaque mit Spirillen und Spirochäten aus und hat nun eine mit dem bloßen Auge erkennbare Dicke von 0,5 mm (H. H. Renggli 1997). Voraussetzung für die Anlagerung einer pathogenen Plaque ist somit nur zunächst die Anheftung früher Kolonisatoren im Bereich der Strukturvertiefungen der Zahnwurzeloberfläche.

### **1.3. Die Plaque als Biofilm**

Die Mundhöhle stellt ein offenes Ökosystem dar und verfügt über ideale Wachstumsbedingungen für Mikroorganismen, wie z. B. durch Nischen. Der Biofilm ist definiert als eine organisierte Gemeinschaft von interagierenden Mikroorganismen, die in einer interzellulären Plaquematrix aus extrazellulären Polysacchariden und Speichelbestandteilen eingebettet sind (Du Pont, 1997).

### **1.4. Therapie marginaler Parodontopathien**

Konsequenterweise gilt als oberstes Gebot der parodontalen Therapie die Entfernung der bakteriellen Beläge, die Kontrolle der bakteriellen Infektion und damit die Vermeidung von weiteren destruktiven, parodontalen Entzündungsprozessen.

Dies geschieht zunächst in der Initialtherapie, in der die fest anhaftenden supra- und subgingival lokalisierten harten und weichen Beläge durch den Zahnarzt entfernt werden. Daneben erhält der Patient ausführliche Informationen über die Entstehung seines Krankheitsbildes sowie Mundhygieneinformation und -instruktion. Er sollte in der Lage sein, eine Neubesiedelung der pathogenen Plaque zu vermeiden. Die daran anschließende unterstützende Parodontitis-Therapie in etwa dreimonatigen Abständen dient der Behandlung von eventuell erneut entstandenen Plaqueretentionsstellen mit der Entfernung der neu entstandenen, pathogenen Plaque (Renvert, S et al., 1990). Nach etwa einem Jahr kann ein parodontalchirurgischer Eingriff die Effizienz der Plaqueentfernung steigern und den Zugang für die unterstützende Parodontitis-Therapie verbessern.

## 1.5. Die Bearbeitung der Wurzeloberfläche

Die Entfernung des Zahnsteins, der pathogenen, subgingivalen Mikroflora und der Toxine von der Wurzeloberfläche wird üblicherweise mit Handinstrumenten – Scaler, Küretten – oder mit maschinell getriebenen Schall- oder Ultraschallgeräten vorgenommen. Beim Vergleich von Hand- und Ultraschallscalern konnten Badersten, 1981, 1984 und Copulos 1993 keinen Unterschied in den klinischen Ergebnissen wie Reduzierung von Taschentiefen, Blutungsneigung und Attachmentgewinn feststellen. Ebenfalls keinen Unterschied im Therapieergebnis durch Schall- oder Ultraschallgeräte konnten Loos B, 1987 und Rateitschak KH, 1995 beobachten. Beide Vorgehensweisen produzieren also gleiche Ergebnisse hinsichtlich der Reduktion der Plaque, wie auch der übrigen klinischen Parameter, sowohl bei mäßig tiefen, wie auch bei tiefen Taschen (Torfason T, 1979).

Früher wurden die Wurzeloberflächen eher in aggressiver Weise wiederholt bearbeitet, um den Zement mit dem dort tief eingedrungenen Endotoxin zu entfernen (Drisko CH, 1998). Heute weiß man, daß das Endotoxin ein schwach anhaftendes Oberflächensubstrat ist, das nur locker mit der Zementoberfläche assoziiert ist (Moore J, 1986). Daher kann die parodontale Heilung auch ohne intensive Instrumentierung, das heißt, ein Debridement ohne gezieltes Entfernen von Zement, erreicht werden.

## **1.6. Die Bedeutung der Rauigkeit der Wurzeloberfläche für die klinische Manifestation der Parodontitis**

Das Ausmaß der Entzündung durch die Plaque ist von verschiedenen Faktoren abhängig: Zunächst spielt die Immunabwehr des Wirtes bei der Eindämmung der Destruktion sicherlich die bedeutendste Rolle. Je ausgeprägter die Anhäufung der bakteriellen Zahnbeläge ist, um so ausgeprägter ist natürlich die Produktion bakterieller, phlogogener Produkte. Leknes (1996) hat durch eine histologische Studie eine Beziehung zwischen der Menge der subgingivalen Plaque und dem Grad der gingivalen Reaktion demonstriert. Für das Ausmaß der Manifestation der pathogenen Bakterienflora stellt die Rauigkeit der Wurzeloberfläche einen der wichtigsten lokalen Faktoren dar. Quirynen et al. (1996) konnten aufzeigen, daß raue Oberflächen 25 mal mehr Plaque akkumulieren als glatte Oberflächen. Die Rauigkeit von intraoralen Oberflächen beeinflusst die bakterielle Plaque-Retention. In der Regel ist die Oberflächenrauigkeit mit der Plaque-Akkumulation positiv korreliert (Bollen et al. 1997). Diese Erkenntnis wurde in vielen In vivo-Studien an Tieren bestätigt, die an rauhen Wurzeloberflächen eine vermehrt pathogene Bakterienflora entwickelt haben und damit einen höheren Grad an Entzündungsreaktion (Leknes, 1997, Quirynen, 1993).

## **1.7. Die Bedeutung der Rauigkeit der Wurzeloberfläche bei der bakteriellen Kolonisation der Wurzeloberfläche und der parodontalen Heilung**

Leknes zeigte in einer Studie von 1994, daß die durch die subgingivale Instrumentation hervorgerufenen Rauigkeiten die mikrobielle

Kolonisation beeinflussen. Die von ihm mit der Kürette behandelten Oberflächen waren glatter und verursachten weniger subgingivale Kolonisation. Auch Quirynen kam 1996 zu dem Ergebnis, daß die Rauigkeiten der intraoralen Zahnhartsubstanz eine entscheidende Rolle bei der bakteriellen Besiedelung und Kolonisation spielt.

Der langfristige Behandlungserfolg wird im Allgemeinen weniger anhand der glatten Wurzeloberfläche unmittelbar nach der Bearbeitung beurteilt, sondern vielmehr anhand der Gewebereaktion in Form der Qualität der parodontalen Heilung bzw. Reparation. Waerhaug hatte 1956 gezeigt, daß eine rauhe Wurzeloberfläche weder den Wundheilungsverlauf, noch die bakterielle Rekolonisation beeinflusst. Die Rauigkeit könnte allerdings klinisch als falsch positiver Zahnsteinbefund zur Überbehandlung führen. Rateitschak stellte mit seiner Studie 1996 fest, daß die Bemühungen um eine glatte Wurzeloberfläche während einer parodontalen Therapie unnötig seien. Auch nach Rosenberg (1974) beeinträchtigt die Oberflächenrauigkeit die Heilung nicht.

Das exakte Ausmaß, in dem Oberflächenrauigkeit an Zahnwurzeln die parodontale Heilung beeinflusst, scheint also immer noch unklar.

## **1.8. Instrumente und Geräte**

Zur Entfernung von harten Auflagerungen und weichen Beläge von der Zahnwurzeloberfläche können verschiedene Instrumente und Geräte eingesetzt werden:

### **1.8.1. Handinstrument**

Die Kürette ist eines der gebräuchlichsten, mechanischen Handinstrumente. Sie verfügt über ein halbmondförmiges Arbeitsende mit scharfer Kante, mit der ein Abschaben der Zahnwurzeloberfläche möglich ist.

### **1.8.2. Pulver-Wasserstrahlgerät**

Über ein Handstück mit Auslassdüse werden durch einen starken Luftstrom kleinste Pulverpartikel und Wasser in einem scharfen, gebündelten Pulver-Wasser-Luftstrahl derart beschleunigt, dass sie beim Auftreffen auf der Zahnwurzeloberfläche weiche Auflagerungen entfernen können.

### **1.8.3. Schall- und Ultraschallgeräte**

Schall- und Ultraschallgeräte bestehen aus einem Handstück mit einer metallischen Arbeitsspitze, die durch verschiedene Verfahren in Schwingungen in einem Frequenzbereich zwischen 8.000 und 45.000 Hz

versetzt wird. Die Schwingungsform und die Amplitude variieren je nach verwendetem System, nach der Form der Arbeitsspitze und der angewendeten Leistungsintensität des Gerätes. Die Schwingungen werden dabei mechanisch (magnetostriktiv), elektromechanisch (piezoelektrisch) oder durch Druckluft (pneumatisch) generiert.

## **2. Ziele der Untersuchung**

Das Ziel dieser Untersuchung war es, die physikalischen Rauigkeiten auf Wurzeloberflächen in vitro zu ermitteln, die nach Anwendung mit unterschiedlichen Instrumenten entstehen. Dabei sollte der Einfluß der Arbeitsparameter Anpressdruck und Leistung untersucht werden. Darüber hinaus sollte der Einfluß der Form der Arbeitsspitzen – gerade, gebogen – auf die Rauigkeit evaluiert werden.

### **3. Material und Methoden**

#### **3.1. Lagerung und Vorbereitung der Probenzähne**

Als Versuchsproben wurden extrahierte Zähne jeglicher Lokalisation verwendet, die direkt nach der Extraktion in einer ca. 1-%-igen Natrium-Azid-Lösung in einem luftdichten Kunststoffbehälter gelagert wurden. Die Bearbeitung der Zahnoberfläche erfolgte auf Abschnitten der Wurzeloberflächen, die durch den Alveolarknochen bedeckt waren, d. h., keine Zeichen einer vorangegangenen Behandlung aufwiesen und nicht durch die Extraktionszange beschädigt waren. Darüber hinaus gelangten nur möglichst ebene Flächen zur Bearbeitung.

Die Proben wurden auf Trägern befestigt, die sowohl zur Fixierung der Proben in der Scalingapparatur (3-D Tisch, modifiziert nach Dr. G. Petersilka, Münster, Abbildung unter 3.3.) wie auch in dem Oberflächenmessgerät (Perthometer S3P, Feinprüf Perthen GmbH, Göttingen, Abbildung unter 3.4.) dienten. Die Befestigung der Zähne auf den Probenträgern erfolgte mit Hartwachs so, daß die zu bearbeitende Wurzeloberfläche zum einen horizontal ausgerichtet war und zum anderen die Wurzel zugleich parallel zur Bearbeitungs- wie auch zur Abtastrichtung zu liegen kam. Die zu bearbeitende Wurzeloberfläche wurde mit wasserfester, schwarzer Farbe (Permanent Marker, edding 3000) markiert, um die tatsächlich bearbeitete Strecke für den darauffolgenden Abtastvorgang genau erkennen und entsprechend ausrichten zu können.

## **3.2. Verwendete Instrumente und Geräte**

### **3.2.1. Handinstrument**

Als Handinstrument für die Bearbeitung der Proben der Vergleichsgruppe wurde eine Graceykürette (Hu-Friedy SRP 15/16 R7) für jede Probe maschinell (Periostar) frisch geschliffen. Das Arbeitsende wurde jeweils mit einer Kraft von 0,5 N und 2 N auf die Proben aufgesetzt.

### **3.2.2. Pulver-Wasserstrahlgerät**

Das Air Flow-Gerät PROPHYflex<sup>®</sup> (KaVo, Biberach an der Riß, Deutschland) wurde mit niedriger Leistungs-Intensität, mit einem Luftdruck von 2,1 bar, und mit hoher Leistungs-Intensität, mit einem Luftdruck von 3,5 bar, eingesetzt. Die Einstellung wurde an der Zahnarztinheit mittels des Fußreglers vorgenommen. Der Abstand der Auslassdüse zur Zahnoberfläche betrug etwa 10 mm und die Einstrahlrichtung wurde in einem Winkel von ca. 45° auf die Wurzeloberfläche eingestellt. Entsprechend den Empfehlungen des Herstellers wurde das Natriumbikarbonat - Reinigungspulver (Ref. 0.489.0001) verwendet.

### 3.2.3. Schall- und Ultraschallgeräte

Bei den Schall- und Ultraschallgeräten kamen jeweils ein gerades und ein gebogenes Arbeitsende zum Einsatz, die speziell für subgingivales Instrumentieren vorgesehen sind. Diese wurden jeweils mit einem Anpressdruck von 0,5 N und 2 N eingesetzt und dabei wurde jeweils noch mit niedriger und hoher Leistungs-Intensität gearbeitet. Die Arbeitsspitzen wurden auf der Wurzeloberfläche in einem Winkel von etwa 30° aufgesetzt und mit konstanter Wasserkühlung betrieben.

gerades Arbeitsende	0,5 N	niedrige Intensität
		hohe Intensität
	2,0 N	niedrige Intensität
		hohe Intensität
gebogenes Arbeitsende	0,5 N	niedrige Intensität
		hohe Intensität
	2,0 N	niedrige Intensität
		hohe Intensität

*Tabelle 1: Kombination der Arbeitsparameter.*

#### 3.2.3.1. Magnetostriktives Ultraschallgerät

Es wurde das magnetostriktive Ultraschallgerät Cavitron® Select™ SPS™ (Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz) verwendet, bei dem ein Lamellenbündel im Inneren des Handgriffes durch ein sich veränderndes Magnetfeld vibriert. Diese Vibration wird auf das mit dem Lamellenbündel fest verbundene Arbeitsende übertragen, das dadurch mit einer Frequenz von 30 kHz schwingt.

Es kamen das gerade Arbeitsende 30K<sup>tm</sup> FSI<sup>®</sup> Slimline<sup>®</sup> 10S und das gebogene Arbeitsende 30K<sup>tm</sup> FSI<sup>®</sup> Slimline<sup>®</sup> 10L zum Einsatz. Die Leistungsintensität wurde entsprechend dem unteren Anschlag und dem oberen Anschlag des Einstellknopfes am Gerät eingestellt.

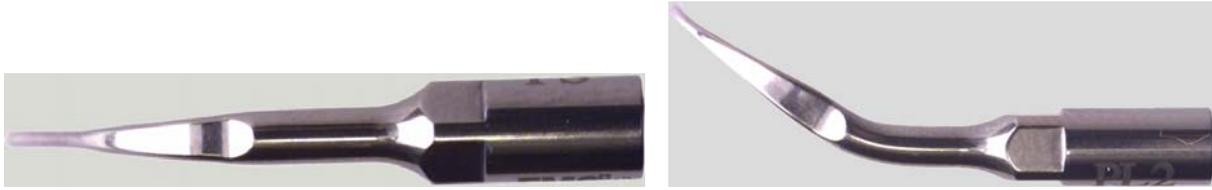


*Abbildungen 1 und 2:*

*Arbeitsspitzen 30K<sup>tm</sup> FSI<sup>®</sup> Slimline<sup>®</sup> 10S, gerade (links) und 30K<sup>tm</sup> FSI<sup>®</sup> Slimline<sup>®</sup> 10L, gebogen (rechts).*

### **3.2.3.2. Piezoelektrisches Ultraschallgerät**

Als piezoelektrisches Ultraschallgerät diente der Piezon<sup>®</sup> Master 400 (Electro Medical Systems, München). Die Schwingung des Arbeitsendes wurde bei diesem Gerät durch einen im Handstück befindlichen Quarz erzeugt. An diesem Quarz wird eine Wechselspannung angelegt, die aufgrund der bipolaren Struktur der Quarzmoleküle je nach Polung der Spannung wechselweise zu einer Kontraktion und Ausdehnung des Quarzes führt. Diese Oszillation des Quarzes wird auf das mit ihm fest verbundene Arbeitsende mit einer Frequenz von 20-35 kHz übertragen. Es wurden die Ansätze PS und PL 2 eingesetzt. Die Intensität wurde am Gerät mit dem Einstellknopf entsprechend dem unteren und dem oberen Anschlag eingestellt.



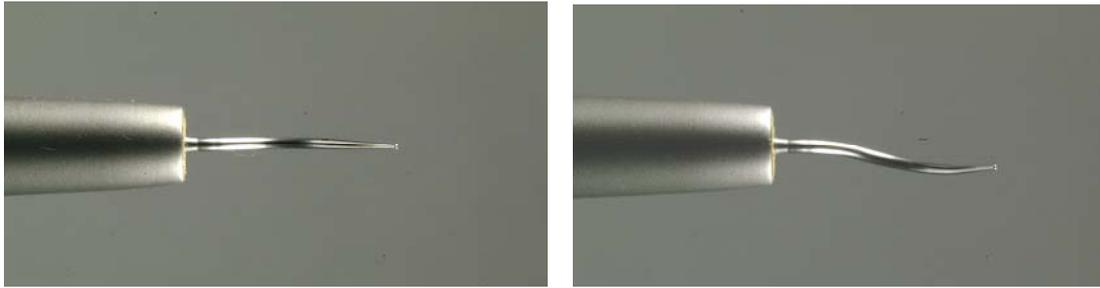
*Abbildungen 3 und 4:*

*Arbeitsspitzen PS, gerade (links) und PL 2, gebogen (rechts).*

### **3.2.3.3. Pneumatisches Schallgerät**

Als Schallscaler kam das Sonicflex<sup>®</sup> Lux (KaVo, Biberach an der Riß, Deutschland) zum Einsatz, das durch Druckluft betrieben wird. Dazu wird eine Metallhülse exzentrisch um eine an den Enden in Gummi gelagerte Metallstange durch tangential angeordnete Anblasbohrungen in eine Drehbewegung versetzt, so daß die Metallhülse eine Unwucht verursacht, die in der Metallstange eine transversale Schwingung mit einer Frequenz von 6 kHz erzeugt. Diese Schwingung wird auf das am Ende der Metallstange über ein Gewinde befindliches Arbeitsende übertragen.

Es wurden die Arbeitsansätze Sonicflex<sup>®</sup> paro 60 und Sonicflex<sup>®</sup> paro 62 verwendet. Die Leistungsintensität wurde mit dem Fußregler an der Zahnarzteinheit eingestellt, wobei die niedrige Intensität einem Luftdruck von 2,1 bar, die hohe Intensität von 3,5 bar entspricht.



Abbildungen 5 und 6:

Arbeitsspitzen Sonicflex<sup>®</sup> paro 60, gerade (links) und Sonicflex<sup>®</sup> paro 62, gebogen (rechts)

### 3.3. Aufbau und Funktionsweise des 3D-Tisches

Die Behandlung der Versuchsproben erfolgte standardisiert mit dem nach Petersilka modifizierten 3-D Tisch (Flemmig, TF, Petersilka GJ, 1998). Die Probenträger wurden dabei mittels Klemmschraube auf einem in 3 Ebenen verstellbaren Schlitten fixiert. Dieser Schlitten wurde über einen Elektromotor in einer Ebene auf eine Strecke von 7 mm mit einer Frequenz von 2 Hz vor und zurück bewegt. Das jeweilig verwendete Handstück wurde in einer kugelgelagerten Halterung befestigt, an dem sich ein Ausleger als Wägebalken mit stufenlos verschiebbaren Gewichten befindet. Das erforderliche Gewicht konnte über einen Dehnungsmess-Streifen mit einer Genauigkeit von 0,01 N eingestellt und auf einer digitalen Anzeige kontinuierlich abgelesen werden, was zunächst ohne Kontakt zur Probenoberfläche vorgenommen wurde. Das Arbeitseende konnte durch Rotation um die Längsachse des Handstückes in der Halterung auf den erforderlichen Anstellwinkel von 30° ausgerichtet werden.

Um die Bearbeitung der Wurzeloberfläche an geeigneter Stelle vorzunehmen, konnte der den Schlitten tragende gesamte Anteil des 3D-Tisches durch zwei Gewindetribe in zwei räumlichen Achsen bewegt werden. Waren Gewicht, Angulation und Bearbeitungsfläche eingestellt, wurde der gesamte Schlitten mit der Probe von unten mittels der Stellschraube in der dritten Ebene an das Arbeitsende nach oben bewegt, solange, bis die digitale Gewichtsanzeige Null anzeigte, was bedeutete, daß das eingestellte Gewicht über das Handstück und das Arbeitsende nun auf der Zahnoberfläche lagert. Danach wurden mehrere Bearbeitungsspuren mit jeweils 20 Arbeitszüge ausgeführt, die stufenlos per Stellschraube ineinander überführt wurden, da für den darauffolgenden Abtastvorgang mit dem Oberflächenmeßgerät eine breitere Bearbeitungsfläche nötig war, als das Arbeitsende in nur einer Spur hinterlassen würde.

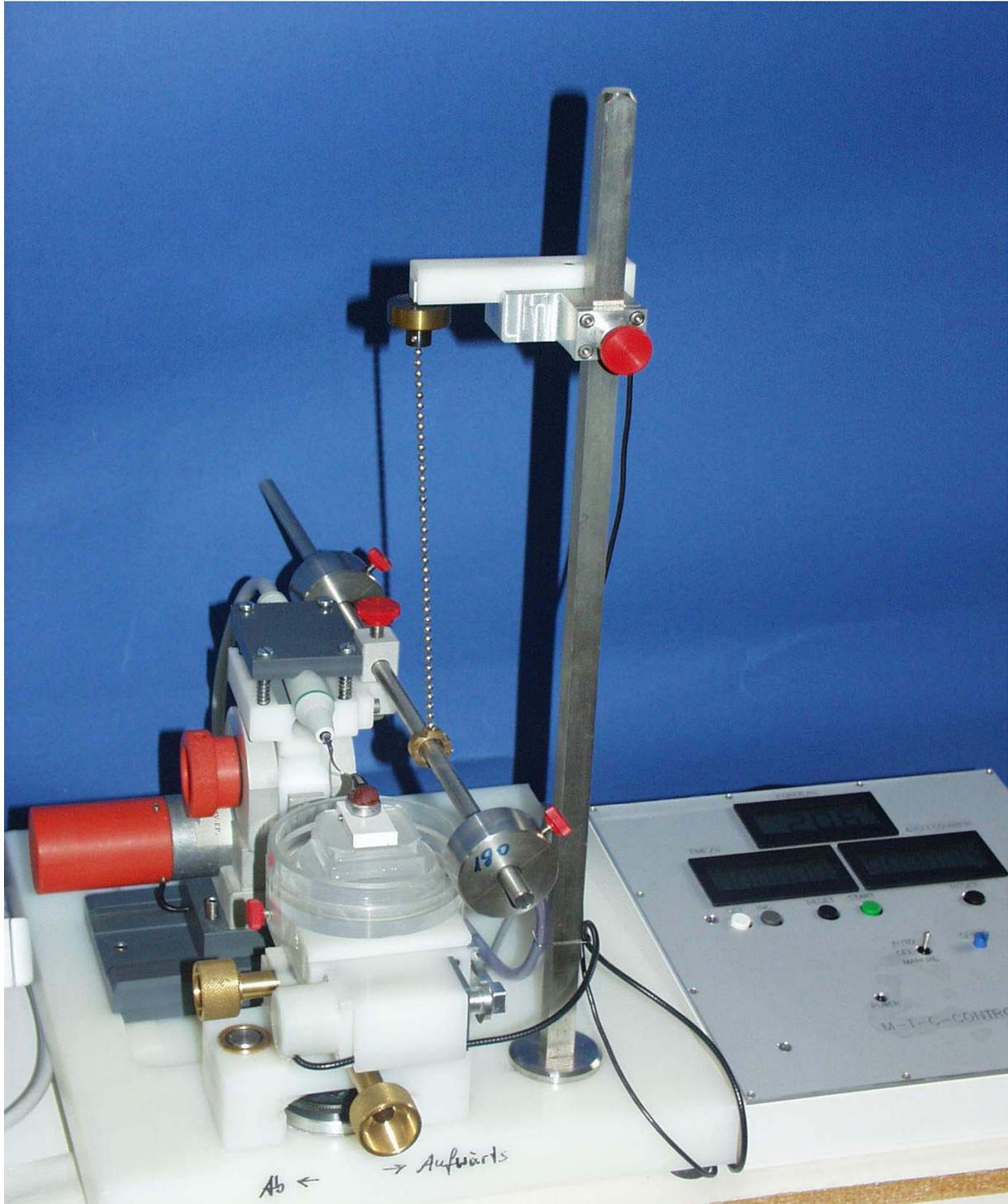


Abbildung 7:  
Scalingapparatur zur *in vitro*-Bearbeitung extrahierter Zähne

### 3.4. Oberflächenmeßgerät zur Rauigkeitsbestimmung

Unmittelbar im Anschluß an die Bearbeitung wurde die immer feucht gehaltene Probe in dem Oberflächenmeßgerät (Perthometer S3P, Feinprüf Perthen GmbH, Göttingen) eingespannt. Ein Oberflächentaster in Form einer Diamantspitze tastet die zu prüfende Oberfläche entlang der Taststrecke von 5,6 mm geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit ab. Er zeichnet dabei einen zweidimensionalen Profilschnitt auf, indem die Oberflächenstrukturen als mechanische Auslenkung der Tastspitze erfaßt und in digitale Werte umgewandelt werden. Die Abtaststrecke 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 miteingehen zu lassen. Für jede Probe wurde ein Meßprotokoll angefertigt, auf dem ein Profildiagramm und die beiden Kenngrößen - arithmetischer Mittenrauhwert  $R_a$  und maximale Rauhtiefe  $R_{max}$  - ausgedruckt wurden.



Abbildung 8: Oberflächenmessgerät

### **3.5. Optische Darstellung des Schwingungsbildes und Vermessung der Schwingweite der Arbeitsspitzen**

Um das Schwingungsbild und die Schwingweite der Arbeitsspitzen optisch darstellen und vermessen zu können, wurden diese unter dem Mikroskop neben einem Vergleichsmaßstab jeweils mit niedriger und mit hoher Geräteintensität fotografiert. Dabei wurde durch Langzeitbelichtung die punktförmige Reflexion einer Lichtquelle, die sich frontal auf der Arbeitsspitze bildete, als Spur abgelichtet. Diese Spur stellt das Schwingungsbild dar und kann in ihrer Ausdehnung am Vergleichsmaßstab abgemessen werden. Eine Einheit am Vergleichsmaßstab entspricht 100  $\mu\text{m}$ .

### **3.6. Statistische Analyse**

Die statistische Analyse wurde mit der einfachen Varianzanalyse durchgeführt, wobei der Mittelwert und die Standardabweichung für den arithmetischen Mittenrauhwert  $R_a$  und die maximale Rauhtiefe  $R_{\text{max}}$  für jede Gruppe errechnet wurde. Ergab sich eine Differenz  $p < 0,05$ , wurde das Ergebnis als signifikant angesehen.

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Handinstrument

Für das Handinstrument als Vergleichsgruppe ergaben sich insgesamt die niedrigsten Werte für den arithmetischen Mittenrauhwert ( $R_a$ ) und die maximale Rauhtiefe ( $R_{max}$ ). Zwischen den beiden Auflagekräften 0,5 N und 2,0 N zeigte sich kein signifikanter Unterschied.

	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)	$R_{max}$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)
0,5 N	<b>0,5</b> ( $\pm$ 0,0)	<b>3,7</b> ( $\pm$ 0,8)
2 N	<b>0,4</b> ( $\pm$ 0,1)	<b>3,9</b> ( $\pm$ 1,4)

Tabelle 2: Durchschnittliche Werte der Rauigkeiten der Wurzeloberflächen nach Behandlung mit dem Handinstrument (Graceykurette)

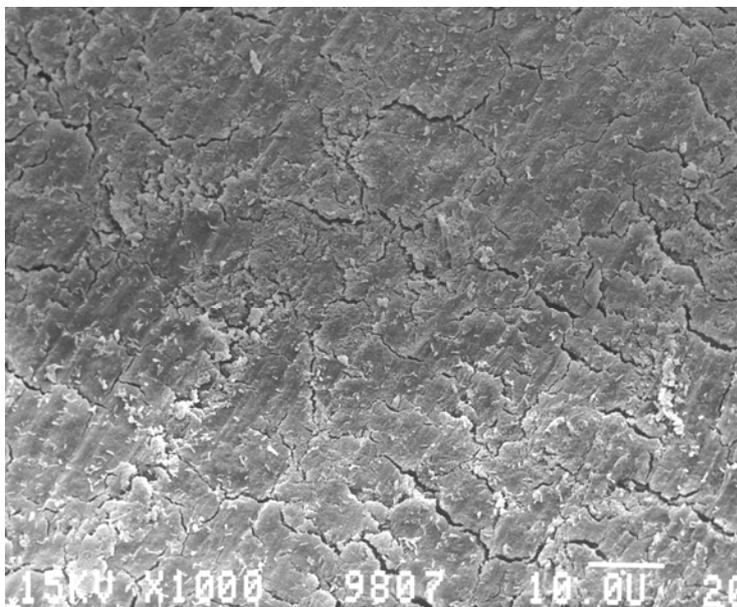


Abbildung 9 :

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer mit der Kürette mit 0,5 N Auflagekraft bearbeiteten Wurzeloberfläche bei 1000-facher Vergrößerung.

## 4.2. Pulver – Wasserstrahlgerät

Für die Werte vom Pulver – Wasserstrahlgerät zeigte sich eine Abhängigkeit vom verwendeten Luftdruck zur entstandenen Rauigkeit. Bei der niedrigen Geräteintensität mit einem Luftdruck von 2,1 bar entstanden sowohl für  $R_a$  wie auch für  $R_{max}$  niedrigere Werte als bei der hohen Geräteintensität mit einem Luftdruck von 3,5 bar.

	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm\text{SD}$ )	$R_{max}$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm\text{SD}$ )
2,1 bar	<b>1,0</b> ( $\pm 0,1$ )	<b>8,8</b> ( $\pm 2,1$ )
3,5 bar	<b>1,2</b> ( $\pm 0,2$ )	<b>10,2</b> ( $\pm 3,7$ )

Tabelle 3: Durchschnittliche Werte der Rauigkeiten der Wurzeloberflächen nach Behandlung mit dem Pulver- Wasserstrahlgerät

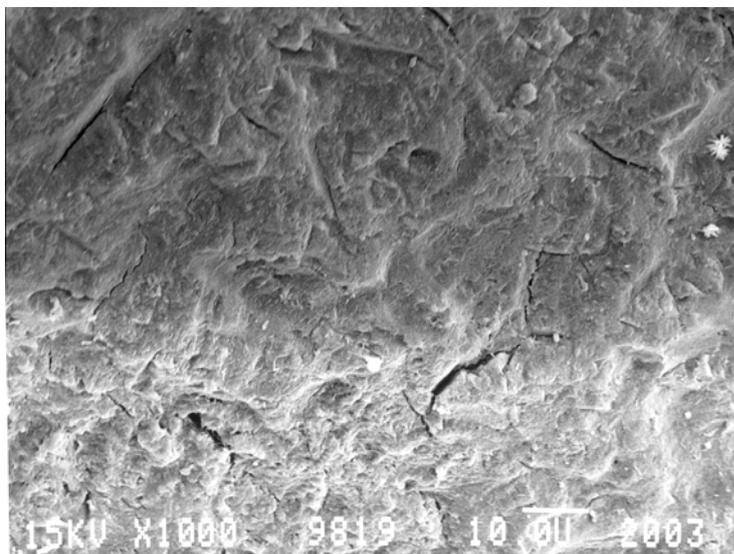


Abbildung 10:

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Wurzeloberfläche bei 1000-facher Vergrößerung, die mit dem Pulver-Wasserstrahlgerät bei niedriger Geräteintensität bearbeitet wurde.

### 4.3. Magnetostriktives Ultraschallgerät, (Cavitron®)

#### 4.3.1. Gerades Arbeitsende

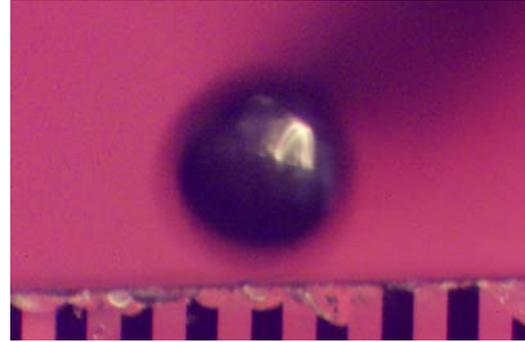
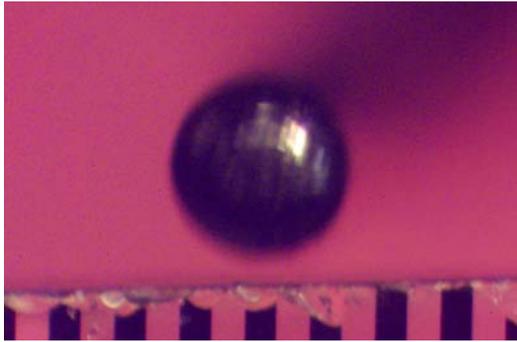
Für das gerade Arbeitsende ergab sich beim Vergleich der Parameter für folgende Konstellationen sowohl für  $R_a$  wie auch für  $R_{max}$  ein signifikanter Unterschied: Zwischen der Einstellung der niedrigen Geräteintensität mit jeweils niedriger und hoher Auflagekraft verglichen mit der Einstellung der hohen Geräteintensität mit niedriger und hoher Auflagekraft. Die erhaltenen Zahlen weisen darauf hin, daß bei hohem Anpressdruck signifikant geringere Rauigkeiten entstehen. Die hohe Geräteintensität hat, unabhängig von der Auflagekraft, für beide Kenngrößen,  $R_a$  und  $R_{max}$ , geringere Werte herbeigeführt.

	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)	$R_{max}$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)
0,5 N / niedrig	<b>1,1</b> ( $\pm$ 0,3)	<b>10,2</b> ( $\pm$ 3,3)
0,5 N / hoch	<b>0,8</b> ( $\pm$ 0,2)	<b>8,5</b> ( $\pm$ 3,3)
2,0 N / niedrig	<b>0,7</b> ( $\pm$ 0,2)	<b>6,6</b> ( $\pm$ 1,9)
2,0 N / hoch	<b>0,6</b> ( $\pm$ 0,1)	<b>4,8</b> ( $\pm$ 1,3)

Tabelle 4: Übersicht der Mittelwerte für das magnetostriktive Ultraschallgerät (gerade Arbeitsspitze).

#### 4.3.1.1. Optische Darstellung und Vermessung des Schwingungsbildes

Bei der Vermessung der Schwingweite des geraden Arbeitsendes ergab sich für die niedrige Intensität eine Amplitude von etwa 100  $\mu\text{m}$  und für die hohe Geräteintensität eine Amplitude von etwa 150  $\mu\text{m}$ .



Abbildungen 11 und 12 :

Schwingungsbild des geraden Arbeitsendes, niedrige Intensität

Schwingungsbild des geraden Arbeitsendes, hohe Intensität

#### 4.3.2. Gebogenes Arbeitsende

Bei Vermessung des gebogenen Arbeitsendes mit 0,5 N Auflagekraft und hoher Geräteintensität finden sich die höchsten Rauigkeitswerte mit  $R_a$  von 1,8  $\mu\text{m}$  und  $R_{\text{max}}$  von 17,2  $\mu\text{m}$ .

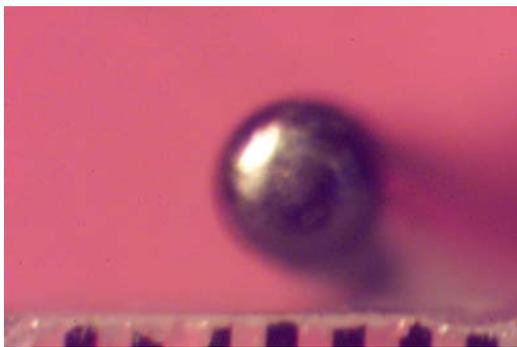
Die hohe Geräteintensität hat, unabhängig von der Auflagekraft, für beide Kenngrößen  $R_a$  und  $R_{\text{max}}$  höhere Werte herbeigeführt, als für die niedrige Geräteintensität. Bei den Werten für das gerade Arbeitsende zeigte sich eine umgekehrte Abhängigkeit.

	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)	$R_{\text{max}}$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)
0,5 N / niedrig	<b>1,4</b> ( $\pm$ 0,3)	<b>15,2</b> ( $\pm$ 5,0)
0,5 N / hoch	<b>1,8</b> ( $\pm$ 0,3)	<b>17,2</b> ( $\pm$ 4,3)
2,0 N / niedrig	<b>1,2</b> ( $\pm$ 0,4)	<b>13,3</b> ( $\pm$ 5,1)
2,0 N / hoch	<b>1,4</b> ( $\pm$ 0,2)	<b>15,1</b> ( $\pm$ 2,8)

Tabelle 5: Übersicht der Mittelwerte für das magnetostruktive Ultraschallgerät (gebogene Arbeitsspitze).

#### 4.3.2.1. Optische Darstellung und Vermessung des Schwingungsbildes

Bei der Vermessung der Schwingweite ergab sich sowohl für die niedrige Intensität eine Amplitude von etwa 200  $\mu\text{m}$  wie auch für die hohe Intensität eine Amplitude von etwa 200  $\mu\text{m}$ .

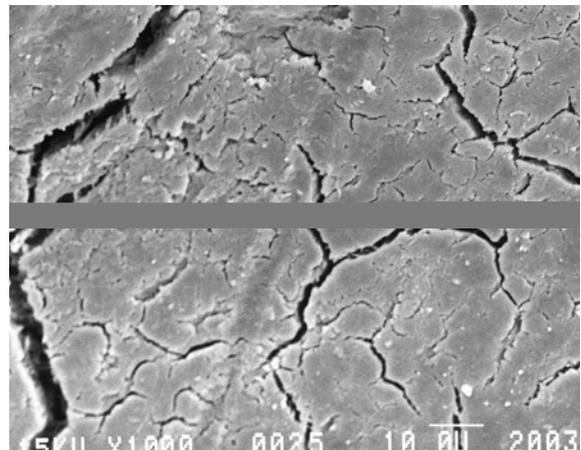
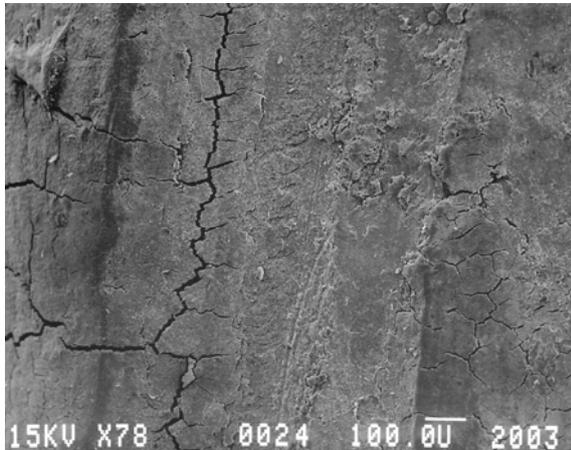


*Abbildungen 13 und 14:*

*Schwingungsbild des gebogenen Arbeitsendes, niedrige Intensität*

*Schwingungsbild des gebogenen Arbeitsendes, hohe Intensität*

### 4.3.3. Rasterelektronenmikroskopische Darstellung



*Abbildungen 15 und 16:*

*Die linke Abbildung zeigt einen Wurzelabschnitt in 78-facher Vergrößerung, der mit dem geraden Arbeitsende mit hoher Auflagekraft und hoher Geräteintensität bearbeitet wurde. Die rechte Abbildung stellt einen Ausschnitt bei 1000-facher Vergrößerung aus der linken Abbildung dar.*

## 4.4. Piezoelektrisches Ultraschallgerät, (EMS<sup>®</sup>)

### 4.4.1. Gerades Arbeitsende

Die Daten aus den Versuchen mit dem piezoelektrischen Ultraschallgerät EMS<sup>®</sup> lassen folgendes Ergebnis für das gerade Arbeitsende jeweils in beiden Kenngrößen ( $R_a$  und  $R_{max}$ ) erkennen:

Bei der Einstellung der hohen Geräteintensität mit jeweils der niedrigen Auflagekraft von 0,5 N und der hohen Auflagekraft von 2,0 N sind signifikante Unterschiede bei den Werten entstanden, und zwar dahingehend, daß bei der hohen Auflagekraft signifikant geringere Rauigkeitswerte entstanden sind als bei der niedrigen Auflagekraft.

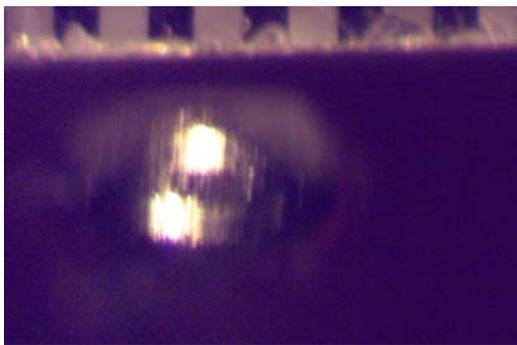
Bei der Einstellung der niedrigen Geräteintensität hingegen entstehen bei der hohen Auflagekraft höhere Rauigkeitswerte als bei der niedrigen Auflagekraft, somit also eine genau umgekehrte Abhängigkeit.

	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)	$R_{max}$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)
0,5 N / niedrig	<b>0,5</b> ( $\pm$ 0,2)	<b>6,2</b> ( $\pm$ 3,2)
0,5 N / hoch	<b>0,9</b> ( $\pm$ 0,2)	<b>8,7</b> ( $\pm$ 1,8)
2,0 N / niedrig	<b>0,9</b> ( $\pm$ 0,2)	<b>8,0</b> ( $\pm$ 3,7)
2,0 N / hoch	<b>0,7</b> ( $\pm$ 0,2)	<b>6,3</b> ( $\pm$ 1,3)

*Tabelle 6: Übersicht über die durchschnittlichen Rauigkeitswerte für das piezoelektrische Ultraschallgerät (gerade Arbeitsspitze).*

#### 4.4.1.1. Optische Darstellung und Vermessung des Schwingungsbildes

Bei der Vermessung der Schwingweite durch die optische Darstellung des Schwingungsbildes unter dem Mikroskop ergab sich für die hohe Intensität eine Amplitude von etwa  $80\mu\text{m}$ .



*Abbildung 17:  
Schwingungsbild des geraden Arbeitsendes,  
hohe Intensität*

#### 4.4.2. Gebogenes Arbeitsende

Bei der Einstellung der hohen Geräteintensität werden signifikant höhere Rauigkeitswerte für den niedrigen Anpreßdruck hervorgerufen als für den hohen Anpreßdruck.

Bei der Einstellung der niedrigen Geräteintensität hingegen entstehen auch hier bei der hohen Auflagekraft höhere Rauigkeitswerte als bei der niedrigen Auflagekraft, also genau umgekehrt.

Innerhalb der Gruppe mit dem gebogenen Arbeitsende wurden mit der niedrigen Geräteintensität und der niedrigen Auflagekraft die niedrigsten Werte für  $R_a$  mit  $0,9\mu\text{m}$  und  $R_{\text{max}}$  mit  $8,6\mu\text{m}$  erreicht.

	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)	$R_{\text{max}}$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)
0,5 N / niedrig	<b>0,9</b> ( $\pm$ 0,3)	<b>8,6</b> ( $\pm$ 3,0)
0,5 N / hoch	<b>1,3</b> ( $\pm$ 0,3)	<b>13,1</b> ( $\pm$ 4,2)
2,0 N / niedrig	<b>1,0</b> ( $\pm$ 0,4)	<b>9,4</b> ( $\pm$ 2,6)
2,0 N / hoch	<b>0,9</b> ( $\pm$ 0,3)	<b>9,6</b> ( $\pm$ 1,8)

Tabelle 7: Übersicht über die durchschnittlichen Rauheitswerte für das piezoelektrische Ultraschallgerät (gebogene Arbeitsspitze).

#### 4.4.2.1. Optische Darstellung und Vermessung der Schwingungsbilder

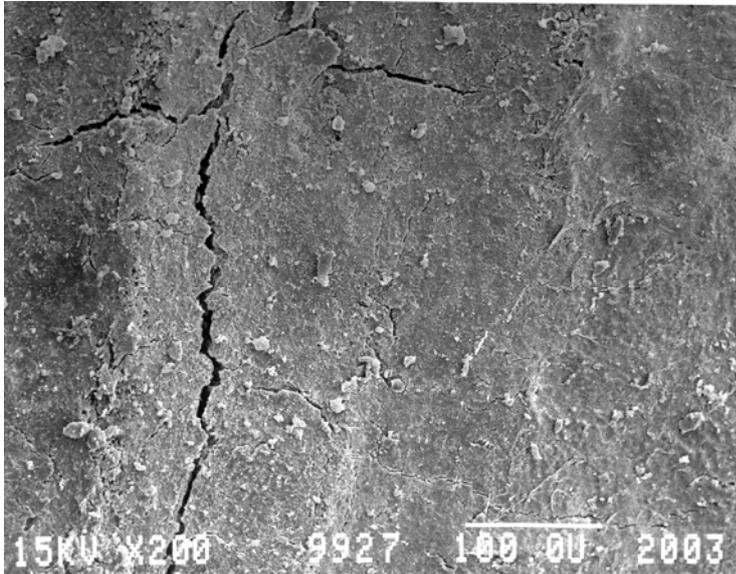
Bei der Vermessung der Schwingweite durch die optische Darstellung des Schwingungsbildes unter dem Mikroskop ergab sich sowohl für die niedrige wie auch für die hohe Geräteintensität eine Amplitude von etwa  $50 \mu\text{m}$ .



Abbildungen 18 und 19 :  
Schwingungsbild des gebogenen  
Arbeitsendes, niedrige Intensität

Schwingungsbild des gebogenen  
Arbeitsendes, hohe Intensität

#### 4.4.3. Rasterelektronenmikroskopische Darstellung



*Abbildung 20:*

*Aufnahme eines Ausschnittes einer Zahnwurzeloberfläche bei 200-facher Vergrößerung, die mit dem gebogenen Arbeitsende mit hoher Auflagekraft und hoher Geräteintensität bearbeitet wurde.*

## 4.5. Schallscaler (KaVo)

### 4.5.1. Gerades Arbeitsende

Aus den Daten der Gruppe mit dem geraden Arbeitsende lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

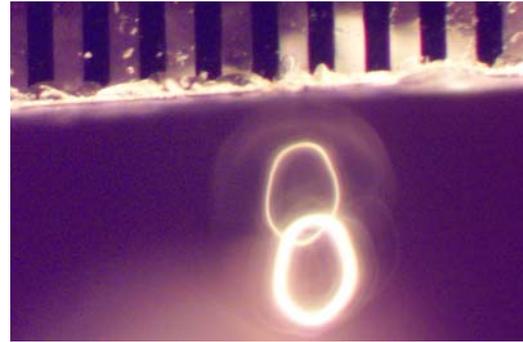
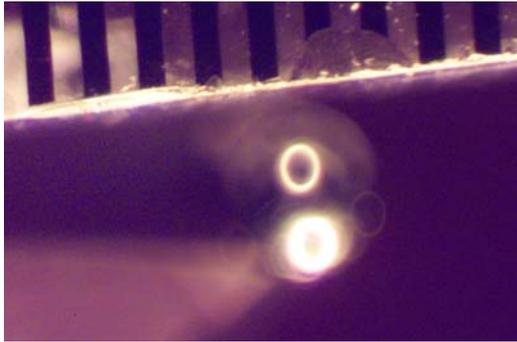
Die Gegenüberstellung der niedrigen und der hohen Geräteintensität führt bei der hohen Auflagekraft von 2,0 N zu signifikanten Unterschieden. So wurden mit der hohen Auflagekraft erheblich stärkere Rauhtiefen induziert.

	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)	$R_{\text{max}}$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)
0,5 N / niedrig	<b>1,1</b> ( $\pm$ 0,2)	<b>10,4</b> ( $\pm$ 3,3)
0,5 N / hoch	<b>1,2</b> ( $\pm$ 0,1)	<b>11,3</b> ( $\pm$ 2,2)
2,0 N / niedrig	<b>1,1</b> ( $\pm$ 0,3)	<b>10,9</b> ( $\pm$ 4,2)
2,0 N / hoch	<b>1,5</b> ( $\pm$ 0,3)	<b>15,5</b> ( $\pm$ 4,0)

*Tabelle 8: Übersicht der durchschnittlichen Rauheitswerte für den Schallscaler (gerades Arbeitsende)*

#### 4.5.1.1. Optische Darstellung und Vermessung der Schwingungsbilder

Bei der Vermessung der Schwingweite durch die optische Darstellung des Schwingungsbildes unter dem Mikroskop ergab sich für die niedrige Geräteintensität eine Amplitude von etwa 150  $\mu\text{m}$  und für die hohe Intensität eine Amplitude von etwa 350  $\mu\text{m}$ .



Abbildungen 21 und 22 :

Schwingungsbild des geraden Arbeitsendes, niedrige Intensität

Schwingungsbild des geraden Arbeitsendes, hohe Intensität

#### 4.5.2. Gebogenes Arbeitsende

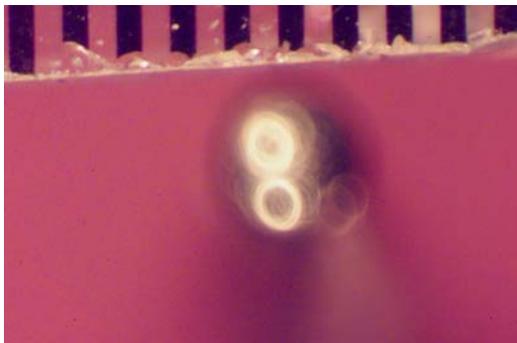
Die Rauigkeitswerte für die gebogene Arbeitsspitze verhalten sich im Vergleich zur geraden Arbeitsspitze bei allen Parameter-Konstellationen einheitlich, d. h. stärkere Rauigkeiten bei hoher Geräteintensität sowohl für den niedrigen wie auch für den hohen Anpreßdruck. Der hohe Anpreßdruck bei der niedrigen Geräteintensität führt nur für  $R_{\max}$  zu höheren Werten.

	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)	$R_{\max}$ ( $\mu\text{m}$ ) ( $\pm$ SD)
0,5 N / niedrig	<b>1,1</b> ( $\pm$ 0,1)	<b>10,1</b> ( $\pm$ 1,2)
0,5 N / hoch	<b>1,4</b> ( $\pm$ 0,2)	<b>13,6</b> ( $\pm$ 3,6)
2,0 N / niedrig	<b>0,9</b> ( $\pm$ 0,2)	<b>9,2</b> ( $\pm$ 2,4)
2,0 N / hoch	<b>1,3</b> ( $\pm$ 0,3)	<b>15,1</b> ( $\pm$ 6,3)

Tabelle 9: Übersicht der durchschnittlichen Rauigkeitswerte für den Schallscaler (gebogenes Arbeitsende)

#### 4.5.2.1. Optische Darstellung und Vermessung der Schwingungsbilder

Bei der Vermessung der Schwingweite durch die optische Darstellung des Schwingungsbildes unter dem Mikroskop ergab sich für die niedrige Geräteintensität eine Amplitude von etwa 150  $\mu\text{m}$  und für die hohe Intensität eine Amplitude von etwa 350  $\mu\text{m}$ .

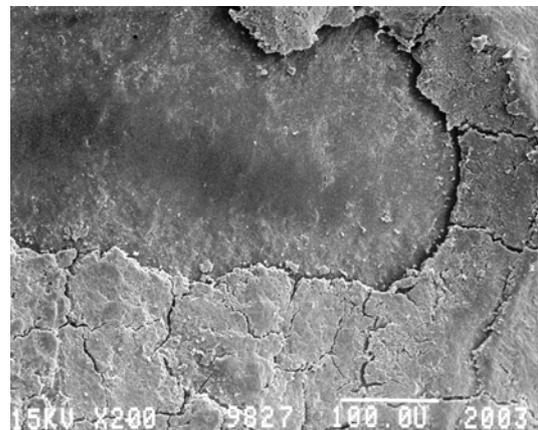
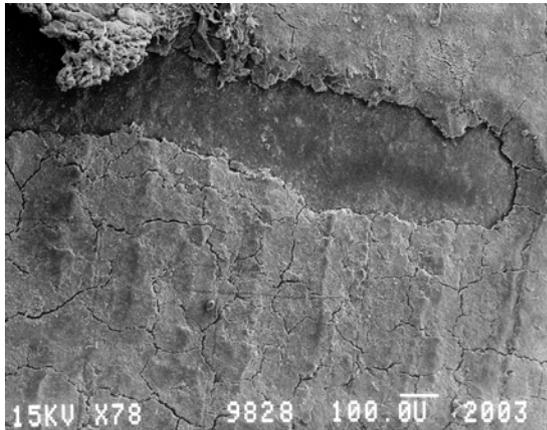


*Abbildungen 23 und 24:  
Schwingungsbild des gebogenen  
Arbeitsendes, niedrige Intensität*



*Schwingungsbild des gebogenen  
Arbeitsendes, hohe Intensität*

### 4.5.3. Rasterelektronenmikroskopische Darstellung



*Abbildungen 25 und 26:*

*Ausschnitt einer Zahnwurzeloberfläche (Umkehrpunkt der Ziehbewegungen), die mit dem geraden Arbeitsende mit niedriger Auflagekraft und niedriger Intensität bearbeitet wurde. Links in 78-facher Vergrößerung und rechts eine Ausschnittvergrößerung daraus in 200-facher Vergrößerung.*

#### 4.6. Vergleichende Darstellung der Rauigkeitswerte

In den Abbildungen 10 bis 13 sind die Rauigkeitswerte des arithmetischen Mittenrauhwertes ( $R_a$ ) aller eingesetzten Arbeitsspitzen mit den jeweiligen Parameterkonstellationen gegenübergestellt.

Abbildungen 10 und 11 stellen die Abhängigkeit der Rauigkeitswerte ( $R_a$ ) von der Geräteintensität dar, Abbildungen 12 und 13 stellen die Abhängigkeit der Rauigkeitswerte ( $R_a$ ) von der Auflagekraft dar.

In Abbildung 10 verdeutlicht die linke Balkengruppierung mit den Werten für die niedrige Geräteintensität bei der niedrigen Auflagekraft von 0,5 N überwiegend geringere Rauigkeiten (niedrigster Wert für das piezoelektrische Ultraschallgerät, gerades Arbeitsende, mit 0,5  $\mu\text{m}$ , höchster Wert für das magnetostriktive Ultraschallgerät, gebogenes Arbeitsende, mit 1,4  $\mu\text{m}$ ) gegenüber der rechten Balkengruppierung mit den Werten für die hohe Geräteintensität (niedrigster Wert für das magnetostriktive Ultraschallgerät, gerades Arbeitsende, mit 0,8  $\mu\text{m}$ , höchster Wert für magnetostriktives Ultraschallgerät, gebogenes Arbeitsende mit 1,8  $\mu\text{m}$ ).

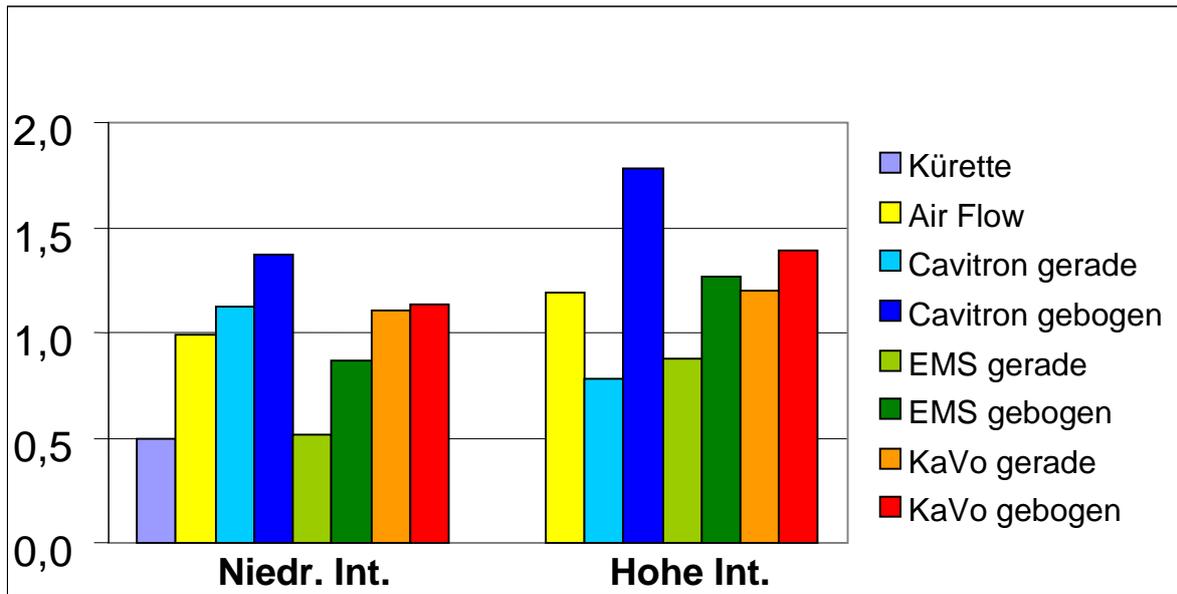


Abbildung 10: Die Werte des arithmetischen Mittenrauhwertes  $R_a$  bei niedriger Auflagekraft von 0,5 N.

In Abbildung 11 sind die Werte für den arithmetischen Mittenrauhwert  $R_a$  bei hoher Auflagekraft von 2,0 N gegenübergestellt: die linke Balkengruppierung mit den Werten für die niedrige Geräteintensität stellt verglichen mit der rechten Balkengruppierung mit den Werten für die hohe Geräteintensität sowohl eine Zu- wie auch eine Abnahme der Rauigkeitswerte  $R_a$  dar. Der niedrigste Wert mit 0,6  $\mu\text{m}$  für das gerade Arbeitsende des magnetostriktiven Ultraschallgerätes und der höchste Wert mit 1,5  $\mu\text{m}$  für das gerade Arbeitsende vom Schallscaler befindet sich jeweils in der Gruppe mit den Werten für die hohe Geräteintensität.

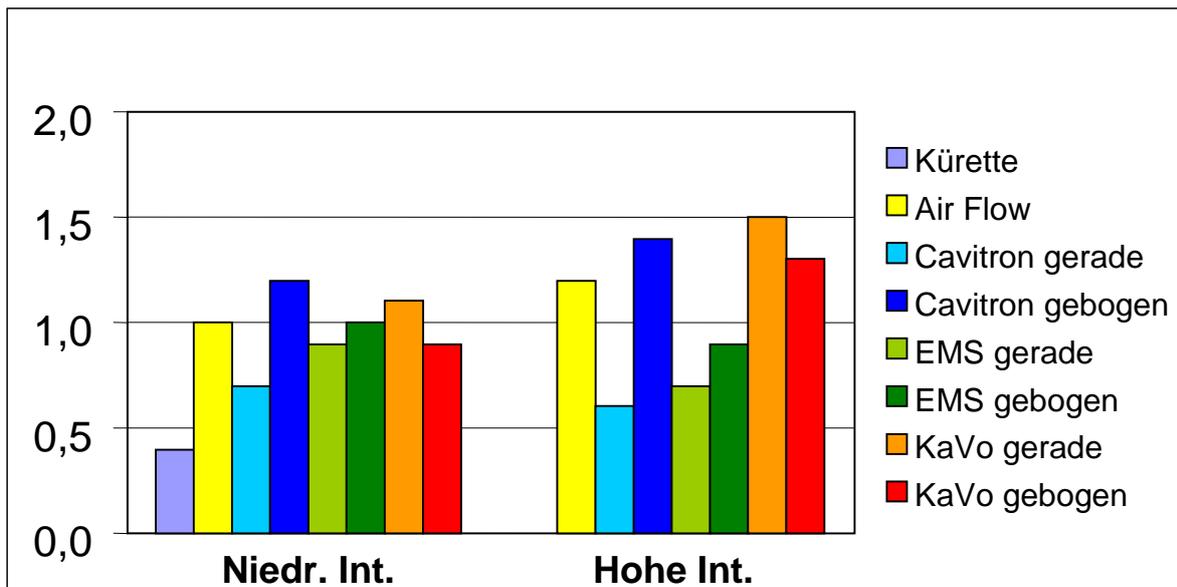


Abbildung 11: Die Werte des arithmetischen Mittenrauhwertes  $R_a$  bei hoher Auflagekraft von 2,0 N.

In Abbildung 12 sind die Werte für den arithmetischen Mittenrauhwert  $R_a$  bei niedriger Geräteintensität gegenübergestellt: die linke Balkengruppierung mit den Werten für die niedrige Auflagekraft stellt verglichen mit der rechten Balkengruppierung mit den Werten für die hohe Auflagekraft sowohl eine Zu- wie auch eine Abnahme der Rauheitswerte  $R_a$  dar. Der niedrigste Wert mit 0,5  $\mu\text{m}$  für das gerade Arbeitsende des piezoelektrischen Ultraschallgerätes und der höchste Wert mit 1,4  $\mu\text{m}$  für das gebogene Arbeitsende des magnetostriktiven Ultraschallgerätes befindet sich jeweils in der Gruppe mit den Werten für die niedrige Auflagekraft.

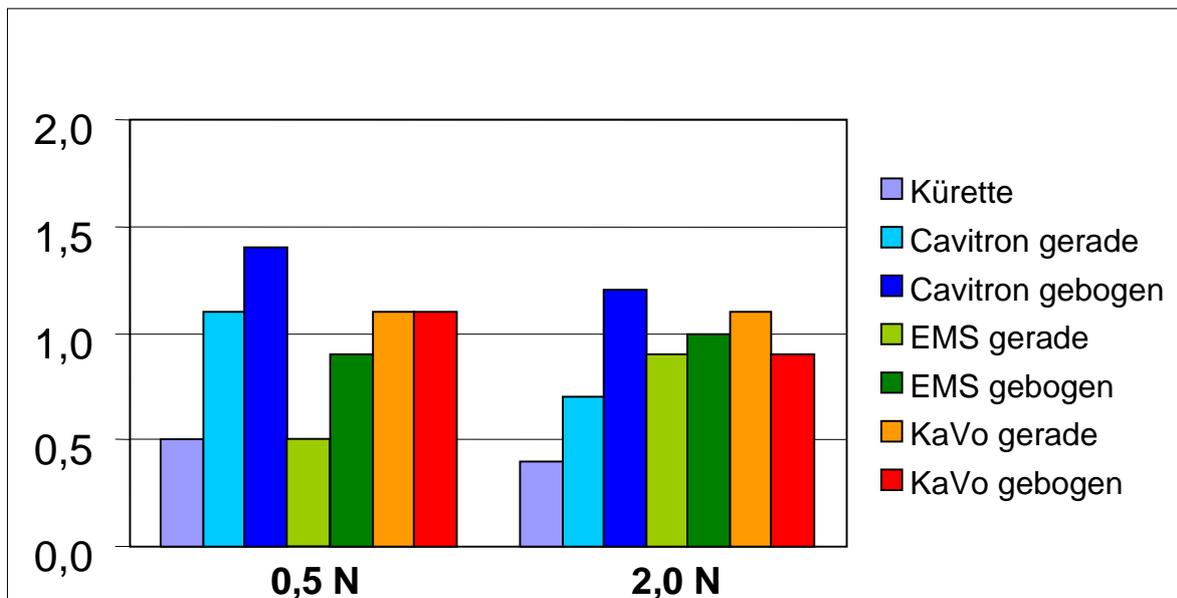


Abbildung 12: Die Werte des arithmetischen Mittenrauhwertes  $R_a$  bei niedriger Geräteintensität.

In Abbildung 13 verdeutlicht die linke Balkengruppierung mit den Werten für die niedrige Auflagekraft überwiegend höhere Werte für die Rauhtiefen (höchster Wert für das magnetostruktive Ultraschallgerät, gebogenes Arbeitsende, mit  $1,8 \mu\text{m}$ , niedrigster Wert für das magnetostruktive Ultraschallgerät, gerades Arbeitsende, mit  $0,8 \mu\text{m}$ ) gegenüber der rechten Balkengruppierung mit den Werten für die hohe Auflagekraft (höchster Wert für den Schallscaler, gerades Arbeitsende mit  $1,5 \mu\text{m}$ , niedrigster Wert für das magnetostruktive Ultraschallgerät, gerades Arbeitsende, mit  $0,6 \mu\text{m}$ ).

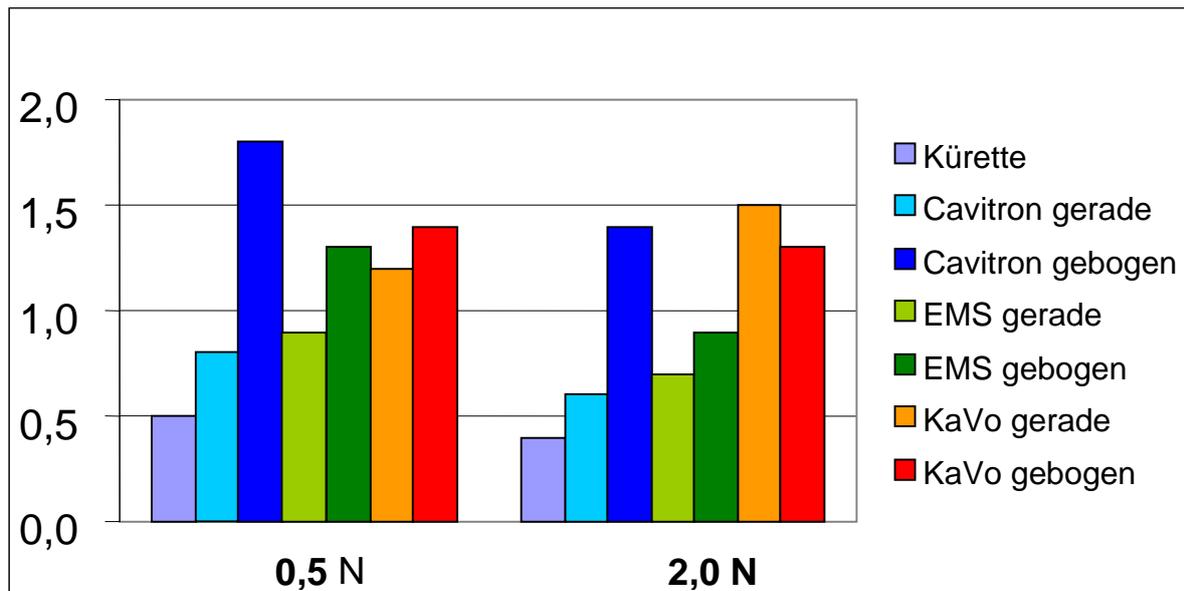


Abbildung 13: Die Werte des arithmetischen Mittenrauhwertes  $R_a$  bei hoher Geräteintensität.

## **5. Diskussion**

In der Parodontitistherapie muß das Behandlungsinstrument zum einen eine ausreichende Effizienz zur Entfernung fest anhaftender, harter Beläge bei der Initialbehandlung besitzen. Zum anderen ist eine schonende Wurzeloberflächen-Bearbeitung in der unterstützenden Parodontitistherapie notwendig. Um diesen klinischen Anforderungen gerecht zu werden, ist es erforderlich, die zur Verfügung stehenden Geräte und die unterschiedlichen Arbeitsspitzen (Dragoo 1992) mit geeigneten Kombinationen von Arbeitsparametern zusammenzustellen (Flemmig, TF, Petersilka, GJ, 1998).

In dieser Studie wurden drei maschinelle Geräte mit speziell für den subgingivalen Bereich entwickelten, schwingenden Arbeitsspitzen untersucht. Dabei sollte der Einfluß der Auflagekraft, der Geräteintensität und der Form der Arbeitsspitzen (gerade und gebogen) auf die Rauigkeit der Wurzeloberfläche untersucht werden. Darüber hinaus wurden ein Pulver-Wasserstrahl-Gerät eingesetzt und konventionelle Handinstrumente als Vergleichsgruppe verwendet.

### **5.1. Betrachtung verschiedener Arbeitsparameter:**

#### **5.1.1. Auflagekraft**

Bei der Betrachtung des Parameters Auflagekraft für alle untersuchten Geräte, inklusive der Vergleichsgruppe Kürette, kann festgestellt werden, daß die hohe Auflagekraft von 2,0 N unabhängig von der

Geräteintensität überwiegend geringere Rauigkeiten hervorruft als die niedrige Auflagekraft von 0,5 N. Eine Ausnahme bildete das piezoelektrische Ultraschallgerät bei der niedrigen Geräteintensität und der Schallscaler bei hoher Geräteintensität. Eine Abhängigkeit des Substanzabtrages von der Auflagekraft hat Petersilka (1998) bei vergleichbarem Versuchsaufbau festgestellt: Die Auflagekraft hatte bei den drei untersuchten Schall- und Ultraschallgeräten unabhängig von der Geräteeinstellung den größten Einfluß auf den Abtrag, nämlich eine Zunahme von Defekttiefe und Defektvolumen mit zunehmender Auflagekraft. Weiterhin ist bemerkenswert, daß das magnetostriktive Ultraschallgerät bei der Parameterkonstellation mit geradem Arbeitsende, hoher Auflagekraft und hoher Geräteintensität in der vorliegenden Studie die niedrigsten Werte für  $R_a$  und  $R_{max}$  induziert hat und zugleich bei Petersilka (1998) bei dieser Parameterkonstellation der höchste Wert für das Defektvolumen entstanden ist. In gleicher Weise verhält es sich bei identischer Parameterkonstellation für das piezoelektrische Ultraschallgerät: Einem beachtlich niedrigen Wert für die Rauhtiefe aus der vorliegenden Studie stehen wiederum ein sehr hohes Defektvolumen und Defekttiefe von Petersilka (1998) gegenüber. Stellt man nun das zunehmende Defektvolumen bei zunehmender Auflagekraft von Petersilka und die geringeren Rauigkeiten bei höherer Auflagekraft aus dieser Studie gegenüber, entsteht die Schlußfolgerung, daß die Oberfläche bei wachsendem Abtrag zunehmend glatter wird. Aus den Daten dieser Studie verglichen mit Petersilkas Ergebnissen kann gefolgert werden, daß die geringeren Rauigkeiten gleichzeitig auch einen höheren Abtrag bedeuten. Diese Abhängigkeit von Abtrag und entstehenden Rauigkeiten deckt sich mit den Feststellungen von Schmidli (2001) und Busslinger (2001), die in ihren Studien bei

geringerem Substanzabtrag höhere Werte für die Oberflächenrauigkeit registrieren konnten.

Das gebogene Arbeitsende von dem magnetostriktiven Ultraschallgerät hat insgesamt die höchsten Werte für  $R_a$  und  $R_{max}$  verursacht, die deutlich über denen für das gerade Arbeitsende liegen. Das würde nach oben beschriebenen Sachverhalt für das gebogene Arbeitsende bedeuten, daß es weniger Zahnschmelz abträgt, als das gerade Arbeitsende.

### **5.1.2. Geräteintensität: Die Schwingweite der Arbeitsspitzen**

Bei der Erzeugung von Rauhtiefen durch die Arbeitsspitze selbst können verschiedene Einflußfaktoren eine Rolle spielen: Zunächst erscheint es logisch, daß die Schwingweite der Instrumentenspitze einen erheblichen Einfluß auf das Ausmaß der Schädigung der Zahnoberfläche hat. Da mit der Leistungseinstellung die Schwingweite verändert wird (S. C. Lea, 2003), könnte die Leistungseinstellung des Gerätes einen Einfluß auf die entstehenden Rauigkeiten haben.

Die Werte aus dieser Studie weisen bei dem niedrigen Anpreßdruck auch einheitlich auf diese Annahme hin. Die Rauhtiefen bei hoher Geräteintensität und niedrigem Anpreßdruck sind höher. Dieser Sachverhalt trifft nicht für das magnetostriktive Ultraschallgerät (gerades Arbeitsende) zu, was aber durchaus schlüssig ist, denn die Schwingweite lag sowohl für die niedrige wie auch für die hohe Geräteintensität bei einem Wert zwischen etwa 100 und 150  $\mu\text{m}$ . Darüber hinaus gilt es aber auch noch zu bedenken, daß bei der hohen Geräteintensität und dem niedrigen Anpreßdruck die Arbeitsspitze

leichter in einen unruhigen, vielleicht sogar springenden Lauf versetzt wird, was die Rauhtiefen erhöhen kann.

### **5.1.3. Das Schwingungsbild der Arbeitsspitzen**

Als weiterer Einflußfaktor auf die Rauhtiefen ist das Schwingungsbild von Bedeutung. Eine lineare Schwingungsrichtung und somit tangentielle Bewegung zur Zahnoberfläche verursacht sicherlich weniger Schaden als eine kreisförmige Schwingungsrichtung, bei der alle Flächen der Arbeitsspitze aktiv sind d.h., die Schwingungsamplitude bei jedem Anstellwinkel in Richtung Zahn ausschlägt (Gankerseer u. Walmsley 1987).

Die Arbeitsbewegung der geraden wie auch der gebogenen Instrumentenspitze des magnetostriktiven Ultraschallgerätes ist linear bis kreisförmig, wodurch bei lateraler Adaptation des Arbeitsendes alle Arbeitsflächen der Arbeitsspitze gleichzeitig aktiv sind.

Die Arbeitsbewegung der geraden wie auch der gebogenen Instrumentenspitze des piezoelektrischen Ultraschallgerätes ist linear. Deshalb können nur zwei Seiten der Instrumentenspitze aktiv sein.

Die Arbeitsbewegung der geraden wie auch der gebogenen Instrumentenspitze des Schallscalers ist elliptisch, wodurch alle Flächen der Instrumentenspitze aktiv sind.

### **5.1.4. Der Dämpfungseffekt bei hoher Auflagekraft**

Wird eine in Ruhe schwingende Arbeitsspitze zunehmend durch eine Kraft belastet, so resultiert daraus ein zunehmender Dämpfungseffekt,

was bedeutet, daß die Schwingweite zumindestens in der Richtung, von der aus die Kraft einwirkt, reduziert wird, und zwar umso mehr, je größer die Kraft wird (Gankerseer u. Walmsley 1987). Diese Belastung führt zu einer Reduktion der Schwingweite (SC Trenter, 2003), die einer niedrigeren Geräteintensität und damit einer niedrigeren Leistung des Arbeitsendes und einer geringeren Schädigung der Zahnoberfläche entspricht. Die Rauigkeitswerte für den hohen Anpreßdruck von 2,0 N, sowohl bei niedriger, wie auch bei hoher Geräteintensität, liegen unter den Werten für niedrigen Anpreßdruck. Ausnahmen bilden der Schallscaler mit geradem Arbeitsende bei beiden Intensitäten und der piezoelektrische Scaler mit geradem und gebogenem Arbeitsende bei niedriger Intensität. Daraus folgt für die klinische Anwendung, daß mit einem Anpreßdruck von größer 0,5 N gearbeitet werden darf, weil dann geringere Rauigkeiten entstehen. Alleine um den Kontakt zwischen Instrumentenspitze und Wurzeloberfläche aufrechterhalten zu können, hat Allen (1963) eine Kraft von 0,75 N definiert.

#### **5.1.5. Die Kavitation an der Arbeitsspitze**

Einen weiteren Einflußfaktor auf die physikalischen Rauhtiefenwerte könnte die Kavitation darstellen, die um die Instrumentenspitze in der Kühl- und Spülflüssigkeit entsteht. Dabei handelt es sich um Dampfblasenbildung und –zerfall in strömenden Flüssigkeiten, die zu Zerstörung benachbarter Körper führt (Brockhaus, 1984). Walmsley (1990) hat durch Kavitation einen Bereich der Erosion um die von der Instrumentenspitze behandelten Fläche gesehen, wobei die Oberfläche dort ausgehöhlt erschien und Bestandteile aus der Oberfläche entfernt waren. Diese Kavitation ist aber auch gleichzeitig für antimikrobielle

Effekte der Ultraschallgabe verantwortlich. Durch das nach innen Kollabieren der Dampfblasen werden Bakterienzellen zum Implodieren gebracht (Cunningham, 1982). Ferner reißt durch die Kavitation die Plaque von der Zahnoberfläche ab (Walmsley 1988). Inwieweit die Kavitation einen Einfluß auf die Rauigkeitswerte in dieser Studie genommen hat, war nicht Ziel dieser Untersuchung.

## **5.2. Vergleich der geraden und gebogenen Arbeitsspitzen und mit den anderen Untersuchungsgruppen**

### **5.2.1. Magnetostriktives Ultraschallgerät**

Beim geraden Arbeitsende entstehen bei hoher Geräteintensität geringere Rauigkeitswerte, unabhängig vom Anpressdruck. Beim gebogenen Arbeitsende entstehen bei hoher Geräteintensität größere Rauigkeitswerte als bei der niedrigen Geräteintensität (Abbildungen 10 und 11).

Das gebogene Arbeitsende induziert über alle Parameterkonstellationen insgesamt signifikant größere Rauigkeitswerte als das gerade Arbeitsende. Im Hinblick auf die Schwingweite erscheint dies schlüssig, denn diese war für das gebogene Arbeitsende 50µm – 100µm größer als für das gerade Arbeitsende.

Die hohe Auflagekraft erzeugt beim geraden wie auch beim gebogenen Arbeitsende jeweils niedrigere Rauigkeitswerte als die niedrige Auflagekraft. Sowohl beim geraden wie auch beim gebogenen Arbeitsende sind die Rauigkeitswerte bei niedriger wie auch bei hoher Geräteintensität jeweils für den hohen Anpressdruck kleiner als für den

niedrigen Anpressdruck (Abbildungen 12 und 13). Dieses Verhalten ließe sich mit dem hier zustande kommenden Dämpfungseffekt erklären, der wiederum eine Reduktion der Schwingweite zur Folge hat.

Verglichen mit den anderen untersuchten Geräten sind in der Gruppe mit dem gebogenen Arbeitsende sowohl für  $R_a$  wie auch für  $R_{max}$  bei allen Parameterkonstellationen insgesamt die höchsten Rauigkeitswerte entstanden. Die gebogene Arbeitsspitze verursacht insgesamt die höchsten Werte für  $R_a$  und  $R_{max}$ , die in dieser Studie beobachtet wurden.

### **5.2.2. Piezoelektrisches Ultraschallgerät**

Die Eigenschaften der geraden und gebogenen Arbeitsspitze verhalten sich über alle Parameter-Konstellationen einheitlich.

Für beide Arbeitsenden entstehen bei hoher Auflagekraft und hoher Geräteintensität niedrigere Rauigkeitswerte als für den niedrigen Anpressdruck. Bei der niedrigen Auflagekraft und hoher Intensität entstehen für beide Arbeitsspitzen erheblich stärkere Rauigkeiten als mit der niedrigen Geräteintensität (Abbildungen 10 und 11).

Beim geraden wie auch beim gebogenen Arbeitsende nehmen die Rauigkeitswerte bei hohem Anpressdruck und bei hoher Geräteintensität ab. Bei hohem Anpressdruck und niedriger Geräteintensität nehmen die Rauigkeiten für beide Arbeitsenden zu (Abbildungen 12 und 13).

Insgesamt entstanden bei dem geraden Arbeitsende bei der niedrigen Geräteintensität und dem niedrigen Anpreßdruck von 0,5 N die niedrigsten Werte für  $R_a$  (0,5 $\mu$ m) und  $R_{max}$  (6,2 $\mu$ m). Sie sind verglichen mit allen anderen Untersuchungsgruppen die niedrigsten Werte, die sich an die Werte für die Kürette anschließen. Dafür könnte die geringe Schwingweite des Arbeitsendes von nur 80 $\mu$ m verantwortlich sein.

Über alle Parameterkonstellationen sind die entstandenen Rauigkeitswerte für das gebogene Arbeitsende im Vergleich zum geraden Arbeitsende größer, was bei dem magnetostriktiven Ultraschallgerät in gleicher Weise zu beobachten war. Hier könnte sich eine Abhängigkeit von der Form der Arbeitsspitze ableiten lassen, die z. Bsp. zu unterschiedlichen Schwingungsverhalten führen könnte.

Im Vergleich zu den anderen untersuchten Gruppen haben sich vor allem zwei nennenswerte Signifikanzen ergeben: Die vergleichsweise niedrigen Werte des geraden Arbeitsendes des piezoelektrischen Ultraschallgerätes führen in fast allen Parameter-Konstellationen zu signifikanten Unterschieden in den Rauigkeitswerten. Darüber hinaus zeigte sich eine erhebliche Signifikanz der beiden geraden Arbeitsspitzen des piezoelektrischen Ultraschallgerätes und des Schallscalers für identische Parameter, nämlich mit der hohen Geräteeinstellung und dem hohen Anpreßdruck: das piezoelektrische Ultraschallgerät mit  $R_a$  von 0,7  $\mu$ m und  $R_{max}$  von 6,3  $\mu$ m und der Schallscaler mit  $R_a$  von 1,5  $\mu$ m und  $R_{max}$  von 15,5  $\mu$ m. Hier liegt die Vermutung nahe, dass dafür sowohl die Schwingweite - piezoelektrisches Ultraschallgerät mit 80  $\mu$ m und Schallscaler mit 350  $\mu$ m - als auch das unterschiedliche Schwingungsbild - piezoelektrisches

Ultraschallgerät/linear, Schallscaler/ kreisförmig – verantwortlich sein könnte.

### 5.1.3. Schallscaler

Beim geraden wie auch beim gebogenen Arbeitsende entstehen bei hoher Geräteintensität unabhängig von der Auflagekraft größere Rauigkeiten (Abbildungen 10 und 11).

Beim geraden Arbeitsende bewirkt der höhere Anpressdruck nur bei der hohen Intensität ein Ansteigen der Rauigkeiten. Bei der gebogenen Arbeitsspitze liegen die Rauigkeitswerte bei beiden Geräteintensitäten beim hohen Anpressdruck unter denen des niedrigen Anpressdruckes (Abbildung 12 und 13).

Der Vergleich der Werte beider Arbeitsspitzen läßt insgesamt überwiegend geringfügig niedrigere Werte für das gebogene Arbeitsende erkennen. Bei den beiden anderen untersuchten maschinellen Geräten, magnetostriktives und piezoelektrisches Ultraschallgerät, verhielt es sich genau entgegengesetzt: die gebogenen Arbeitsspitzen führten einheitlich zu höheren Rauigkeitswerten.

Innerhalb dieser Untersuchungsgruppe zeigten sich mit dem geraden Arbeitsende bei hoher Auflagekraft und hoher Intensität, die insgesamt höchsten Werte für  $R_a$  mit  $1,5 \mu\text{m}$  und  $R_{\text{max}}$  mit  $15,5 \mu\text{m}$ . Vergleichbare Werte finden sich bei Untersuchung des gebogenen Arbeitsendes dieser Gruppe mit identischen Parametern für  $R_a$  mit  $1,3 \mu\text{m}$  und  $R_{\text{max}}$  mit  $15,1 \mu\text{m}$ .

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß einheitlich über alle Parameterkonstellationen die gebogenen Arbeitsenden jeweils höhere Rauigkeitswerte entwickelt haben als die geraden Arbeitsenden. Eine Ausnahme bildet dabei nur der Schallscaler bei der Anwendung der hohen Auflagekraft bei beiden Geräteintensitäten.

Dies könnte auf unterschiedliche Eigenschaften der gebogenen Arbeitsspitzen im Sinne des Schwingungsverhaltens hinweisen, welche sich von denen des geraden Arbeitsendes unterscheiden und einer Verifizierung durch weitere Untersuchungen bedürfen.

### **5.3. Die Kürette in der Parodontaltherapie**

Konventionelle Handinstrumente haben in der vorliegenden Studie unabhängig von der Auflagekraft die geringsten Rauigkeiten erzeugt. Die glattesten Oberflächen nach Bearbeitung mit Handinstrumenten haben bereits Pameijer 1972, Meyer 1977, Yanagimura 1988, Topoll 1989, Cross-Poline 1995, Kocher 2001 erzielt. Dabei wurde aber auch festgestellt, daß die Kürette am meisten Gewebe entfernt und mithin den größten Abtrag hervorruft (Busslinger 2001). Bei normalem Zementmantel wird nach etwa 20 Ziehbewegungen im selben Ansatzgebiet das darunterliegende Dentin freigelegt (Merte, 1997).

Trotz der sehr niedrigen Rauigkeitswerte nach Bearbeitung der Wurzeloberfläche mit Küretten, werden zunehmend maschinelle Geräte eingesetzt, da maschinell erheblich ermüdungsfreier gearbeitet werden kann als mit Handinstrumenten. Darüber hinaus konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden, daß die Behandlungszeit bei Anwendung von maschinellen Geräten gegenüber der Verwendung von

Handinstrumenten signifikant verringert werden konnte (Copulos 1993, Badersten 1981). Die Effizienz und Wirksamkeit von Handinstrumenten verglichen mit maschinellen Geräten zeigte keinen signifikanten Unterschied bei Stende 1961, Moskow 1964, Jones 1972, Thornton 1982, Breininger 1987. Die Qualität der parodontalen Heilung bzw. Reparation war bei diesen Studien vergleichbar.

#### **5.4. Das Pulver-Wasserstrahlgerät in der Parodontaltherapie**

Für das Pulver-Wasserstrahlgerät ergaben sich bei niedriger Geräteintensität geringfügig niedrigere Werte für  $R_a$  und  $R_{max}$  als bei hoher Intensität. Yanagimura (1988) hat nach Behandlung mit dem Pulver-Wasserstrahlgerät Wurzeloberflächen vorgefunden, die vergleichbar glatt mit denen nach Kürettenbehandlung waren. Ferner verhielt sich das Abtragsverhalten proportional zur Einstrahldauer. Als Vorteil wurde bei Yanagimura darüber hinaus festgestellt, daß das Pulver-Wasserstrahlgerät vor allem an schwer zugänglichen Stellen, wie in Furkationsdefekten sehr zuverlässig eine glatte Oberfläche erzeugen kann.

Die Erzeugung dieser glatten Oberflächen könnte auf das Fehlen der mechanischen Belastung – nämlich Schwingung und Kavitation - durch das Arbeitsende selbst auf der Zahnwurzeloberfläche zurückzuführen sein.

## 5.5. Die Rauigkeiten in den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen

Bei der Betrachtung der Rauigkeiten stellt sich die Frage, warum und wodurch Unregelmäßigkeiten im Oberflächenprofil vorhanden oder erzeugt worden sind. Zunächst könnte es die natürliche Rauigkeit der Zahnwurzeloberfläche sein, die sich in den Messungen von unbehandelten Proben mit Werten für  $R_a$  mit etwa  $1,7 \mu\text{m}$  darstellte. Ferner könnten es, wie Ewen (1977) es beschrieben hat, Kratzer und Wellen sein, die durch die Arbeitszüge der Instrumente verursacht werden. Auf allen Aufnahmen der Proben dieser Studie, die dem Handinstrument oder Schall- oder Ultraschallinstrumenten bearbeitet wurden, sind diese Wellen und Kratzer zu beobachten. Darüber hinaus stellen sich in den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen von Ewen (1977) Risse dar, die er als Artefakte durch die Trocknung der Proben beschrieben hat. Auch bei den Aufnahmen dieser Studie sind Risse zu sehen (Abbildungen 15, 16, 20, 25, 26). Dabei entsteht aber die Vermutung, dass diese Risse durch die Schwingung bzw. die daraus resultierende Erschütterung oder auch Resonanz durch die Arbeitsenden entstehen, da sie hauptsächlich und in besonderer Ausprägung längs der Bearbeitungsrichtung zu beobachten sind. Außerdem soll das Verfahren der „Kritisch-Punkt-Trocknung“ zur Konditionierung der Proben für die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eine Artefaktbildung der Proben verhindern. Bei den Aufnahmen vom Pulver-Wasserstrahlgerät (Abbildung 10) sind diese Risse nicht zu erkennen. Dort erscheint das Oberflächenrelieff ohne Kratzer und Riefen abgerundet und „geglättet“.

Bei den Proben vom Schallscler ist auf den Abbildungen 25 und 26 der Wendepunkt der Arbeitsbewegung der Arbeitsspitze durch die dort höhere mechanische Belastung auffällig verändert: das Zement scheint dort herausgesprengt und dadurch liegt das Dentin in diesem Bereich frei. Dies könnte ein Effekt der „zertrümmernden“ Wirkung der Schwingung des Arbeitsendes sein.

Ob die Rauigkeiten der behandelten Zahnwurzeloberfläche von der Menge des Abtrages abhängig ist, müsste durch weitere Untersuchungen verifiziert werden.

## 6. Zusammenfassung

Schall- und Ultraschallinstrumente, das Pulver-Wasserstrahlgerät und Handinstrumente werden bei der Behandlung der marginalen Parodontitis zur Entfernung von harten und weichen Belägen von der Zahnoberfläche eingesetzt. In der vorliegenden in vitro-Studie wurde ein magnetostriktiver Ultraschallscaler, ein piezoelektrischer Ultraschallscaler, ein Schallscaler, das Pulver-Wasserstrahlgerät mit einem Handinstrument hinsichtlich der Entwicklung von Rauigkeiten bei der Anwendung auf der Wurzeloberfläche extrahierter Zähne verglichen. Dabei wurden bei den Schall- und Ultraschallinstrumenten jeweils eine gerade und eine gebogene Arbeitsspitze, eine hohe und eine niedrige Geräteintensität und zwei unterschiedliche Anpressdrucke unter standardisierten Bedingungen mit Hilfe einer Scalingapparatur eingesetzt. Die entstandenen Rauigkeiten wurden durch Abtasten der Wurzeloberfläche mit dem Perthometer ermittelt.

In der statistischen Analyse zeigte sich, daß die Rauigkeiten bei der in vitro-Bearbeitung der Zahnwurzeloberfläche von der Auflagekraft des Arbeitsendes und von der eingestellten Geräteintensität abhängig sind, und zwar insofern, dass die niedrigeren Rauigkeitswerte tendenziell bei der niedrigen Geräteintensität und bei der hohen Auflagekraft entstehen. Insgesamt hinterließ die Kürette mit beiden Auflagekräften die niedrigsten Rauigkeitswerte.

Für den klinischen Einsatz ergibt sich daraus die Konsequenz, die Auswahl der richtigen Parameterkonstellationen für den zum einen effektiven Einsatz in der Initialtherapie wie auch für die schonende Anwendung in der unterstützenden Parodontistherapie zu treffen.

## 7. Literaturverzeichnis

Allen, E, Rhoads, R, Effects of high speed periodontal instruments on tooth surfaces. J Periodontol 1963; 34: 352-6

Badersten, A, Effect of non-surgical periodontal therapy. (I) Moderately advanced periodontitis. J Clin Periodontal 1981; 8: 57–72

Badersten, A, Effect of non-surgical periodontal therapy. (II) Severely advanced periodontitis. J Clin Periodontal 1984; 11: 63-76

Breining, DR, Comparative effectiveness of ultrasonic and handscaling for removal of subgingival plaque and calculus. J Periodontal 1987; 58: 9-18

Bollen, CM, Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. Dent Mater 1997; 13: 258-69

Busslinger, A, A comparative in vitro study of a magnetostrictive and a piezoelectric ultrasonic scaling instrument. J Clin Periodontol 2001; 28: 642-9

Brockhaus, 18. Auflage, Band 11, 1984

Copulos, TA, Comparative Analysis Between a Modified Ultrasonic Tip and Hand Instruments on Clinical Periodontal Disease. J Periodontol 1993; 64: 694-700

Cross-Poline, GN, Effect of curet and ultrasonic on root surfaces. Am J Dent 1995; 8: 131-3

Cunningham, WT, Evaluation of root canal debridement by the endosonic ultrasonic synergistic system. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1982; 53: 401-4

Dragoo, MR, Klinische Einschätzung von Hand- und Ultraschallinstrumenten für die subgingivale Zahnreinigung. (I) Unveränderte und veränderte Ultraschallansätze. Int J Periodont Rest Dent 1992; 12: 311-323

Drisko, CH, Root instrumentation. Power driven versus manual scalers, which one? Dent Clin North Am 1998; 42: 229-44

Drisko, CL, Position paper: sonic and ultrasonic scalers in periodontics. Research, Science and Therapy Committee of the American Academy of Periodontology. J Periodontol 2000; 71: 1792-801

Du Pont, GA, Understanding dental Plaque; biofilm dynamics. J Vet Dent 1997; 14: 91-4

Ewen, J, A Scanning Electron Microscopic Study of Teeth Following Periodontal Instrumentation. J Periodontol 1977; 48: 92-97

Flemmig, TF, Petersilka, GJ, Working parameters of a sonic scaler influencing root substance removal in vitro. Clin Oral Investig 1997; 1: 55-60

Flemmig, TF, Petersilka, GJ, The effect of working parameters on root substance removal using a piezoelectric ultrasonic scaler in vitro. J Clin Periodontol 1998; 25: 158-63

Flemmig, TF, Petersilka, GJ, Working parameters of a magnetostrictive ultrasonic scaler influencing root substance removal in vitro. J Periodontol 1998; 69: 547-53

Gankerseer, EJ, Walmsley, AD, Preliminary Investigation into the Performance of a Sonic Scaler. J Periodontol 1987; 58: 780-84

Hoffmann-Axthelm, Lexikon der Zahnmedizin 1983; 3. Auflage

Jones, SJ, Tooth surfaces treated in situ with periodontal instruments – scanning electron microscope studies, Br Dent J 1972; 132: 57-64

Khambay, BS, Walmsley, AD, Acoustic microsteaming: detection and measurement around ultrasonic scalers. J Periodontol 1999; 70: 626-31

Kocher, T. Subgingival polishing with a teflon-coated sonic scaler insert in comparison to conventional instruments as assessed on extracted teeth (II). Subgingival roughness. J Periodontol 2001; 28: 723-9

Lea, SC, Landini, G, Walmsley, AD, Ultrasonic scaler tip performance under various load conditions. J Clin Periodontol 2003; 30: 876-81

Leknes, KN, The effect of hygiene Instruments on dentin surfaces: scanning electron microscopic observations. J Periodontol 1992; 63: 151-7

Leknes, KN, Comparative in vitro studies of sonic, ultrasonic and reciprocating scaling instruments. J Clin Periodontol 1992; 19: 560-9

Leknes, KN, Influence of tooth instrumentation roughness on subgingival microbial colonisation. J Periodontol 1994; 65: 303-8

Leknes, KN, Influence of tooth instrumentation roughness on gingival tissue reactions. J Periodontol 1996; 67: 197-204

Leknes, KN, The Influence of anatomic and iatrogenic root surface characteristics on bacterial colonization and periodontal destruction: a review. J Periodontol 1997; 68: 507-16

Marsh, PD, Dental plaque as a biofilm. J Ind Microbiol 1995; 15: 169-75

Marsh, PD, Physiological approaches to the control of oral biofilms. Adv Dent Res 1997; 11: 176-85

Merte, K, Praxis der Zahnheilkunde , Band 4, 3. Auflage 1997, Urban u. Schwarzenberg

Meyer, K, Root surface roughness in response to periodontal instrumentation studied by combined use of microroughness measurements and scanning electron microscopy. J Clin Periodontol. 1977; 4: 77-91

Moore, J, The distribution of bacterial lipopolysaccharide (endotoxins) in relation to periodontal involved root surfaces. J Clin Periodontol 1986; 13: 748-751

Moskow, BS, Cemental response to ultrasonic and hand instrumentation. JADA 1964; 68: 698

Pameijer, CH, Surface characteristics of teeth following periodontal instrumentation. A scanning electron microscope study. J Periodontol 1972; 43: 628-633

Quirynen, M, The influence of titanium abutment surface roughness on plaque accumulation and gingivitis. Short term observations. Int J Oral Maxillofac Implants 1996; 11: 169-78

Rateitschak, KH Root cleaning or root smoothing. An in vivo study. J Clin Periodontol 1996; 23: 326-30

Renggli, HH, Praxis der Zahnheilkunde, Band 4, 3. Auflage, 1997, Urban u. Schwarzenberg

Renvert, S, Wilkström, M, Dahlén, G, Slots, J & Egelberg, J Effect of root debridement on the elimination of *Actinobacillus actinomycetemcomitans* and *Bacteroides gingivalis* from periodontal pockets. J Clin Periodontol 1990; 17: 345-50

Rosan, B, Lamont RJ, Dental plaque formation. Microbes Infect 2000; 2: 1599-607

Rosenberger, RM, The effect of root roughness on plaque accumulation and gingival inflammation. J Periodontol 1974; 45: 146-50

Schmidli, PR, Tooth substance loss resulting from mechanical, sonic and ultrasonic root instrumentation assessed by liquid scintillation. J Clin Periodontol 2001; 28: 1058-66

Stende, GW, A comparison of ultrasonic and hand scaling. J Periodontol 1961; 32: 312

Thornton, S, Comparison of ultrasonic to hand instruments in the removal of subgingival plaque. J Periodontol 1982; 53: 35

Topoll, HH, Surface changes of enamel, root cementum and fillings after treatment with tooth cleaning instruments. Dtsch Zahnärztl Z 1989; 44: 387-90

Torfason, T, Clinical Improvement of gingival conditions following ultrasonic versus hand instrumentation of periodontal pockets. J Clin Periodontol 1979; 6: 165-176

Trenter, SC, Landini, G, Walmsley, AD, Effect of loading on the vibration characteristics of thin magnetostrictive ultrasonic scaler inserts. J Periodontol 2003; 74: 1308-15

Waerhaug, J, Effect of root surfaces upon gingival tissue. J Dent Res 1956; 35: 323

Walmsley, AD, Effects of cavitation activity on the root surface of teeth during ultrasonic scaling. J Clin Periodontol 1990; 17: 306-12

Walmsley, AD, Dental plaque removal by cavitation activity during ultrasonic scaling. J Clin Periodontol 1988; 15: 539-43

Yanagimura, M, Application of an air-powder abrasive system in periodontal therapy and its effect on root surfaces. Nippon Shishubyo Gakkai Kaishi 1988; 30: 1168-79

## 8. Danksagungen

Herrn Professor Dr. R. Hickel, Direktor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwig-Maximilians-Universität in München, danke ich für die Möglichkeit, die Infrastruktur der Universität München, insbesondere das tribologische Labor der Poliklinik für meine Arbeit nutzen zu können.

Herrn PD Dr. Dr. M. Folwaczny gilt mein besonderer Dank für die Überlassung des Dissertationsthemas, die jederzeit gewährte Unterstützung und die Anleitung zu wissenschaftlichem Arbeiten.

Herrn PD Dr. G. Petersilka danke ich für die Überlassung seiner Scalingapparatur und die freundliche Genehmigung für den Nachbau.

Herrn Kaderschabek aus Würzburg danke ich für den modifizierten Nachbau der Scalingapparatur von Herrn Dr. G. Petersilka.

Den Firmen Dentsply De Trey, Konstanz, EMS, München und der Firma KaVo, Biberach/ a. d. R. danke ich für die Bereitstellung der Schall- und Ultraschallgeräte.

Insbesondere bedanke ich mich bei Herrn Mößle von der Firma KaVo für die technische Beratung und Herrn Xeller für die Erstellung der Schwingungsbilder.

Herrn Thilke danke ich für die freundliche Unterstützung bei der Anfertigung der rasterelektronenmikroskopischen Bilder.

Ich bedanke mich bei dem Team aus dem tribologischen Labor für die fachliche Unterstützung in freundschaftlicher Atmosphäre.

## 9. Lebenslauf

Ute Merkel

81545 München, Theodolindenstraße 2

geb. am 10.11.1962 in München, ledig

Vater: Dr. Andreas Merkel (Physiker) †

Mutter: Hanni Merkel (Hausfrau)

- |                      |  |
|----------------------|--|
| <b>1969 - 1974</b>   | Grundschule in Deisenhofen bei München                                   |
| <b>1974 - 1983</b>   | Gerhardinger-Gymnasium in München<br>Abschluß: Allgemeine Hochschulreife |
| <b>09/83 - 07/85</b> | Lehre zur Zahnarzthelferin bei Dr. Frank Lefin                           |
| <b>07/85 - 07/87</b> | Zahnarzthelferin bei Dr. Frank Lefin                                     |
| <b>08/87 - 01/88</b> | Fortbildung zur ZMF in Hamburg   |
| <b>10/88 - 06/89</b> | ZMF bei Dr. Rudolf Schweiger, München                                    |
| <b>07/89 - 06/91</b> | ZMF bei Dr. Volker Schimmel, Taufkirchen                                 |
| <b>07/91 - 12/93</b> | ZMF bei Prof. Dr. J. R. Strub<br>Universitätszahnklinik Freiburg         |
| <b>01/94 - 06/94</b> | ZMF bei Dr. Stefan Seifert, Freiburg                                     |

- 07/94 – 07/95**            Mitarbeiterin bei der Kassenzahnärztlichen  
Vereinigung, Freiburg
- 10/95 – 04/96**            Mitarbeiterin bei der Firma Straumann, Freiburg
- ab 05/96**                Studium der Zahnheilkunde an der LMU  
München:
- 04/97**                Vorphysikum
- 10/99**                Physikum
- 07/02**                Examen
- 10/02 – 10/03**            Assistenz-Zahnärztin bei Dr. J. Bruns, Trudering
- ab 11/03**                Assistenz-Zahnärztin an der Poliklinik der  
Zahnerhaltung und Parodontologie der Klinik für  
Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der  
Universität München, Direktor: Prof. Dr. R. Hickel
-