

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Parodontologie, Präventive Zahnmedizin und Zahnerhaltung

Direktor: Prof. Dr. Dr. Thomas Beikler

Reinigungseffektivität verschiedener Methoden zur Periimplantitistherapie hinsichtlich der Zugänglichkeit

Dissertation

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

vorgelegt von:

Mikael Haribyan
aus Eriwan

Hamburg 2019

Angenommen von der Medizinischen Fakultät am: 25.02.2020

Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

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

Prüfungsausschuss, 2. Gutachter/in: PD Dr. Dr. Henning Hanken

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Fragestellung	8
3	Material und Methoden	9
3.1	Versuchsdesign	9
3.2	Kiefermodell.....	14
3.3	Implantatdesign	16
3.4	Simulierter Biofilm	19
3.5	Reinigungsmethoden	20
3.5.1	Karbonkürette.....	20
3.5.2	Airpolishing mit einem Luft-Pulver-Wasserstrahlgerät und niedrigabrasivem Pulver auf zwei Applikationsweisen	21
3.5.3	Oszillierende PEEK-Spitze an einem SONICflex-Handstück	24
3.6	Versuchsdurchführung.....	26
3.7	Statistische Auswertung.....	28
4	Ergebnisse	29
4.1	Karbonkürette	29
4.2	Airpolishing mit dem AirFlow-Handstück	32
4.3	Airpolishing mit der Nozzle und dem PerioFlow-Handstück	35
4.4	Oszillierende PEEK-Spitze im SONICflex-Handstück	38
4.5	Vergleich der Messbereiche.....	41
4.5.1	Implantatbund.....	42
4.5.2	Gewindeberge	43
4.5.3	Gewindetäler	45
4.5.4	Apikalwärtige Flanken	47
4.5.5	Koronalwärtige Flanken	49
5	Diskussion	51
6	Schlussfolgerung	59
7	Zusammenfassung	61
8	Literaturverzeichnis	67
9	Danksagung	72
10	Lebenslauf	73
11	Eidesstattliche Versicherung	74

1 Einleitung

Die Implantattherapie stellt heutzutage ein Standardverfahren in der Zahnmedizin dar, das mit zuverlässigem und vorhersagbarem Erfolg durchgeführt wird (Jung et al. 2008, Pjetursson et al. 2004). Zunehmend mehr Patienten leisten sich Implantate, um verloren gegangene Zähne zu ersetzen. So wurden laut der Deutschen Gesellschaft für Implantologie (GDI) im Jahre 2018 bereits ca. 1,3 Millionen Implantate gesetzt; und die Tendenz, dass es jährlich mehr werden, hält seit Jahren an. Primär gelingt die Ossteointegration heutzutage nahezu immer (Karoussis et al. 2003). Dies belegt, dass die OP-Techniken und die Implantatsysteme inzwischen sehr ausgereift sind. Allerdings stellen die klinischen Situationen der Patienten, die dafür eine Implantatversorgung wünschen, zunehmend mehr Herausforderung dar.

Es werden nicht nur Implantate in den Bereichen gesetzt, in denen ein gutes Knochenangebot besteht, sondern der Wunsch nach einer bestimmten prothetischen Restauration bestimmt die Implantatposition (Gowd et al. 2017). Da durch den vorangegangenen Verlust der Zähne hauptsächlich aufgrund von Parodontitis oder endodontischen Misserfolge bzw. Traumata auch das Knochenangebot reduziert ist, erfordert die Implantation oft eine Knochenaugmentation (Cha et al. 2016). Dadurch ist die klinische Situation häufig von vornherein kompromittiert bzgl. ihrer Stabilität und Reinigungsfähigkeit.

Hinzukommt, dass die Patienten aufgrund persönlicher Risikofaktoren, wie Allgemeinerkrankungen oder Umweltfaktoren anfällig für Parodontitis sind. Und infolge dessen sich sie auch für periimplantäre Entzündungen besonders anfällig (Karoussis et al. 2003). Zudem ist fraglich, ob Patienten, die Ihre Zähne aufgrund von kariöser Zerstörung verloren haben, ihr Mundhygieneverhalten nachhaltig umstellen und ihren Implantatersatz besser putzen.

Aufgrund beider vorgenannten Risikofaktoren kommt es häufig zur Anlagerung von bakteriellen Belägen an den Implantatoberflächen und zu stärkeren Rezessionen, die dazu führen, dass der mikro- und makrostrukturierte Implantatkörper freiliegt (Schwarz and Becker 2008)

Hinzukommt, dass die Durchführung einer effizienten häuslichen Mundhygiene an Implantaten schwieriger für den Patienten zu erbringen ist als an natürlichen Zähnen (Papaioannou et al. 1996). Dies liegt daran, dass die Implantate gegenüber den Nachbarzähnen apikalwärts gesetzt sind und die Gestaltung der Suprakonstruktion häufig die Zugänglichkeit zum marginalen Implantatbereich erschwert. Das Durchtrittsprofil der Implantate ist rund und der Kronenaufbau divergiert stark nach koronal. Für einen Patienten, der bis dahin oft noch keine optimale Mundhygiene gepflegt hat, ist die Handhabung der zur vollständigen Reinigung notwendigen Hilfsmittel schwierig und erfordert eine hohe Compliance (Humphrey 2006). Selbst Patienten, die eine adäquate Mundhygiene betreiben, können diese evtl. mit zunehmendem Alter nicht mehr aufrechterhalten. Dann stellt sich die Frage, wie die Entzündungsfreiheit der bestehenden Implantate aufrecht zu erhalten ist.

Gelingt es nicht, die Plaquefreiheit an den Implantaten kontinuierlich zu erhalten, kommt es analog zu einer Gingivitis am Zahn zu einer Mukositis am Implantat (Zitzmann et al. 2001). Als periimplantäre Mukositis wird eine reversible Entzündung des periimplantären Weichgewebes beschrieben (Heitz-Mayfield 2008).

Aufgrund der morphologischen Unterschiede sind die periimplantären Gewebe leichter anfällig für eine Entzündungsreaktion als die parodontalen Gewebe (Salvi et al. 2012). Daher ist das Risiko, dass sich aus einer Mukositis eine Periimplantitis mit progredientem Abbau des implantatumgebenden Knochens fortsetzt gerade bei Patienten mit zusätzlichen Risikofaktoren, wie Rauchen und Allgemeinerkrankungen erhöht (Dreyer

et al. 2018). Die Periimplantitis ist durch eine nicht-reversible entzündliche Destruktion des periimplantären Hart- und Weichgewebes charakterisiert (Heitz-Mayfield 2008).

Die Angaben zur Prävalenz der periimplantären Mukositis variieren stark zwischen 32% und 54%, wohingegen die Periimplantitis mit 14-30% weniger häufig auftritt (Derks and Tomasi 2015). Allerdings kann sich der entzündliche Knochenabbau bei Periimplantitis bis zum Implantatverlust fortsetzen, sodass auch eine Häufigkeit von durchschnittlich 22% bei der Anzahl der gesetzten Implantate eine hohe Quote von Implantatverlusten befürchten lässt.

Geboten wäre, eine rechtszeitige professionelle Reinigung der Implantatoberflächen durchzuführen, wenn die häusliche Plaquekontrolle unzureichend ist, um periimplantäre Entzündungen zu vermeiden. Dazu sollte der Patient zusätzlich zu seiner häuslichen Mundhygiene regelmäßig entsprechend seines Risikos zwischen zwei bis zwölf Mal jährlich in der Zahnarztpraxis professionell durch Nachsorgeangebote und Zahnreinigungen betreut werden (Schmage 2010). Dabei sollten die supra- und äquimukosal liegenden Implantatoberflächen gereinigt und pathologische Veränderungen beobachtet werden, sodass ihnen rechtzeitig gegengesteuert werden könnte. Periimplantäre Entzündungen sind klinisch schwer zu erkennen, weil das Gewebe geringer durchblutet ist, sodass der Faktor „Rötung“ kein zuverlässiges Indiz darstellt. Daher ist es wichtig, regelmäßig die Sondierungstiefen zu kontrollieren und eine Erhöhung gegenüber dem Ausgangswert zu registrieren (Misch 2007). Klinisch lässt sich die Periimplantitis ansonsten nur bei auftretendem Pusaustritt beim Sondieren und röntgenologisch nachweisbaren Knochenabbau nachweisen. Typischerweise findet der Knochenabbau bei Periimplantitis immer vertikal schlüsselförmig statt (Zitzmann et al. 2006).

Gründe dafür sind morphologische Unterschiede der Osseointegration des Implantates gegenüber der Verankerung des Zahnes. Das Implantat wird von einem straffen marginalen Bindegewebsring umgeben, der aber nicht direkt auf der Implantatoberfläche inseriert (Berglundh et al. 1991). Deshalb fehlt die laterale Begrenzung durch anhaftende Desmodontalfasern und die Entzündung kann sich ungehindert zirkulär um das Implantat ausbreiten (Berglundh et al. 1991). Die periimplantäre Mukosa stellt sich insgesamt bindegewebsfaserreicher und zellärmer als die Gingiva dar, weshalb das entzündliche Infiltrat ausgedehnter als am Zahn ist. Die Blutversorgung aus dem Desmodontalspalt fehlt völlig, wodurch die Blutungsneigung und die lokale körpereigene Immunabwehr reduziert sind. Insofern ist es schwierig eine Periimplantitis überhaupt zu diagnostizieren (Gulati et al. 2014).

Wenn dies gelungen ist, stellt sich die Frage nach den Therapiemöglichkeiten. Im Rahmen der Prophylaxe bzw. Nachsorge steht bei der Implantatoberflächenreinigung die Glätte im Vordergrund, damit sich nicht so schnell wieder neue Bakterien anlagern können. Beteiligt sind im Bereich der Durchtrittsstelle aus der Mukosa der polierte Implantatbund und das polierte Abutment sowie die darauf befestigte Krone. Demzufolge sollen diese glatten Oberflächen nach der Reinigungsmaßnahmen wieder eben so glatt sein. Als Implantatmaterial wird meist Titan verwendet, evtl. Zirkonoxidkeramik (Osman and Swain 2015). Ist es bereits zu einer Periimplantitis oder einer ausgeprägten Rezession gekommen, dann setzt sich der periimplantäre Knochenabbau apikalwärts fort und die periimplantäre Tasche vertieft sich progredient (Zitzmann et al. 2004). Infolge dessen sind Anteile des mikro- und makrostrukturierten Implantatkörpers, die ursprünglich vom Knochen bedeckt waren, entweder supragingival lokalisiert oder haben Kontakt zur periimplantären Tasche. Zum einen besteht die Schwierigkeit den bakteriellen Biofilm von der in diesen Fällen rauen Implantatoberfläche zu reinigen. Zum anderen stellt sich die Frage, ob die Implantatoberfläche unverändert bleiben

soll, um ein etwaiges Reattachment zu ermöglichen oder die Rauigkeiten gezielt abgetragen werden sollten, um eine anschließend bessere Hygienefähigkeit herzustellen.

Im letzten Fall besteht die Möglichkeit, die Mikro- und Makrostrukturen durch Abschleifen einzuebnen, die Implantatoberfläche zu polieren sowie die Mukosa nach apikal zu verlagern, sodass der Implantatpfosten länger wird, aber frei liegt und der Mundhygiene zugänglich ist (Schwarz et al. 2006b, Schwarz et al. 2008).

Zur Therapie der Mukositis wird die supra- und äquigingivale Implantatreinigung empfohlen und im Rahmen der professionellen Zahnreinigung durchgeführt. Zur Therapie der Periimplantitis stehen entsprechend der Therapieoptionen der Parodontitis die geschlossenen und offenen Verfahren der submukosalen Reinigung zur Verfügung. Aufgrund der straffen bindegewebigen Umschlingung des Implantates sollte frühzeitig ein offenes Verfahren in Erwägung gezogen werden. Die Literatur belegt, dass ein geschlossenes Vorgehen bei einer fortgeschrittenen Periimplantitis keine erfolgreichen und vorhersagbaren Ergebnisse liefert (Renvert et al. 2008). In solchen Fällen ist die mechanische Oberflächendekontamination mit einem offenen submukosalen Vorgehen indiziert (Claffey et al. 2008). Bereits 2006 zeigte Schwarz et al. in einer split-mouth Untersuchung die signifikant besseren Ergebnisse in Bezug auf Besserung aller klinischen Parameter bei einem offenen chirurgischen Vorgehen (Schwarz et al. 2006a).

In den letzten Jahren wurden verschiedene Instrumente und Geräte entwickelt, um die Implantatoberflächen zu dekontaminieren. Sie basieren auf unterschiedlichen Funktionsweisen: mechanische, chemische (z.B. Betaisodona Spülung, Phosphorsäure- oder EDTA-Ätzung) und adjuvante Verfahren (z.B. Laserlicht, Photodynamische Desinfektion, Ozongas) (Renvert and Giovannoli 2014, Bassetti et al. 2014, Stubinger et al.

2006, Strooker et al. 1998). Zu den mechanischen Reinigungsmethoden gehören manuelle Kunststoff- bzw. Karbonküretten, rotierende Prophylaxebürsten bzw. Gummipoliertenäpfe, oszillierende Scaleransätze aus Polyetheretherketon (PEEK) mit Schall- oder Ultraschallantrieb und Airpolishing-Geräte (An et al. 2017, Riben-Grundstrom et al. 2015, Sahm et al. 2011, Persson et al. 2010, Karring et al. 2005). Die Reinigungseffektivität und die Oberflächeneffekte dieser mechanischen Methoden wurden hauptsächlich auf plättchenförmigen Probekörpern mit den verschiedenen Implantatoberflächenstrukturen getestet. In-vitro Untersuchungen an sandgestrahlten, geätzten oder beschichteten Implantatoberflächen haben gezeigt, dass die Reinigungseffektivität der manuellen Küretten unzureichend ist (Sahrmann et al. 2015, Louropoulou et al. 2014). Darüber hinaus können Karbonküretten Oberflächenbeschädigungen auf den mikrostrukturierten Implantatoberflächen verursachen (Schmage et al. 2014) . Deshalb wurde postuliert, dass diese manuellen Küretten für die Implantatreinigung nicht den Goldstandard darstellen und durch andere Reinigungsmethoden ersetzt werden sollten. Im klinischen Alltag hat sich dies noch nicht etabliert und die Implantatküretten erfreuen sich weiterhin großer Beliebtheit bei der periimplantären Therapie (Heitz-Mayfield and Mombelli 2014).

Das Airpolishing hat sich zur Zahnreinigung ebenfalls bewährt und kann auch in der Tiefe von Rauigkeiten befindlichen Bakterien abstrahlen (Petersilka et al. 2003a, Petersilka et al. 2003b). In-vitro Studien zeigen, dass die strukturpolierten und mikrorauen Titanoberflächen effektiv mit Airpolishing gereinigt werden können. Die Oberflächenstruktur wird in Abhängigkeit vom verwendeten Pulver kaum verändert und die Biokompatibilität nicht beeinflusst (Louropoulou et al. 2015, Louropoulou et al. 2014). Für den tiefen subgingivalen Einsatz wurde ein spezielles Applikationsinstrument in Form einer Nozzle entwickelt. Bei dieser wird das Pulver an der Spitze zum seitlichen

Austritt umgelenkt. Ohnehin darf nur sehr feinkörniges und resorbierbares Pulver subgingival angewendet werden. Die mechanischen Verfahren können mit den chemischen und adjuvanten Verfahren kombiniert werden, wobei jeweils der Einfluss der Monotherapie zu prüfen ist (Ribben-Grundstrom et al. 2015).

Airpolishing kann ausschließlich nicht-mineralisierte Beläge abtragen. Auf den Implantatoberflächen sind aber vorrangig nur nicht-mineralisierte Beläge zu finden, sodass das Verfahren geeignet erscheint. Seine Eignung hat sich auch im Vergleich zu manuellen Instrumenten und Ultraschall Geräten bestätigt (Sahrman et al. 2015). In vivo lieferte jedoch keine der Methoden eindeutig bessere Ergebnisse, unabhängig vom Behandlungsprotokoll (Roccuzzo et al. 2018). Bisher ist nicht bekannt, wie tief und mit welcher Effektivität das Pulver submukosal reinigt und ob die Verwendung der konventionellen Applikationsdüse (AirFlow Classic Handstück; Fa. EMS Dental, Nyon, Schweiz) oder der Nozzle (PerioFlow-Handstück; Fa. EMS Dental, Nyon, Schweiz) zu bevorzugen ist. Einen Hinweis gibt eine frühere Untersuchung, die allerdings ein einfaches Defektmodell und AirFlow Classic verwendet und die gute Erreichbarkeit der Implantatmakrostrukturen lobt. Die Reinigungseffektivität nahm mit der Defektbreite zu, trotzdem wurden nicht alle Makrostrukturen gleich gut erreicht (Sahrman et al. 2013).

In vivo kommt eine weitere Problematik hinzu: die Erreichbarkeit der zu dekontaminierenden Implantatoberflächen ist durch die Implantatposition, Nachbarzähne und Suprakonstruktion sowie der submukosären Lage und dem infraalveolären Knochendefekt deutlich erschwert. Daher ist zu jeweils zu prüfen, mit welchem Gerät bzw. Methode die zu reinigende Implantatoberfläche erreicht werden kann.

2 Fragestellung

In dieser in-vitro Untersuchung sollte die Reinigungseffektivität von vier verschiedenen Methoden zur submukosalen Entfernung von simuliertem Biofilm auf Implantaten mit mikro- und makrostrukturierten Oberflächen, die in einem Kiefermodell mit schlüsselförmigem periimplantärem Knochendefekt positioniert wurden und eine koronale Suprakonstruktion besaßen, verglichen werden. Dabei wurden ein Luft-Pulver-Wasserstrahlgerät mit zwei Ansätzen, eine metallfreie Kürette und ein durch Druckluft getriebenes oszillierendes Handstück mit PEEK-Ansatz angewendet. Die Reinigungseffektivität wurde bezogen auf die Zugänglichkeit der Implantatoberflächen ausgewertet, dabei wurden Lokalisationen im Kiefer und die Makrostrukturen des Implantatkörpers berücksichtigt.

Die erste Nullhypothese lautete, dass alle Methoden der Biofilmentfernung auf mikrostrukturierten Oberflächen gleichermaßen effektiv sind.

Die zweite Nullhypothese lautete: alle Bereiche der Implantatmakrostrukturen lassen sich ohne signifikante Unterschiede gleichermaßen reinigen.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsdesign

In-vitro sollte eine Versuchssituation simuliert werden, die einer klinischen Situation mit Periimplantitis in Form von einem schlüsselförmigen Knochenabbau an einem Einzelimplantat nahe kommt. Die zur Verfügung stehenden Methoden zur Biofilmentfernung sollten unter diesen Bedingungen angewendet werden, um beurteilen zu können, inwieweit das Vorhandensein einer Suprakonstruktion sowie von Nachbarzähnen und einer infraalveolären Lokalisation die Effektivität der Anwendung der Reinigungsmethoden limitiert.

Das Versuchsdesign ist übersichtlich in der Abbildung 1 dargestellt.

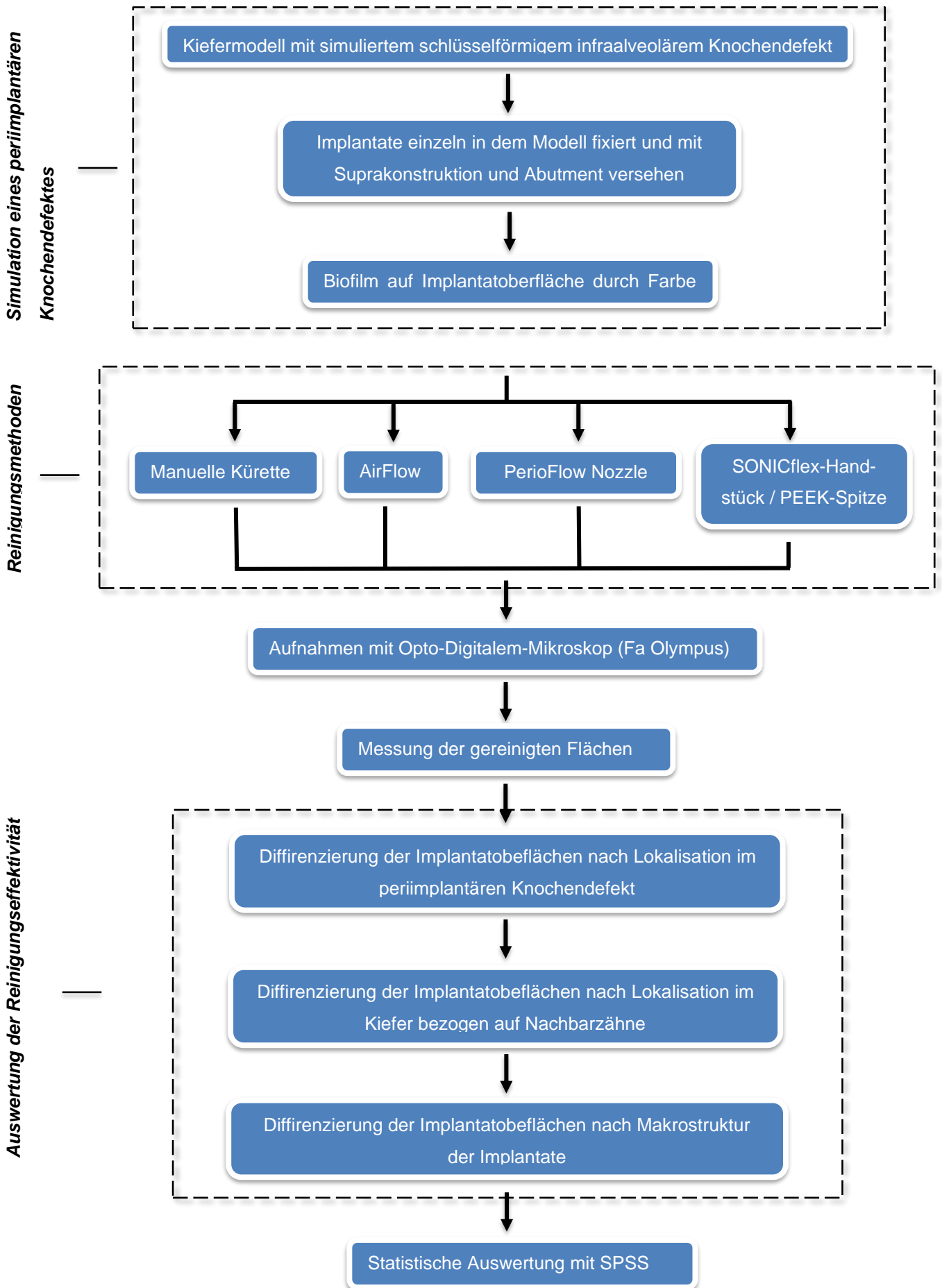


Abb.1: Versuchsdesign

Als Reinigungsmethoden wurden das Airpolishing mit einem subgingival auszuwendenden Pulver mit zwei Applikationsdüsen (AirFlow-Handstück und PerioFlow-Handstück mit Nozzle-Aufsatz), das SONICflex-Handstück mit PEEK-Spitze und die manuelle Karbon-Kürette als Referenz getestet.

Kommerziell verfügbare mikro- und makrostrukturierte Implantate wurden einzeln in ein Kiefermodell eingesetzt und mit Abutment und Suprakonstruktion versehen. Zuvor war die Implantatoberfläche mittels wasserfester Farbe angefärbt worden, die den Biofilm simulierte und verdeutlichen sollte, welche Bereiche bei der Reinigung erfasst werden.

In der Untersuchung kam nur ein Implantatdesign mit einer Makrostruktur in Form von Rillen und einer Mikrostruktur zum Einsatz. Insgesamt 20 Implantate wurden nacheinander in dem Kiefermodell positioniert und die angefärbte Oberfläche durch Anwendung der jeweiligen Reinigungsmethode bearbeitet.

Jeweils fünf Implantate wurden den vier Reinigungsmethoden zufällig zugeordnet. Die Reinigung mit den vier Geräten und Instrumenten wurde von einem Behandler entsprechend der Herstellerangaben durchgeführt.

Die Bearbeitungszeit wurde auf 1 Minute pro Probe begrenzt, wobei jede Fläche (mesial, distal, bukkal, oral) jeweils 15 sec. gereinigt wurde.

Anschließend wurden die Implantate entnommen und die gereinigten Oberflächen mit Hilfe eines Auflichtmikroskops analysiert und ausgewertet. Die gesamte bearbeitete Implantatoberfläche wurde unter Berücksichtigung der Makrostrukturen vermessen hinsichtlich des Anteils der nicht von der Farbe gereinigten Bereichen. Die verschiedenen Implantatbereiche wurden bezüglich ihrer Lokalisation zusammengefasst. Differenziert wurde nach der Lokalisation im periimplantären Knochendefekt (am Implantatbund, im oberen bzw. unteren Anteil des im periimplantären Defekt exponierten

mikro- und makrostrukturierten Implantatkörpers), nach der Lokalisation im Kiefer (bukale bzw. orale Flächen versus Approximalflächen) und nach der Makrostruktur der Implantate (Gewindetäler und -Berge, oben- bzw. unterseitigen Flanken). Dadurch wurden die im Tabelle 1 aufgelisteten Testgruppen gebildet und ausgewertet.

Die Ergebnisse wurden statistisch berechnet und die Unterschiede zwischen den Gruppen auf Signifikanz geprüft.

Versuchsgruppen		Reinigungsmethoden					
Oberfläche	Lage zur Nachbarstrukturen	Luft-Pulver-Wasserstrahlsysteme		Schallbetriebene PEEK-Spitze (n=5 Implantate)	Manuelle Karbonkürette (n=5 Implantate)	Summe der Messpunkte (gesamt 20 Implantate)	
		AirFlow Master Piezon (n=5 Implantate)	PerioFlow Nozzle (n=5 Implantate)				
Bund	approximal	10	10	10	10	80	
	bukkal/oral	10	10	10	10		
Oberer Abschnitt	Gewindeberge	approximal	10	10	10	80	
		bukkal/oral	10	10	10		
	Gewindetäler	approximal	10	10	10	80	
		bukkal/oral	10	10	10		
	Apikalwärtige Flanken	approximal	10	10	10	80	
		bukkal/oral	10	10	10		
	Koronalwärtige Flanken	approximal	10	10	10	80	
		bukkal/oral	10	10	10		
	Unterer Abschnitt	Gewindeberge	approximal	10	10	10	80
			bukkal/oral	10	10	10	
Gewindetäler		approximal	10	10	10	80	
		bukkal/oral	10	10	10		
Apikalwärtige Flanken		approximal	10	10	10	80	
		bukkal/oral	10	10	10		
Koronalwärtige Franken		approximal	10	10	10	80	
		bukkal/oral	10	10	10		
Summer der Messpunkte		180	180	180	180	720	

Tab.1: Die untersuchten Testgruppen und die Anzahl der Messbereiche an den einzelnen Implantaten (n = 5 Implantate je Gruppe)

3.2 Kiefermodell

Die Implantate wurden nacheinander in ein speziell angefertigtes Kunststoffmodell eines Kieferabschnitts platziert. Das Modell sollte einen periimplantären schüsselförmigen Knochendefekt definierter Größe simulieren. Er hatte die in der Abbildung 3 angegebene Dimensionen: Durchmesser 7,1-7,4mm, Tiefe 4,95mm (Abb.2 und 3).

Eine zusätzliche Markierung an der inneren Implantat-Abutment Verbindung diente zur Identifizierung der mesialen Fläche. Die Suprakonstruktion in Form einer Kunststoffkrone wurde mithilfe eines Abutments am Implantat montiert (Abb.2). Diese wurde zusätzlich durch Kunststoffauflagen an den Nachbarzähnen rotationsgesichert.

Das Modell entsprach der Situation bei einem offenen chirurgischen Vorgehen mit direktem Zugang zum alveolaren Knochendefekt, bei dem ein einzelnes Implantat mit Suprakonstruktion zwischen zwei Nachbarzähnen gereinigt wird. Das Weichgewebe wurde nicht simuliert.



Abb. 2: Implantatmodell mit Suprakonstruktion

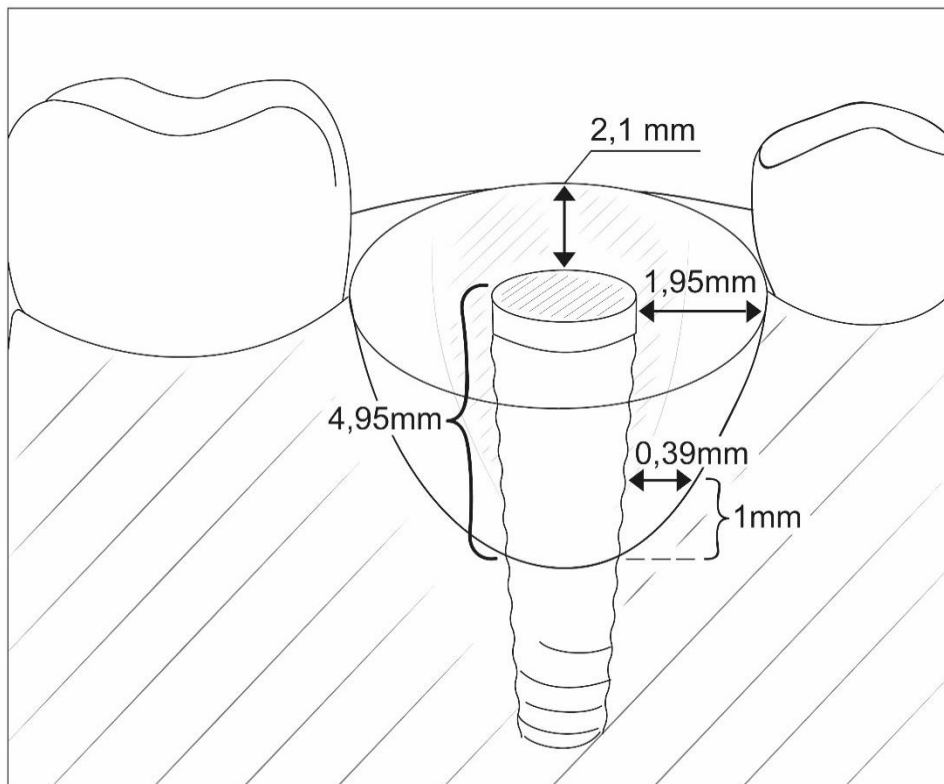


Abb. 3: Skizze des Implantatmodells mit dem Knochendefekt definierter Größe

3.3 Implantatdesign

In dieser In-vitro-Untersuchung wurden Titan-Schraubimplantate mit zylindrisch-konischer Form und im apikalen konischen Anteil einem selbstschneidenden Gewinde (Komet MicroPlant 290L15B, Gebr. Brasseler GmbH, Lemgo, DE) verwendet (Abb.6 und 7). Das Gewinde soll für eine hohe Primärstabilität sorgen. Dagegen besitzt das Implantat im koronalen Anteil eine passive Makrostruktur mit Rillen. Der Implantatdurchmesser beträgt 3,2mm und die Länge 15mm. Die Implantatschulter ist 0,55mm breit und besitzt eine strukturpolierte Oberfläche. Das mikrorauhe Implantatgewinde ist mit Aluminiumoxid in 50-60µm Korngröße gestrahlt und TPC (beta tri-calcium-phosphate Beschichtung) beschichtet. Die Rauigkeit Ra nach der Beschichtung beträgt 1.5-2 µm (Abb. 4 und 5). Das Implantat wird mittels eines Systems an Präparationsinstrumente, die formkongruent abgestimmt sind, inseriert.

Die passive, rillenförmige Makrostruktur des Implantatkörpers im koronalen Anteil ließ sich bezüglich der Erreichbarkeit seiner Oberfläche für Reinigung in vier Areale einteilen (Abb. 6):

1. Gewindeberg = Oberkante der Rille, vertikal lokalisiert
2. Gewindetal = Tiefe zwischen Rillen oder Schraubfläche, vertikal lokalisiert
3. Koronalwärts gerichtete Flanke = horizontal oder schräg zu Implantatachse gerichtete Fläche der Rille oder Schraubwindung. Koronal = von cervikal aus einsehbar
4. Apikalwärts gerichtete Flanke = horizontal oder schräg zur Implantatachse gerichtete Fläche der Rille oder Schraubwindung. Apikalwärts = nach apikal gerichtet.

Diese sind für die Differenzierung der Reinigungseffektivität relevant.

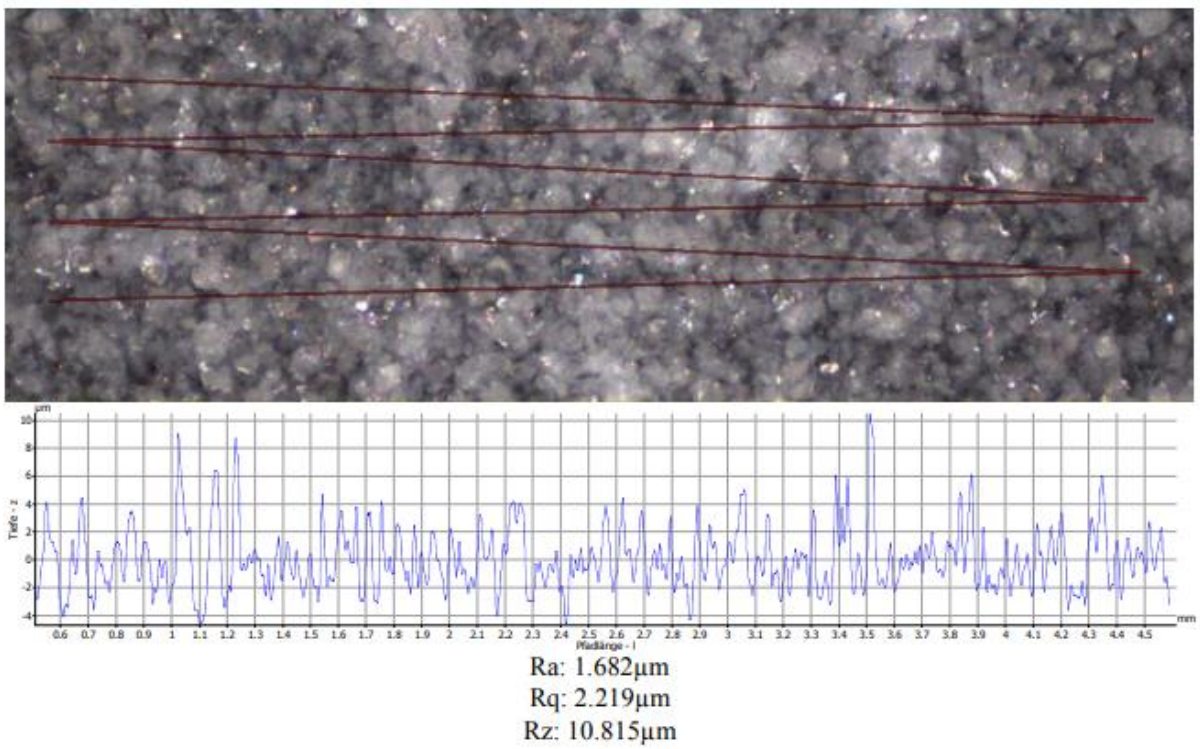
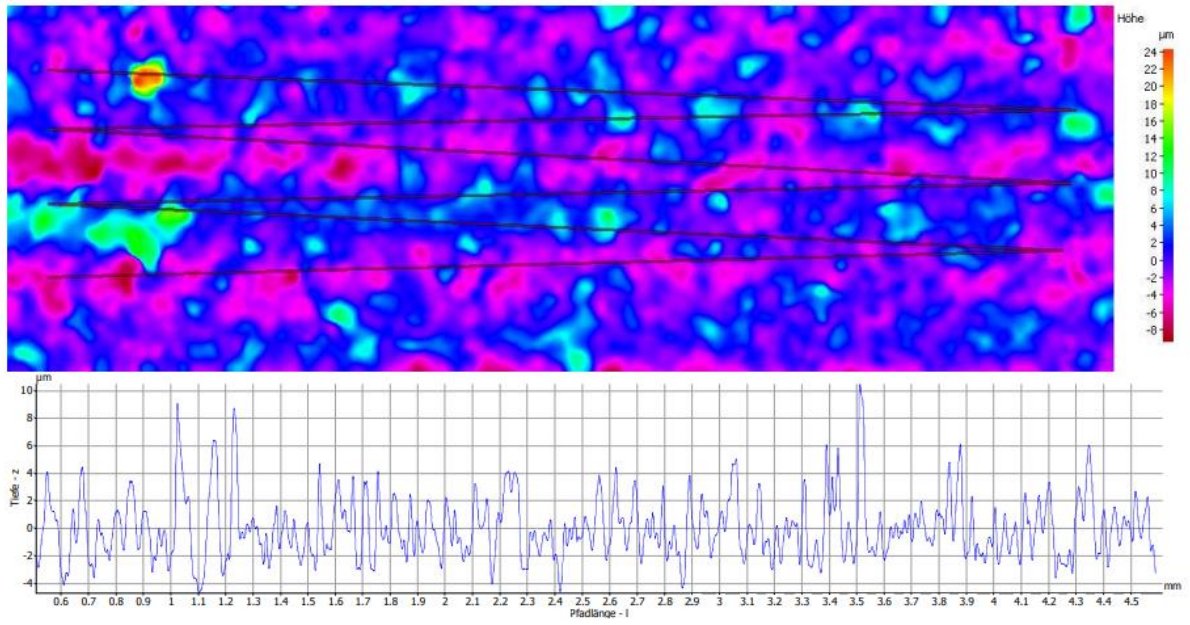


Abb. 4 und 5: Oberflächenprofil eines MicroPlant 290L15B Implantats

Insgesamt standen 20 Implantate für die Untersuchung zur Verfügung, die den vier Testgruppen randomisiert zugeordnet wurden.

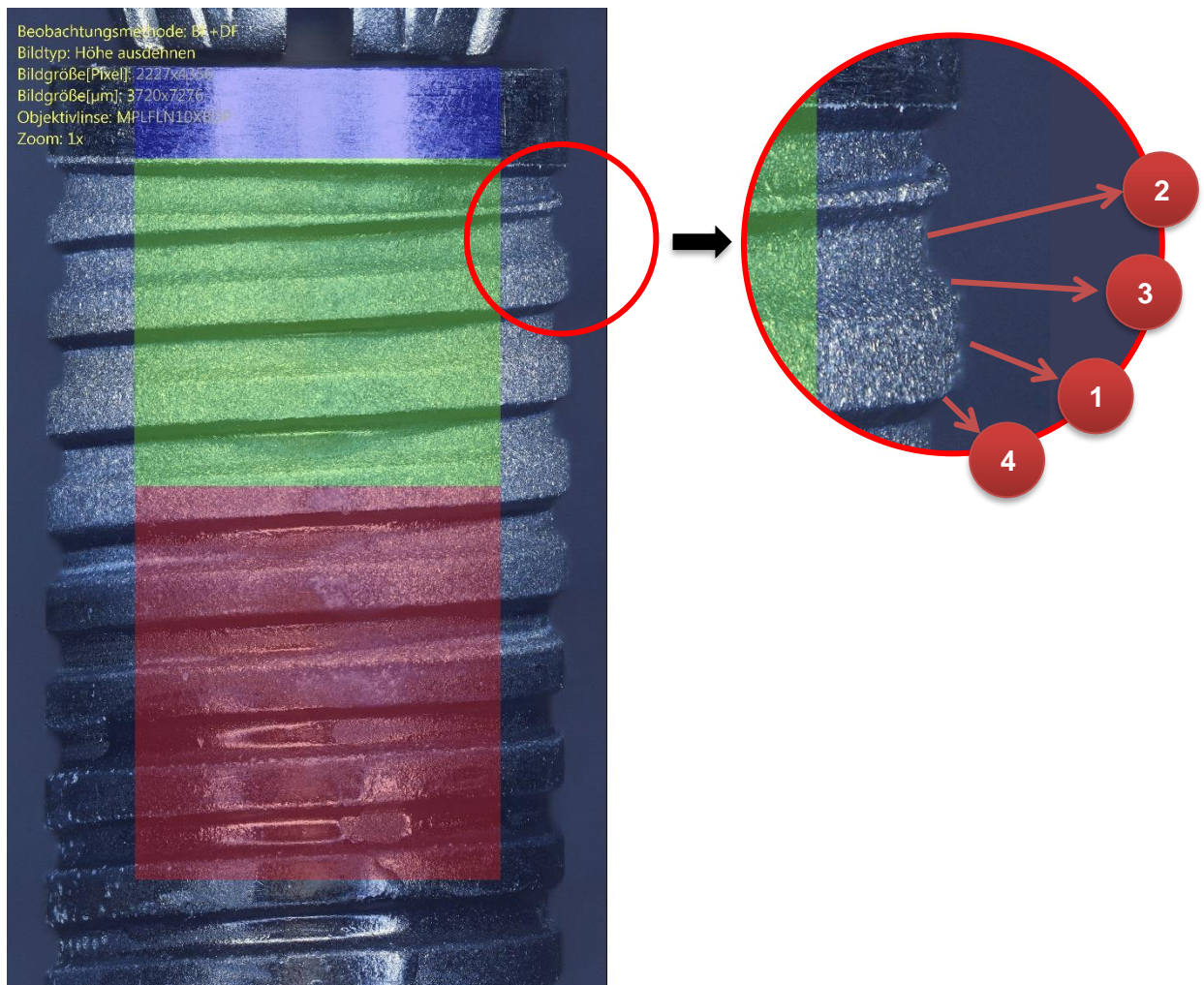


Abb. 6: In der Vergrößerung sind die Makrostrukturen des Implantatkörpers im koronalen, zylindrischen Anteil dargestellt und zur Illustration farblich markiert.

- Blau = Implantatbund, Breite 0.55mm
 - Grün = koronaler Anteil des zu untersuchenden Bereichs des Implantatkörpers (Breite 2mm), der im Bereich des simulierten periimplantären Knochendefektes exponiert war und durch die Reinigungsmethode bearbeitet wurde
 - Rot = apikaler Anteil des zu untersuchenden Bereichs des Implantatkörpers (Breite 2mm), der gereinigt wurde.
1. Gewindeberg
 2. Gewindetal
 3. Koronalwärtige Flanke
 4. Apikalwärtige Flanke

3.4 Simulierter Biofilm

Die bakterielle Plaque wurde durch das Anfärben der Implantatoberflächen mit einem schwarzen Wasserfesten Stift simuliert (Edding No 1 Permanent Marker, Fa Edding) (Abb. 7). Die Farbe basiert auf 1-Methoxy-2-Propanol und Ethanol (Edding 2012). Die Farbe wurde auf die mikro- und makrostrukturierte Oberfläche aufgetragen, wobei darauf geachtet wurde, dass eine gleichmäßige Schicht entstand.

Die Schicht haftet an den Implantatoberfläche und lässt sich durch Abspülen oder Abwischen nicht entfernen (Edding 2012). Diese Methode hat sich in früheren Untersuchungen bewährt (Schmage P 2012).

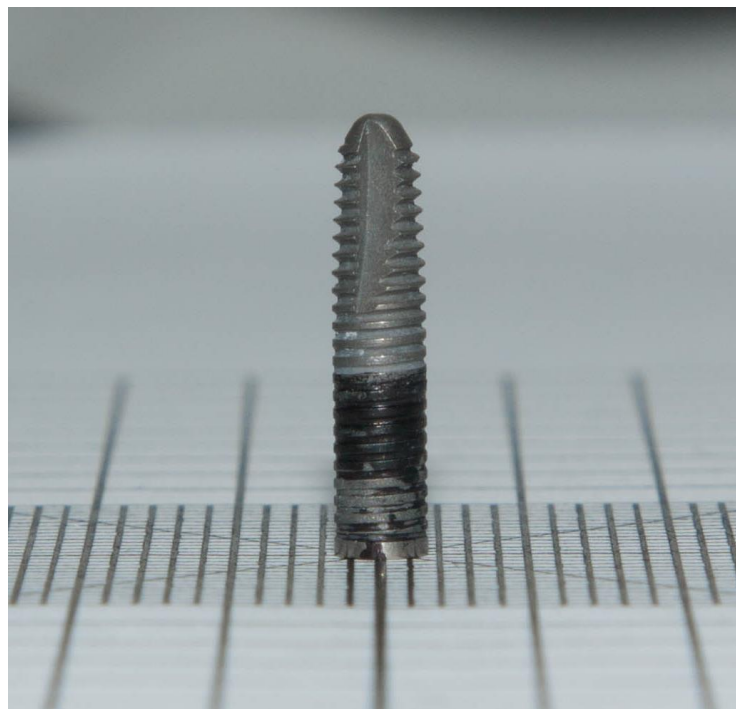


Abb. 7: Implantat MicroPlant 290L15B mit angefärbter Oberfläche

3.5 Reinigungsmethoden

3.5.1 Karbonkürette

Eine manuelle Karbonkürette (Fa KerrHawe, Bioggio, Schweiz), die in der Form und Arbeitsweise einer Gracey-Kürette ähnelt (Abb.8). Der zweite Schaft ist gebogen und das Arbeitsende steht in einem Winkel von 70° zum ersten Schaft. Die Kürette wird aus einem Stück aus Karbonfaser-verstärktem Komposit gefertigt. Sie wird unten leichtem Druck (0,1-0,2N) an allen Implantatflächen angewendet, wobei die Instrumentierung schabend durchgeführt wird. Der Anpressdruck wurde mithilfe einer Briefwaage vor jedem Versuchsdurchlauf mit einer Briefwaage kalibriert.

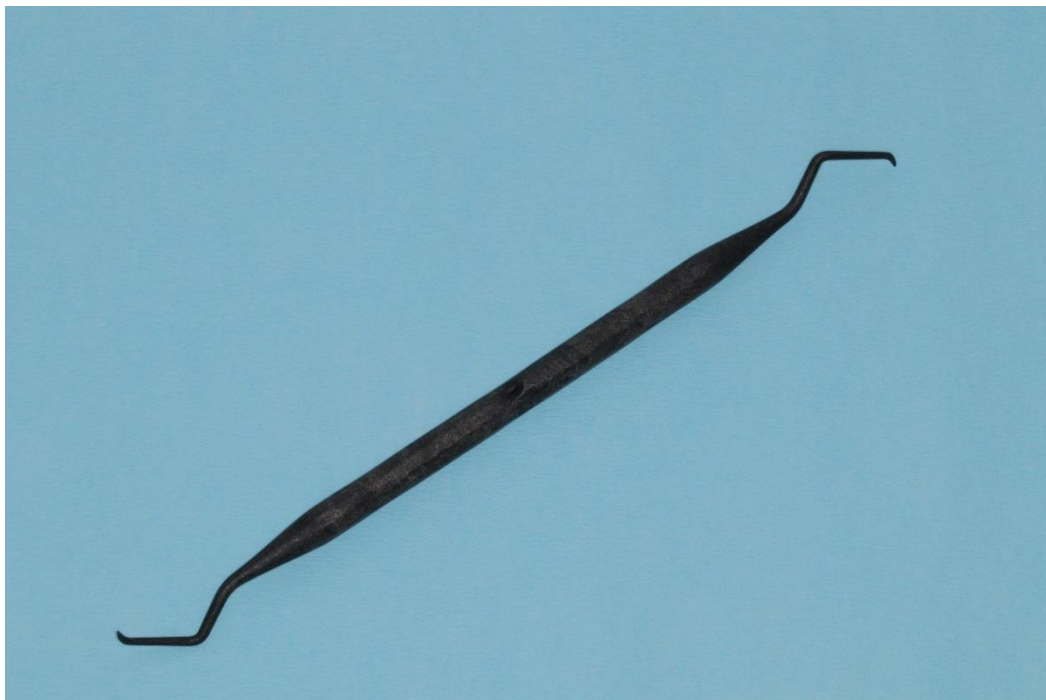


Abb. 8: Karbonkürette

3.5.2 Airpolishing mit einem Luft-Pulver-Wasserstrahlgerät und niedrigabrasivem Pulver auf zwei Applikationsweisen

Zum Airpolishing wurde das AirFlow Master Piezon-Gerät (Fa. EMS Dental, Nyon, Schweiz) benutzt (Abb. 9). Dabei tritt ein Luft-Pulver-Wasserstrahl aus dem Handstück aus. Der Luftdruck wurde herstellerseitig an der Einheit eingestellt (5 bar) und blieb konstant. Nach jeder Anwendung wurde die Pulverkammer wieder voll befüllt und mit einer kalibrierten Waage gewogen, damit der Druck in der Pulverkammer konstant blieb. Die Wasserzufuhr wurde auf maximale Einstellung gestellt, was ca. 30 ml/min entspricht.

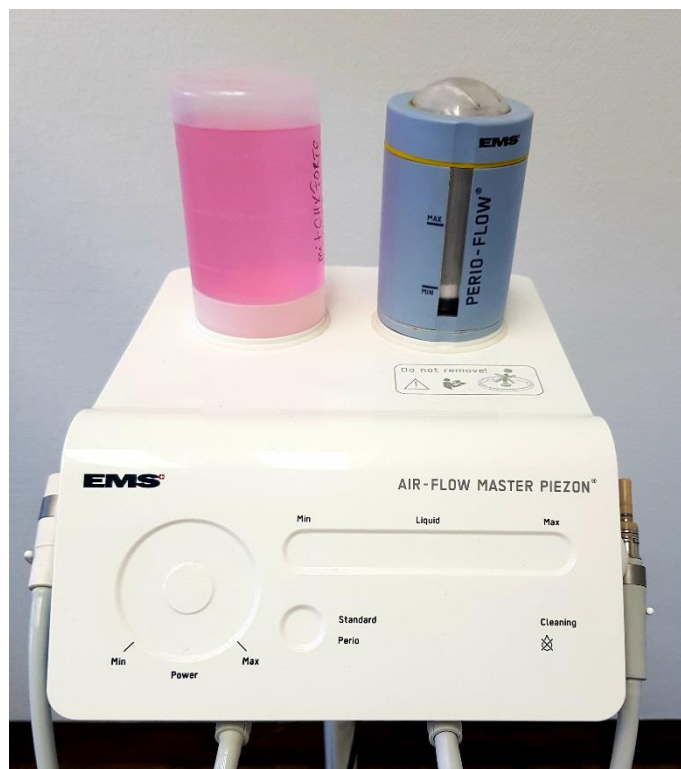


Abb. 9: AirFlow Master Piezon-Gerät

Das niedrig abrasive Plus Pulver (Fa. EMS Dental, Nyon, Schweiz) mit einer Partikelgröße von 14 μm , das auf Erythritol basiert und für die subgingivale Anwendung indiziert ist, wurde angewendet. Erythritol ist ein Alditol und somit wasserlöslich. Der Luft-Pulver-Wasserstrahl kann direkt per AirFlow Handstück (Abb. 10) in die Tasche appliziert werden. Dabei empfiehlt der Hersteller einen Anstellwinkel von 30-60° auf die Zahn- bzw. Implantatoberfläche (EMS 2008). Dadurch gelangt der Sprühstrahl von der Implantatoberfläche subgingival in die Tasche, indem er abprallt, an Energie verliert und sich weiter subgingival von der Oberfläche apikalwärts subgingival verteilt (Mombert 2008) (Abb. 12).

Das AirFlow Handstück wurde in einem Abstand von etwa 3mm und einem Winkel von 30-60° gleichmäßig über die marginale Implantatoberfläche geführt.

Da das Plus-Pulver wasserlöslich und feinkörnig ist, durchdringt es normalerweise nicht das Gewebe. Es löst sich in der Tasche auf, sofern es nicht ausgespült wurde.



Abb. 10: AirFlow-Handstück



Abb. 11: PerioFlow-Handstück mit Nozzle

Weiterhin kann das PerioFlow-Handstück mit Nozzle (Abb. 11) zur subgingivalen Applikation des Luft-Pulver-Wasserstrahls genutzt werden. Dieses Verfahren wird vom Hersteller für Taschentiefen von 4 mm und tiefer empfohlen, während für Taschen unter 4 mm der Einsatz des AirFlow-Handstücks ausreichen soll (EMS 2008).

Die Nozzle wird in die Tiefe der Tasche bzw. hier des infraalveolären Knochendefektes positioniert (Abb. 12). Der Luft-Pulver-Wasserstrahl wird an der Spitze der Nozzle im 90°-Winkel abgelenkt, tritt dadurch abgeschwächt seitlich in alle Richtungen aus und erreicht so u.a. die Implantatoberfläche im rechten Winkel. Das Pulver prallt von der Implantatoberfläche ab und die Reste werden ausgespült bzw. lösen sich auf (Momber 2008).

Die Nozzle wurde in die simulierte Knochentasche bis auf den Defektboden eingeführt, für 5 sec. aktiviert und währenddessen mit gleichmäßigen, kleinen kreisenden Bewegungen herausgezogen.

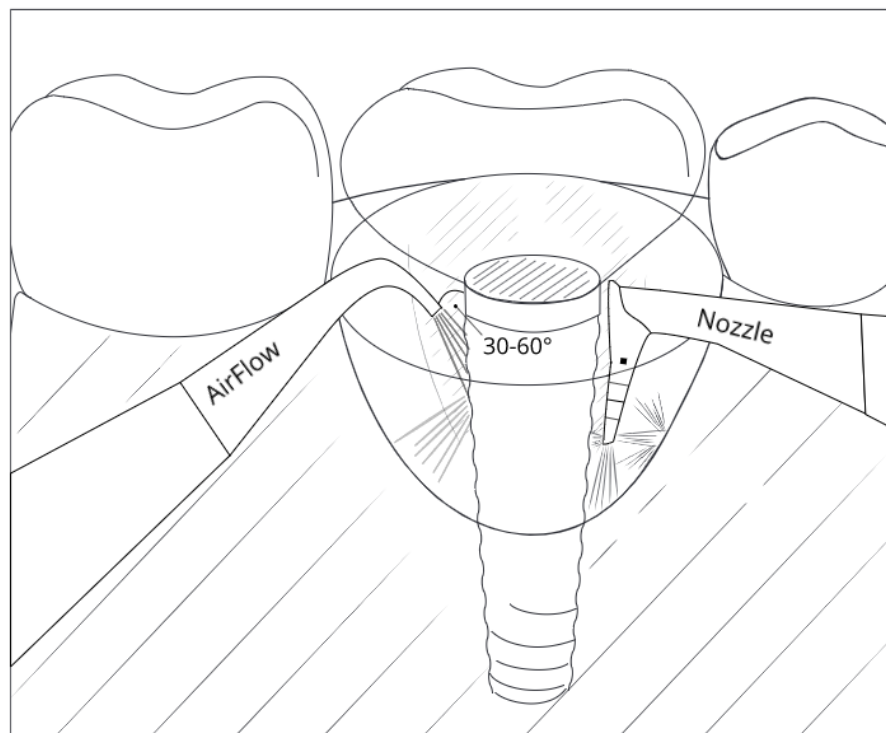


Abb. 12: Schematische Zeichnung der Anwendungsweise des AirFlow Handstücks und PerioFlow-Handstücks mit Nozzle

3.5.3 Oszillierende PEEK-Spitze an einem SONICflex-Handstück

Die PEEK-Spitze wurde an einem Airscaler SONICflex 2003 L (Fa Kavo, Bieberach, Deutschland) betrieben (Abb. 13). Der Airscaler wird an die Zahnärztliche Einheit über die Multiflex-Kupplung des Turbinenansatzes angeschlossen. Der Frequenzbereich des Instruments liegt bei ca. 6000 Hz auf Stufe 2, demzufolge schwingt das Instrument in Schallfrequenz mit einer Amplitude von ca. 300 μm auf einer kreisförmigen Bahn. Das Arbeitsende wird durch die innen geführte Wasserkühlung vor Erhitzung geschützt.

Der PEEK-Aufsatz wird auf ein Transferteil geschraubt, das im SONICflex-Handstück montiert wird. Er besteht aus Polyetheretherketon und wird zur Reinigung der strukturpolierten sowie mikrorauen Implantatoberflächen empfohlen. Der Kunststoff besitzt eine geringere Härte als das Titan der Implantate, weshalb es sich eher abradert als die Implantatoberfläche abgetragen wird, solange der Anpressdruck korrekt ist. Die Instrumentenspitze wird gleichmäßig, mit sehr leichtem Druck von max 0.1N über die Implantatoberfläche geführt, wobei möglichst tangential zur Oberfläche gearbeitet wird (Sollich 2015). Der Anpressdruck wurde stets vor jeder Bearbeitung mit einer Briefwaage kalibriert.



Abb. 13: PEEK-Spitze an einem SONICflex-Handstück

3.6 Versuchsdurchführung

Nacheinander wurden die angefärbten Implantate (n=20) in das Kiefermodell eingesetzt und jeweils 5 Implantate mit derselben Reinigungsmethode von demselben Untersucher eine Minute lang gereinigt. Dabei wurde darauf geachtet, dass jede Fläche (mesial, distal, oral und vestibulär) die gleiche Zeit (15 sec.) bearbeitet wurde. Im Anschluss wurden die Implantate entfernt und die Flächen beschriftet. Danach wurden alle Implantate im Auflichtmikroskop inspiziert und gemäß Protokoll (Tab.1) die festgelegten Aufnahmen angefertigt. Die Übersichtsaufnahmen wurden von allen vier Seiten (mesial, distal, bukkal, oral) mithilfe des Opto-Digitalen-Mikroskops (Olympus DSX500i, Fa Olympus) bei 100-facher Vergrößerung angefertigt.

Die Aufnahmen wurden mit einem Fotobearbeitungsprogramm (ImageJ 1.48, Adobe Photoshop CS6) auf dem jeweiligen Abschnitt exakt zugeschnitten. Dazu wurden die auszuwertenden Flächen mit dem bekannten Implantatradius und der sichtbaren Fläche berechnet.

Die einzelnen gereinigten Flächen wurden händisch mit dem Bildbearbeitungsprogramm (ImageJ 1.48) markiert, ausgemessen und pixelgenau berechnet.

Die einzelnen Aufnahmen wurden dahingehend computergestützt ausgewertet, welcher Anteil Ihrer Fläche noch geschwärzt war. Die geschwärzten Anteile bedeuteten, dass diese nicht von den Reinigungsmethoden von der Farbe, d.h. dem simulierten Biofilm befreit wurden konnten. Also wurde der Anteil des verbliebenen Biofilms pro Gesamtfläche ermittelt.

Die Oberflächenareale der Implantate, je Testgruppe, die der Reinigung im Knochendefekt des Kiefermodells zugänglich waren, wurden hinsichtlich ihrer Lokalisation differenziert:

- Vertikal: strukturpolierter Implantatbund (IB, blau) / oberer (OA, grün, 2mm) und unterer Implantatkörper (UA, rot, 2,4mm) mit Rillenstruktur (grüner und roter Anteil in Abb.6 und Abb. 14)
- Horizontal: approximal Nachbarzähne (a) / bukkale und orale Zugänglichkeit (g)
- Makrostruktur: Gewindeberge (GB), Gewindetäler (GT), apikalwärtige Flanken (AF) und koronalwärtige Flanken (KF) Flanken.

Jeweils die beiden Bilder der Approximalflächen (a) und der bukkal- bzw. oralgelegenen Glattflächen (g) wurden zusammen bewertet. Insgesamt wurden je Reinigungsmethode 80 Einzelbilder erstellt, sodass je Testmethode 180 Bildausschnitte entstanden. Somit wurden von allen 20 Implantaten 720 Bilder in der gesamten Arbeit ausgewertet (Tab. 1).

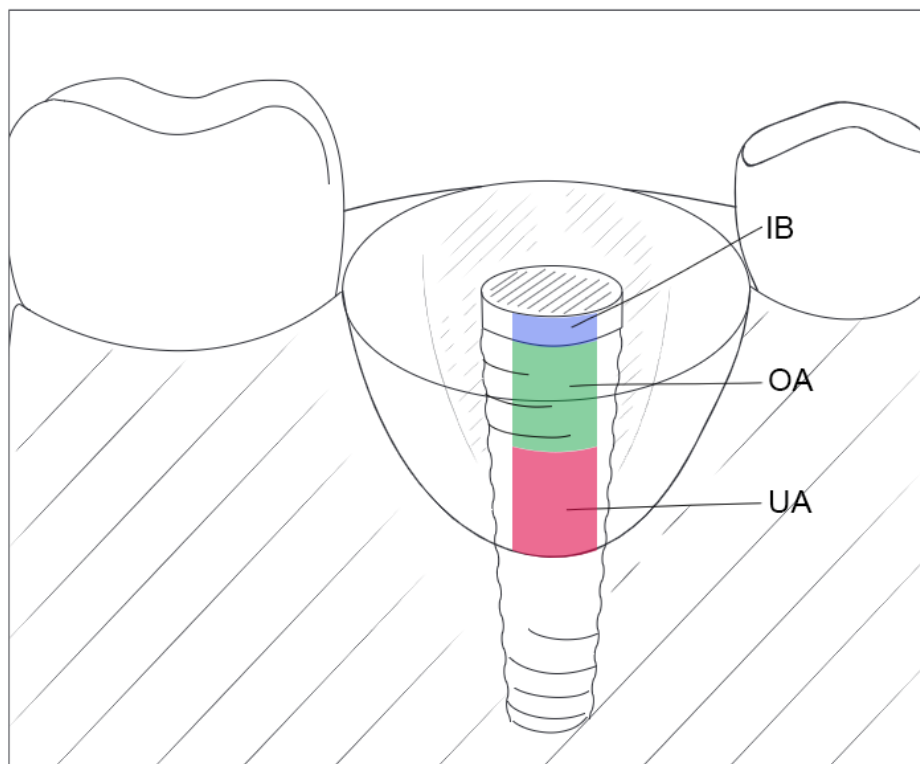


Abb. 14: Skizze der untersuchten Implantatareale:

IB: Blau, Implantatbund, Breite 0.55mm

OA: Grün, Oberer Anteil, Breite 2 mm

UA: Rot, Unterer Anteil, Breite 2.4mm

3.7 Statistische Auswertung

Die quantitativen Ergebnisse wurden mit Microsoft Excel 365 (Fa Microsoft, Redmond, USA) tabellarisch erfasst und die tatsächlichen Flächen der einzelnen Gewindestrukturen berechnet. Anschließend wurden die gereinigten Flächen in Relation zur gemessenen Implantatflächen gesetzt und ein prozentualer Reinigungsgrad ausgerechnet. Dies erfolgte für jedes Implantatareal getrennt. Die Messergebnisse für bukkale und orale Flächen wurden zusammengefasst, ebenso die Messergebnisse für mesiale und distale Areale.

Im Anschluss wurden die Daten in IBM SPSS Statistics Version 23 (Fa IBM, Armonk, USA) übertragen. Dabei wurden zunächst die Reinigungseffektivität einzelner Implantatareale, die mit derselben Methode bearbeitet wurden, verglichen und auf statistisch signifikante Unterschiede geprüft. Danach erfolgte der Vergleich der Reinigungsmethoden jeweils an einem Implantatareal. Es wurden nur die Gruppen verglichen, die sich nur mit einem Messparameter unterscheiden. Bei der statistischen Auswertung kam die One-Way-ANOVA mit dem Bonferonni Post-Hoc-Test zum Einsatz (Signifikanzniveau $\alpha=0,05$).

4 Ergebnisse

4.1 Karbonkürette

Mit der Karbonkürette konnte nur der strukturpolierter Implantatbund adäquat gereinigt werden. Durchschnittlich lag der Reinigungsgrad auf diesen Oberflächen bei 87 % wobei Glattflächen und Approximalflächen keine signifikanten Unterschiede gezeigt haben ($p > 0,05$) (Tab. 2). Die mikrorauen Oberflächen konnten mit den Karbonküretten nicht gereinigt werden, der Reinigungsgrad lag bei 0% (Abb. 15). Alle Untersuchungsbereiche mit mikrorauen Oberflächen verhielten sich signifikant unterschiedlich gegenüber dem Implantatbund ($p < 0,05$).

Die Abbildung 16 und 17 zeigen exemplarisch die unterschiedlichen Reinigungsgrade auf strukturpolierten und mikrorauen Implantatoberflächen unter 100x Vergrößerung. Deutlich erkennbar sind die nicht gereinigten gestrahl-beschichtet Areale. Zusätzlich sind Kratzen und Rillen zu sehen, die infolge der Bearbeitung der Oberflächen entstanden sind.

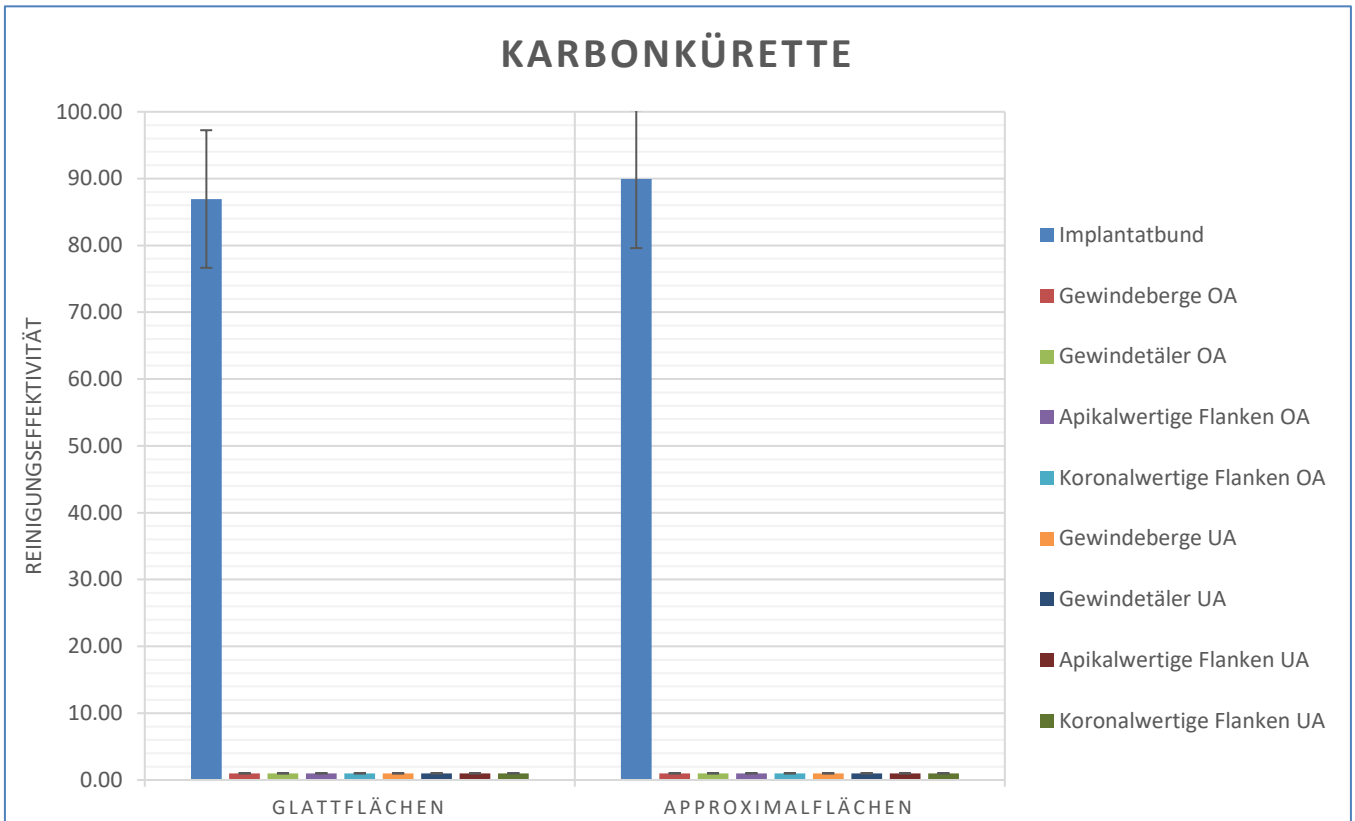


Abb. 15: Reinigungseffektivität der Karbonküretten auf verschiedenen Implantatarealen



Abb. 16: Implantatausschnitt nach Bearbeitung mit Karbonkürette vestibuläre Fläche



Abb. 17: Implantatausschnitt nach Bearbeitung mit Karbonkürette orale Fläche

	IBg	IBa	GB gOA	GB aOA	GT gOA	GT aOA	AF gOA	AF aOA	KF gOA	KF aOA	GB gUA	GB aUA	GT gUA	GT aUA	AF gUA	AF aUA	KF gUA	KF aUA
IBg	x		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
IBa		x																
GB gOA	*		x															
GB aOA	*			x														
GT gOA	*				x													
GT aOA	*					x												
AF gOA	*						x											
AF aOA	*							x										
KF gOA	*								x									
KF aOA	*									x								
GB gUA	*										x							
GB aUA	*											x						
GT gUA	*												x					
GT aUA	*													x				
AF gUA	*														x			
AF aUA	*															x		
KF gUA	*																x	
KF aUA	*																	x

Tab. 2: Signifikanztabelle für die Unterschiede zwischen den Lokalisationen bei der Reinigung mittels Karbonkürette. Mit * sind die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede markiert

4.2 Airpolishing mit dem AirFlow-Handstück

Das AirFlow in Kombination mit dem Plus-Pulver war am effektivsten an dem Strukturpolierten Implantatbund, wobei die Lage der Fläche zur Nachbarstrukturen keinen signifikanten Unterschied bei dem Reinigungsgrad zeigte und bei 92% für Glattflächen und 93% für Approximalflächen lag ($p > 0.05$) (Abb. 18).

Die gestrahlt-beschichtete Implantatoberflächen im oberen Anteil bestand eine bessere Reinigungseffektivität, als im unteren Anteil an allen Implantatarealen ($p < 0,05$).

Am besten konnten die koronalwärtigen Flanken im oberen Anteil gereinigt werden, sowohl an Glatt- als auch an Approximalflächen (88% bzw. 92%). Die apikalwärtigen Flanken zeigten die signifikant schlechtesten Ergebnisse ($p < 0,05$) im Vergleich zu den übrigen Arealen im oberen Anteil.

Im unteren Anteil konnten die Gewindeberge von bukkal bzw. oral noch am besten gereinigt werden (62%), während alle übrigen Bereiche im unteren Anteil schlechter erreicht wurden ($p < 0,05$). Die Reinigungseffektivität betrug in diesen Bereichen nur 28% an den koronalwärtigen Flanken approximal und lag bei allen übrigen Bereichen darunter.

Die lichtmikroskopischen Aufnahmen zeigen exemplarisch im oberen Bereich eine gute Reinigungswirkung, im Vergleich zum unteren Bereich, wo an vielen Flächen noch Restfarbe erkennbar ist (Abb. 19 und 20). Die apikalwärtigen Flanken im oberen Anteil erscheinen schwarz aufgrund des hohen Grades der Restverschmutzung.

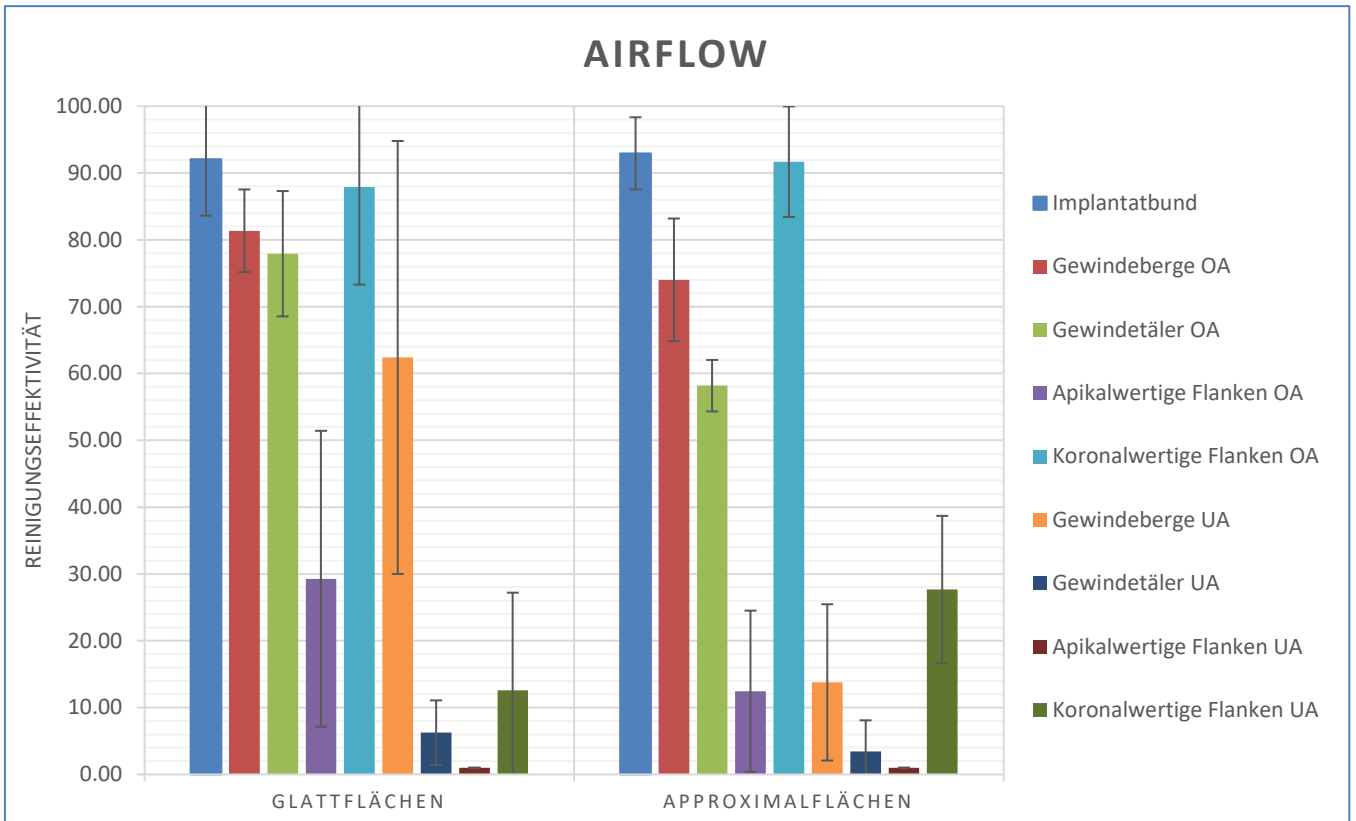


Abb. 18: Reinigungseffektivität des AirFlow auf verschiedenen Implantatarealen



Abb. 19: Implantatausschnitt nach Bearbeitung mit AirFlow vestibuläre Fläche



Abb. 20: Implantatausschnitt nach Bearbeitung mit AirFlow orale Fläche

	IBg	IBa	GB gOA	GB aOA	GT gOA	GT aOA	AF gOA	AF aOA	KF gOA	KF aOA	GB gUA	GB aUA	GT gUA	GT aUA	AF gUA	AF aUA	KF gUA	KF aUA
IBg	X					*	*	*				*	*	*	*	*	*	*
IBa		X				*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*
GB gOA			X				*	*				*	*	*	*	*	*	*
GB aOA				X			*	*				*	*	*	*	*	*	*
GT gOA					X		*	*				*	*	*	*	*	*	*
GT aOA	*	*				X		*		*		*	*	*	*	*	*	*
AF gOA	*	*	*	*	*		X		*	*	*							
AF aOA	*	*	*	*	*	*		X	*	*	*							
KF gOA							*	*	X			*	*	*	*	*	*	*
KF aOA						*	*	*		X		*	*	*	*	*	*	*
GB gUA		*					*	*			X	*	*	*	*	*	*	*
GB aUA	*	*	*	*	*	*			*	*	*	X						
GT gUA	*	*	*	*	*	*			*	*	*		X					
GT aUA	*	*	*	*	*	*			*	*	*			X				
AF gUA	*	*	*	*	*	*			*	*	*				X			
AF aUA	*	*	*	*	*	*			*	*	*					X		
KF gUA	*	*	*	*	*	*			*	*	*						X	
KF aUA	*	*	*	*	*	*			*	*	*							X

Tab. 3: Signifikanztabelle für die Unterschiede zwischen den Lokalisationen bei der Reinigung mittels AirFlow. Mit * sind die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede markiert

4.3 Airpolishing mit der Nozzle und dem PerioFlow-Handstück

Das Airpolishing mit dem PerioFlow-Handstück und dem Nozzle-Aufsatz reinigte den Implantatbund am besten gegenüber allen anderen Implantatarealen ($p < 0,05$). Einzige Ausnahme stellte der Vergleich des Implantatbundes approximal gegenüber den entsprechenden Gewindebergen und koronalwärtigen Flanken im oberen Anteil dar ($p > 0,05$). Allerdings am Implantatbund wurden die Glattflächen signifikant besser erreicht als die Approximalflächen (83% bzw. 65%, $p < 0,05$) (Abb. 21).

Die mikrostrukturierten Implantatoberflächen wurden im oberen Anteil zu maximal 57% gereinigt, wobei die Reinigung an den apikalwärtigen Flanken am schlechtesten war. Im Vergleich der jeweiligen Bereiche unterschieden sich die Messungen an den Approximal- und Glattflächen nicht signifikant voneinander ($p > 0,05$).

Im unteren Anteil wurde eine sehr schlechte Reinigungseffektivität von maximal 20% an den koronalwärtigen Flanken der Glattflächen erzielt. An allen übrigen Bereichen lag sie noch darunter.

Auf den Abbildungen 22 und 23 ist exemplarisch eine nur teilweise gereinigte Implantatoberfläche erkennbar. Die Restfarbe im oberen Bereich ist relativ gleichmäßig verteilt, was auch den gemessenen Reinigungswerten entspricht. Im unteren Bereich ist die Farbe nur zu einem geringen Grad entfernt worden.

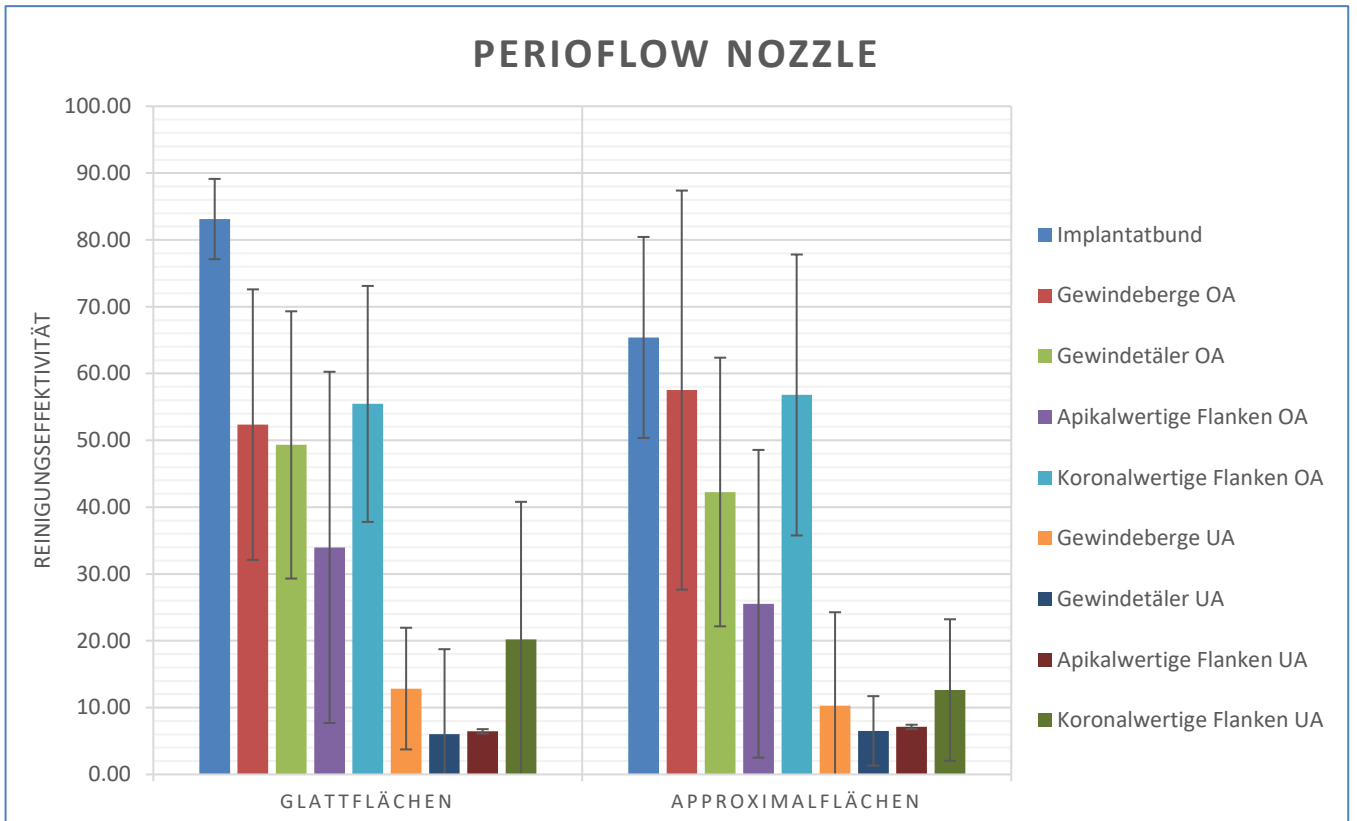


Abb. 21: Reinigungseffektivität der PerioFlow-Handstück mit Nozzle-Aufsatz auf verschiedenen Implantatarealen



Abb. 22: Implantatausschnitt nach Bearbeitung mit PerioFlow vestibuläre Fläche



Abb. 23: Implantatausschnitt nach Bearbeitung mit PerioFlow orale Fläche

	IBg	IBa	GB gOA	GB aOA	GT gOA	GT aOA	AF gOA	AF aOA	KF gOA	KF aOA	GB gUA	GB aUA	GT gUA	GT aUA	AF gUA	AF aUA	KF gUA	KF aUA
IBg	X	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
IBa	*	X			*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*
GB gOA	*		X								*	*	*	*	*	*	*	*
GB aOA	*			X			*	*			*	*	*	*	*	*	*	*
GT gOA	*	*			X		*	*			*	*	*	*	*	*	*	*
GT aOA	*	*				X							*	*	*	*		
AF gOA	*	*		*	*		X											
AF aOA	*	*		*	*			X										
KF gOA	*								X		*	*	*	*	*	*	*	*
KF aOA	*									X	*	*	*	*	*	*	*	*
GB gUA	*	*	*	*	*				*	*	X							
GB aUA	*	*	*	*	*				*	*		X						
GT gUA	*	*	*	*	*	*			*	*			X					
GT aUA	*	*	*	*	*	*			*	*				X				
AF gUA	*	*	*	*	*	*			*	*					X			
AF aUA	*	*	*	*	*	*			*	*						X		
KF gUA	*	*	*	*	*				*	*							X	
KF aUA	*	*	*	*	*				*	*								X

Tab. 4: Signifikanztabelle für die Unterschiede zwischen den Lokalisationen bei der Reinigung mittels PerioFlow-Handstück Nozzle-Aufsatz. Mit * sind die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede markiert

4.4 Oszillierende PEEK-Spitze im SONICflex-Handstück

Abbildung 24 zeigt die Reinigungseffektivität der schallgetriebenen PEEK-Spitzen auf den verschiedenen Implantatarealen. Der glatte Implantatbund wurde zu maximal 81% bei der Reinigung erreicht, wobei sich die Reinigungseffektivität an Approximal- und Glattflächen nicht signifikant unterschied ($p > 0,05$).

Auf den mikrorauen Oberflächen im oberen Anteil waren die Ergebnisse auf allen Arealen, außer an Gewindebergen signifikant schlechter ($p < 0,05$), als am Implantatbund. Die PEEK-Spitze konnte die Gewindeberge zu 74% approximal und 64% an den Glattflächen erreichen, während sie alle übrigen Bereiche signifikant schlechter reinigte ($p < 0,05$). Sie erreichte die koronalwärtige Flanke approximal noch zu 57%, aber alle anderen Bereiche blieben zu mehr als 60% verunreinigt, unabhängig von Ihrer Lokalisation an Approximal- oder an Glattflächen.

Im unteren Anteil konnte die PEEK-Spitze keine zufriedenstellende Reinigungseffektivität erbringen, da sie nur bei unter 5% an allen untersuchten Bereichen lag.

Die exemplarischen Aufnahmen (Abb.25 und 26) zeigen vor allem in unteren Anteil die Areale, die noch fast vollständig von schwarzer Farbe bedeckt sind. Im oberen Anteil fallen vor allem in den Gewindetälern noch deutliche Farbverunreinigungen auf.

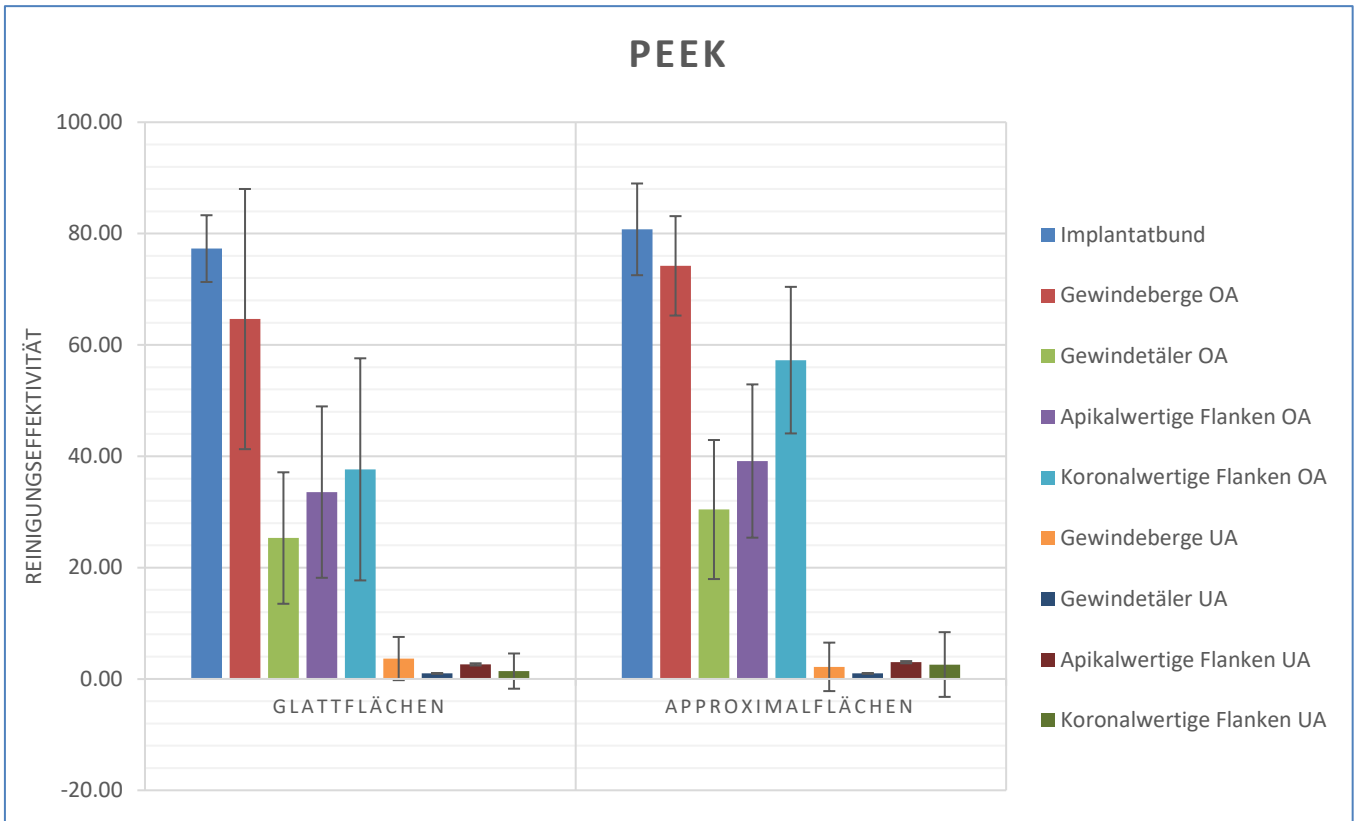


Abb. 24: Reinigungseffektivität der PEEK-Spitze auf verschiedenen Implantatarealen



Abb. 25: Implantatausschnitt nach Bearbeitung mit PEEK-Spitze vestibuläre Fläche



Abb. 26: Implantatausschnitt nach Bearbeitung mit PEEK-Spitze orale Fläche

	IBg	IBa	GB gOA	GB aOA	GT gOA	GT aOA	AF gOA	AF aOA	KF gOA	KF aOA	GB gUA	GB aUA	GT gUA	GT aUA	AF gUA	AF aUA	KF gUA	KF aUA
IBg	x				*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*
IBa		x			*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*
GB gOA			x		*	*					*	*	*	*	*	*	*	*
GB aOA				x	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*
GT gOA	*	*	*	*	x					*								
GT aOA	*	*	*	*		x												
AF gOA	*	*		*			x						*	*			*	
AF aOA	*	*		*				x					*	*	*	*	*	*
KF gOA	*	*		*					x				*	*	*	*	*	*
KF aOA					*					x	*	*	*	*	*	*	*	*
GB gUA	*	*	*	*						*	x							
GB aUA	*	*	*	*						*		x						
GT gUA	*	*	*	*			*	*	*	*			x					
GT aUA	*	*	*	*			*	*	*	*				x				
AF gUA	*	*	*	*				*	*	*					x			
AF aUA	*	*	*	*				*	*	*						x		
KF gUA	*	*	*	*			*	*	*	*							x	
KF aUA	*	*	*	*				*	*	*								x

Tab. 5: Signifikanztabelle für die Unterschiede zwischen den Lokalisationen bei der Reinigung mittels die Schallgetriebene PEEK-Spitze. Mit * sind die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede markiert

4.5 Vergleich der Messbereiche

Zum Vergleich der verschiedenen Reinigungsmethoden an den unterschiedlichen Auswertungsbereichen entlang der Implantatoberfläche wurde auf eine Differenzierung der Lokalisation bzgl. der Approximalstrukturen verzichtet. Es wurden die im vorangegangenen Kapitel einzeln dargestellten Werte der Approximal- und Glatflächen zusammengefasst.

4.5.1 Implantatbund

Der Implantatbund mit seiner strukturpolierten Oberfläche wurde von allen Methoden am besten gereinigt. Die besten Ergebnisse konnten mit dem Airpolishing mittels AirFlow Handstück (93%) und mit der Carbon Kürette (89%) erzielt werden. Das Airpolishing mittels Nozzle (74%) war signifikant schlechter zur Reinigung des Implantatbundes geeignet ($p < 0,05$) (Abb. 27, Tab. 6).

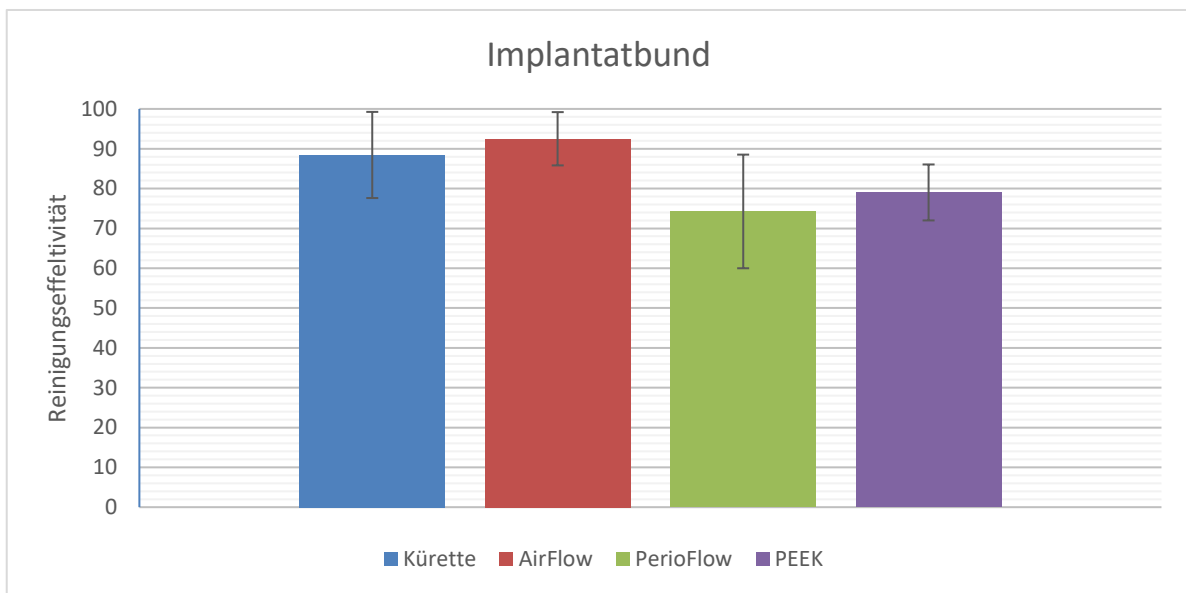


Abb. 27: Reinigungseffektivität am Implantatbund

	Kürette	AirFlow	PerioFlow	PEEK
Kürette	x		*	
AirFlow		x	*	*
PerioFlow	*	*	x	
PEEK		*		x

Tab. 6: Signifikanztabelle, Implantatbund
Mit * sind die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede markiert

4.5.2 Gewindeberge

Die Gewindeberge im oberen Anteil konnten mit allen Methoden signifikant besser gereinigt werden, als jene im unteren Anteil ($p < 0,05$, Abb. 28, Tab. 7). Das Airpolishing mit dem AirFlow-Handstück erzielte im oberen Anteil mit 78% die besten Ergebnisse, gefolgt von den oszillierenden PEEK-Spitze mit 73%, wobei es kein signifikanter Unterschied zwischen diesen beiden Methoden bestand ($p > 0,05$). Signifikant schlechter als AirFlow hat die PerioFlow Nozzle mit 57% abgeschnitten ($p < 0,05$). Die mit Küretten bearbeiteten Oberflächen wiesen 100% Restverschmutzungsgrad auf.

Im unteren Abschnitt konnte das AirFlow nur eine Reinigungseffektivität von 50% erzielen. Jedoch waren alle übrigen Methoden signifikant schlechter für die Reinigung in diesem Bereich geeignet ($p < 0,05$).

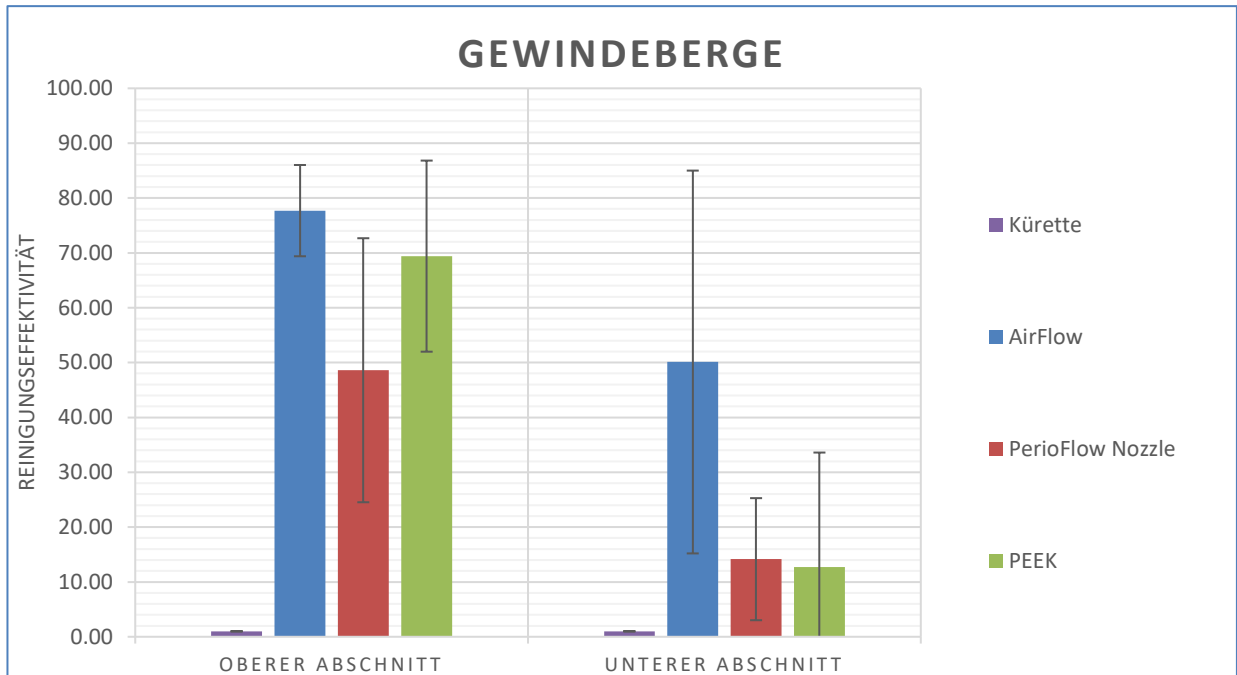


Abb. 28: Reinigungseffektivität der Gewindeberge

		<i>Oberer Abschnitt</i>				<i>Unterer Abschnitt</i>			
		Kürette	AirFlow	PerioFlow	PEEK	Kürette	AirFlow	PerioFlow	PEEK
<i>Oberer Abschnitt</i>	Kürette	x	*	*	*		x	x	x
	AirFlow	*	x	*		x	*	x	x
	PerioFlow	*	*	x		x	x	*	x
	PEEK	*			x	x	x	x	*
<i>Unterer Abschnitt</i>	Kürette		x	x	x	x	*	*	*
	AirFlow	x	*	x	x	*	x	*	*
	PerioFlow	x	x	*	x	*	*	x	
	PEEK	x	x	x	*	*	*		x

Tabelle 7: Signifikanztabelle, Gewindeberge. Mit * sind die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede markiert

4.5.3 Gewindetäler

In den Gewindetälern erwies sich das Airpolishing mittels AirFlow-Handstück im Vergleich zu anderen Methoden am effektivsten, wobei sich die Differenzen signifikant unterschieden ($p < 0,05$, Tab. 8). Es erzielt im oberen Bereich mit 68% und im unteren Bereich mit 29% die jeweils besten Ergebnisse (Abb. 29). Airpolishing mittels Nozzle erreichte Gewindetäler im oberen Abschnitt noch zu 43% und die PEEK-Spitze zu 28%. Dahingegen konnte sie von der Kürette nicht gereinigt werden.

Die Reinigung im unteren Anteil gelang nur unzureichend, wobei alle Methoden, außer Airpolishing mittel AirFlow-Handstück Reinigungsergebnisse unter 10% erbrachten. Alle maschinellen Methoden differierten signifikant zwischen dem oberen und unteren Abschnitt ($p < 0,05$).

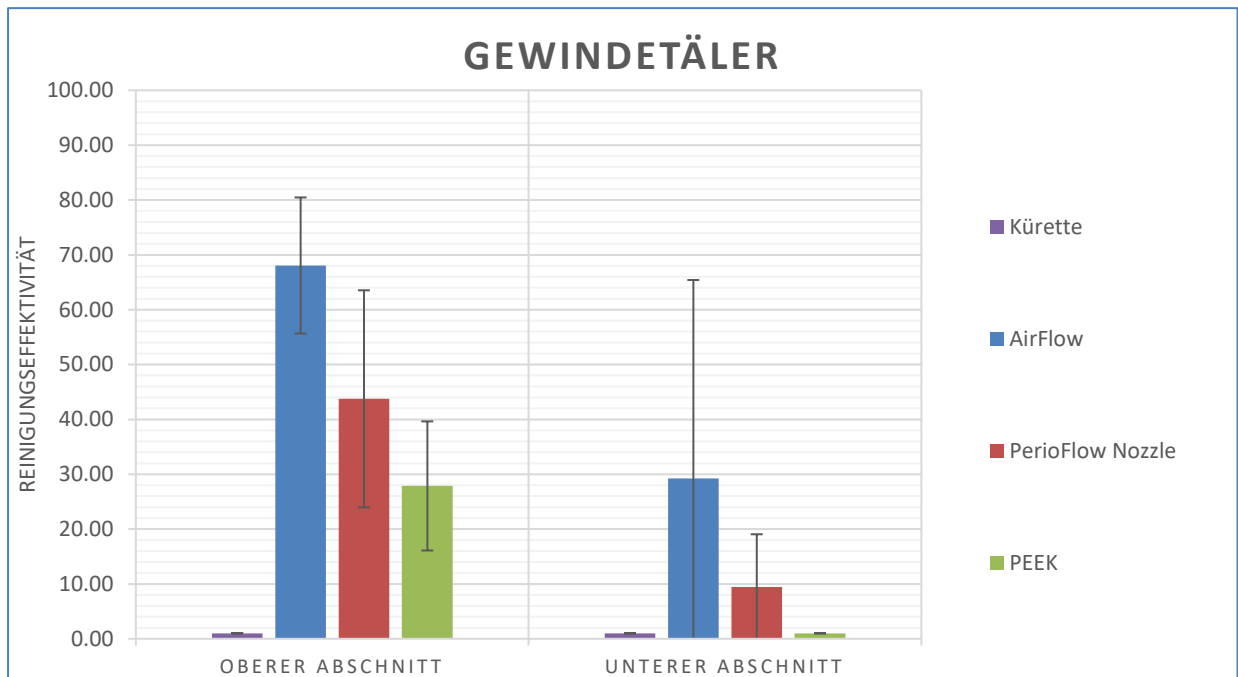


Abb. 29: Reinigungseffektivität der Gewindetäler

		<i>Oberer Abschnitt</i>				<i>Unterer Abschnitt</i>			
		Kürette	AirFlow	PerioFlow	PEEK	Kürette	AirFlow	PerioFlow	PEEK
<i>Oberer Abschnitt</i>	Kürette	x	*	*	*		x	x	x
	AirFlow	*	x	*	*	x	*	x	x
	PerioFlow	*	*	x		x	x	*	x
	PEEK	*	*		x	x	x	x	*
<i>Unterer Abschnitt</i>	Kürette		x	x	x	x	*	*	
	AirFlow	x	*	x	x	*	x	*	*
	PerioFlow	x	x	*	x	*	*	x	*
	PEEK	x	x	x	*		*	*	x

Tabelle 8: Signifikanztabelle, Gewindetäler. Mit * sind die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede markiert

4.5.4 Apikalwärtige Flanken

Die apikalwärtigen Flanken konnten selbst im oberen Anteil nur zu maximal 36% mit der PEEK-Spitze erreicht werden. Die Reinigungseffektivitäten des Airpolishings sowohl mit AirFlow als auch mit der Nozzle lagen darunter (21% bzw. 30%). Die Kürette konnte keine Reinigung bewirken (Abb. 30), wodurch sie noch signifikant schlechter als die übrigen Methoden war ($p < 0,05$, Tab.9).

Die apikalwärtigen Flanken im unteren Anteil wurden mit allen Methoden nur minimal gereinigt, wobei die Reinigung mit der Nozzle im PeriFlow-Handstück den maximalen Wert von 9% zeigte. Alle maschinellen Methoden differierten signifikant zwischen dem oberen und unteren Abschnitt ($p < 0,05$).

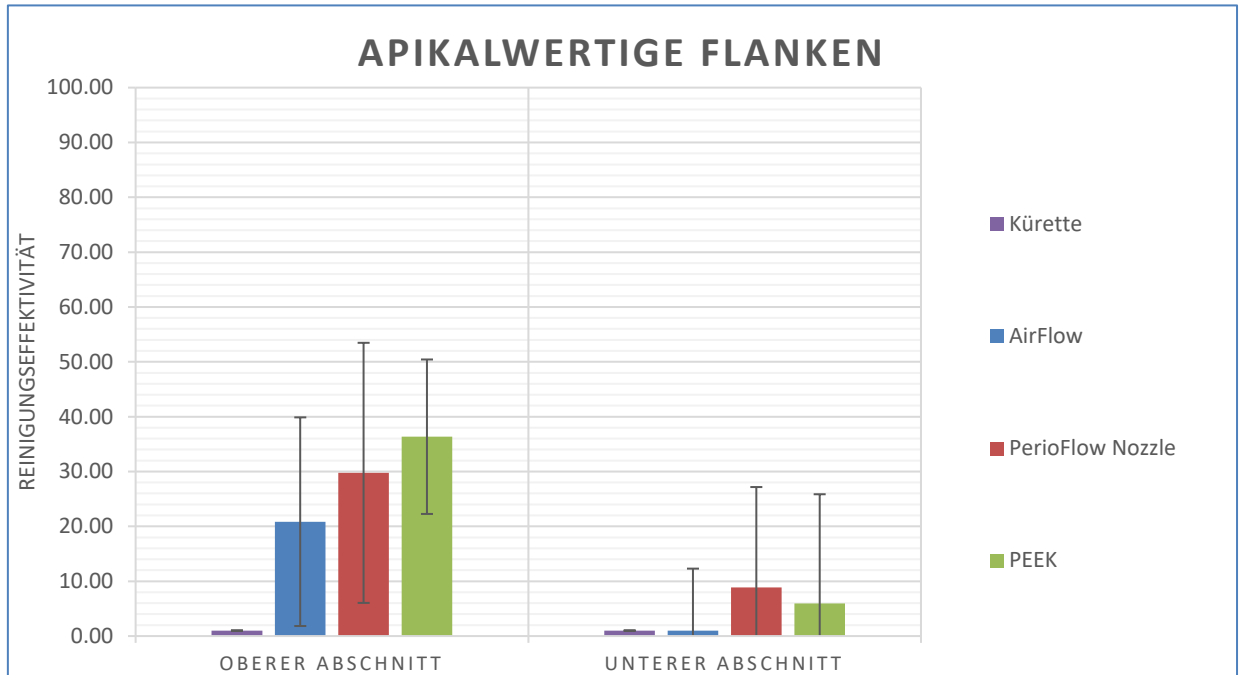


Abb. 30: Reinigungseffektivität der apikalwärtigen Flanken

		<i>Oberer Abschnitt</i>				<i>Unterer Abschnitt</i>			
		Kürette	AirFlow	PerioFlow	PEEK	Kürette	AirFlow	PerioFlow	PEEK
<i>Oberer Abschnitt</i>	Kürette	x	*	*	*		x	x	x
	AirFlow	*	x			x	*	x	x
	PerioFlow	*		x		x	x	*	x
	PEEK	*			x	x	x	x	*
<i>Unterer Abschnitt</i>	Kürette		x	x	x	x			
	AirFlow	x	*	x	x		x		
	PerioFlow	x	x	*	x			x	
	PEEK	x	x	x	*				x

Tabelle 9: Signifikanztabelle, apikalwärtige Flanken. Mit * sind die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede markiert

4.5.5 Koronalwärtige Flanken

Die koronalwärtigen Flanken konnten im oberen Anteil zu maximal 90% mit dem Airpolishing im AirFlow-Handstück gereinigt werden (Abb. 31). Die Reinigungseffektivitäten des Airpolishings mit der Nozzle als auch mit der oszillierenden PEEK-Spitze lagen signifikant darunter (54% bzw. 47%, $p < 0,05$). Die Kürette konnte keine Reinigung bewirken (Abb. 28), wodurch sie sich signifikant gegenüber allen übrigen Methoden unterschied ($p < 0,05$, Tab.10).

Die koronalwärtigen Flanken im unteren Anteil wurden mit dem Airpolishing im AirFlow-Handstück zu 30% sowie mit der Nozzle im PerioFlow-Handstück zu 21% gereinigt. Dagegen erzielten PEEK-Spitze und Kürette keinen nennenswerten Effekt, wodurch sie sich gegenüber den beiden Airpolishing-Methoden signifikant unterschieden ($p < 0,05$). Alle maschinellen Methoden differierten signifikant zwischen dem oberen und unteren Abschnitt ($p < 0,05$).

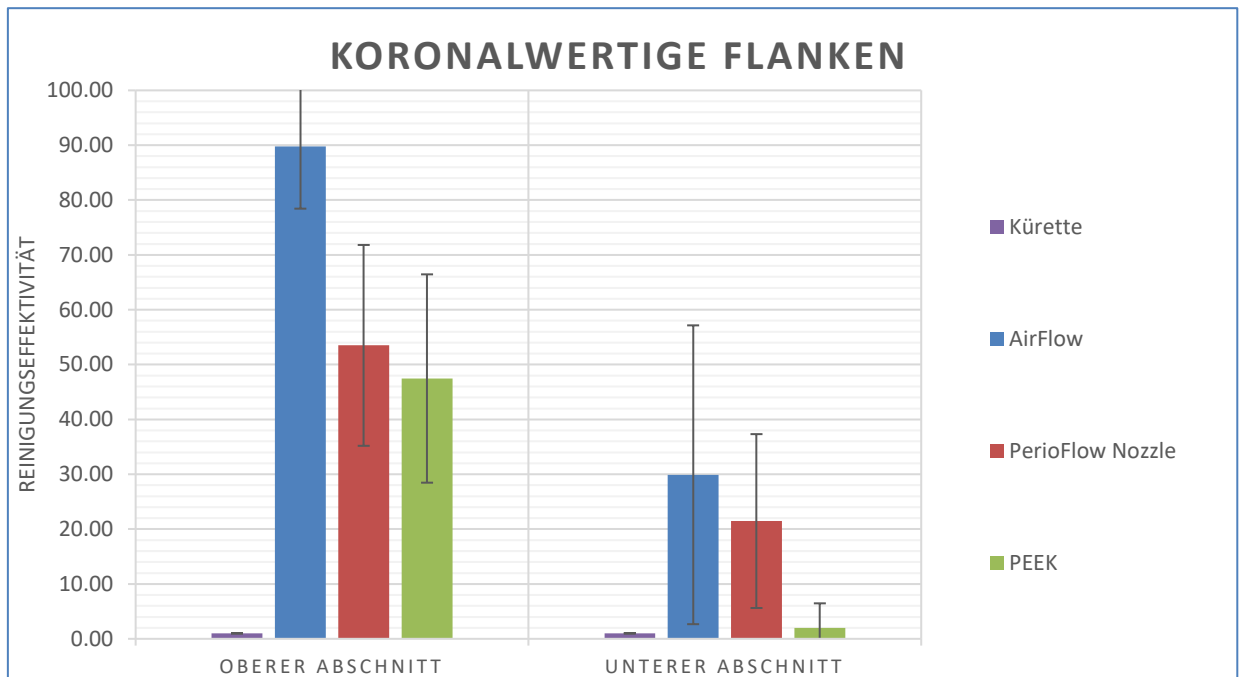


Abb. 31: Reinigungseffektivität der koronalwärtigen Flanken

		<i>Oberer Abschnitt</i>				<i>Unterer Abschnitt</i>			
		Kürette	AirFlow	PerioFlow	PEEK	Kürette	AirFlow	PerioFlow	PEEK
<i>Oberer Abschnitt</i>	Kürette	x	*	*	*		x	x	x
	AirFlow	*	x	*	*	x	*	x	x
	PerioFlow	*	*	x		x	x	*	x
	PEEK	*	*		x	x	x	x	*
<i>Unterer Abschnitt</i>	Kürette		x	x	x	x	*	*	
	AirFlow	x	*	x	x	*	x		*
	PerioFlow	x	x	*	x	*		x	*
	PEEK	x	x	x	*		*	*	x

Tabelle 10: Signifikanztabelle, koronalwärtige Flanken. Mit * sind die signifikanten ($p < 0,05$) Unterschiede markiert

5 Diskussion

Methodenkritik

Diverse mechanische Reinigungsmethoden zur Dekontamination von Implantatoberflächen sind bereits in der Literatur untersucht worden (Louropoulou et al. 2014, Bertoldi et al. 2017, Tastepe et al. 2012). Bei ihrer Bewertung wurden bislang hauptsächlich die Effektivität bzgl. der vollständigen Biofilmentfernung und die Effekte hinsichtlich einer Veränderung der Implantatoberflächen-Mikrostruktur herangezogen. Die in dieser Untersuchung verwendeten mechanischen Reinigungsmethoden des Airpolishing mit einem niedrig abrasiven Pulver und mit der oszillierenden PEEK-Spitze in einem SONICflex-Handstück hatten sich in den vorangegangenen Untersuchungen bzgl. der oben genannten Zielparameter Biofilmentfernung und Beschädigungsfreiheit der Implantatoberfläche bewährt (Schmage et al. 2014, Thielemann 2012). Sie sind ebenfalls klinisch üblich und etabliert (Riben-Grundstrom et al. 2015). Daneben werden klinisch noch sehr häufig manuelle Küretten verwendet, die in dem Fall der Nutzung an Implantatoberflächen aus Carbonfasern bzw. Kunststoff gefertigt sein sollen (Valderrama et al. 2014). Der Grund dafür ist, dass manuelle Küretten in der Parodontologie den Goldstandard darstellen und dies auf die Implantologie übertragen wird. Obwohl bereits nachgewiesen wurde, dass manuelle Küretten in der Implantologie nicht gleichermaßen als Goldstandard anzusehen sind, hält ihre Beliebtheit an, weil sie häufig in der Verwendung als schonender als maschinelle Verfahren angesehen werden. Deshalb wurden in der vorliegenden Arbeit alle drei Methoden untersucht.

Die Untersuchungen, auf denen die Präferenz des Airpolishing und der oszillierenden PEEK-Spitze beruht, wurden in-vitro auf plättchenförmigen Probekörpern aus Titan mit unterschiedlichen Oberflächenstrukturen durchgeführt (Sollich 2015, Thielemann 2012, Kahili 2012). Jedoch ist noch nicht klar, inwieweit die auf den Implantatplättchen

erzielbare Reinigungseffektivität auch unter klinischen Bedingungen umgesetzt werden kann. Der Grund dafür ist, dass in vivo eine Vielzahl weiterer Parameter für die Qualität der Reinigungsleistung der Methoden eine Rolle spielt. Diese Parameter beruhen im Wesentlichen auf Zugänglichkeit der zu reinigenden Implantatoberfläche für die Anwendung der Methode. Beim Airpolishing muss der Luft-Pulver-Wasserstrahl auf die jeweilige Oberfläche gerichtet werden können und bei der Anwendung der PEEK-Spitze muss diese tangential an die Implantatoberfläche angesetzt werden können, damit eine entsprechende Leistung zu erwarten ist. Diese Anforderungen können aber durch folgende Faktoren limitiert sein (de Tapia et al. 2019, Tuna et al. 2019, Schwarz et al. 2016):

- die Position des Implantates im Mund, beispielweise eine sehr weit distale Lokalisation.
- die Morphologie der periimplantären Gewebe, beispielweise eine geringe Kieferkammhöhe oder ein flaches Vestibulum.
- durch die Nähe der Nachbarzähne bzw. Nachbarimplantate, beispielweise den horizontalen Versatz zwischen dem Nachbarzahn und dem Implantat oder zwei zu dicht nebeneinander inserierte Implantate.
- die Gestaltung der Suprakonstruktion bzgl. ihrer Hygienefähigkeit, beispielweise eine Extension eines benachbarten Brückengliedes bis auf den Alveolarkamm.
- die Auskrugung der Implantatkrone, eine sehr ausladende Gestaltung verhindert eine axiale Instrumentierung am Implantat, da das Instrument am Implantat die Arbeitsrichtung ändern müsste.
- die Festigkeit der bindegewebigen Manschette, die das Implantat umgibt und die instrumentell überwunden werden muss, um die tiefere periimplantäre Tasche zu reinigen.

- die Form des periimplantären Knochendefektes, infra- bzw. supraalveolär, die bei infraalveolärer Ausdehnung hinsichtlich Tiefe und Breite variieren kann.

Bei der Anwendung in vivo kann als Zielparameter allerdings nur die erfolgreiche Heilung gewertet und nicht direkt die Effektivität untersucht werden. Aus diesem Grund wurde die vorliegende Arbeit als in-vitro Studie designt, die ein Kiefermodell nutzt, aus dem die Implantate nach der Reinigung entnommen und Reinigungsqualität bewertet werden konnte.

Die genutzte Versuchsanordnung hat eine Weichgewebesimulation verzichtet, sodass sie wie eine klinische Situation nach operativer Aufklappung der periimplantären Weichgewebe anzusehen ist. Trotzdem die freie Zugänglichkeit zu dem knöchernen Defekt das Handling erleichterte, waren die Ergebnisse eher als unzufriedenstellend zu bewerten. Das zusätzliche Anbringen einer Weichgewebemanschette kann der Einsatz der Reinigungsmethoden nur erschweren und zu noch schlechteren Ergebnissen führen (Steiger-Ronay et al. 2017).

Außerdem haben auch Breite und Tiefe des Knochendefektes einen Einfluss auf die Reinigungseffektivität haben. Der gewählte Knochendefekt war bezogen auf seine Tiefe eher als breit anzusehen. Die trichterförmigen infraalveolären Knochendefekte bei Periimplantitis können auch noch tiefer und schmaler sein. Da die Ergebnisse bereits bei dieser Knochenkonfiguration unzureichend zu bewerten waren, wurde bei dieser Untersuchung auf die Testung komplizierterer Defektkonfigurationen verzichtet.

Die Simulation des Biofilms durch wasserfeste Farbe könnte die Ursache für einen Fehler darstellen, da sie evtl. leichter oder schwerer entfernbar war als natürliche Plaque. Dieser Fehler wäre dann allerdings systematisch. An der Implantatoberfläche ist nur die Auflagerung von nicht mineralisiertem Biofilm zu erwarten, der sich evtl.

leichter entfernen lässt, als die wasserfeste Farbe. Andererseits hat sich in den früheren Untersuchungen mit der wasserfesten Farbe gezeigt, dass sich diese auch durch Kavitationseffekt entfernen lässt, was dem natürlichen Verhalten mit Plaque entspricht. Daher ist in weiteren Untersuchungen zu bestätigen, ob Ergebnisse mit der Farbe und einem echten Biofilm dieselben Ergebnisse übertragbar und reproduzierbar sind.

Ergebniskritik

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten, dass bei Nullhypothesen abgelehnt werden müssen. Die Effektivität der getesteten Reinigungsmethoden hat sich als signifikant unterschiedlich erwiesen. Ebenfalls wurde festgestellt, dass die Reinigungsmethoden auf den verschiedenen Implantatoberflächen und Bereichen unterschiedlich gut reinigten.

Am Zahn wird eine parodontale Reinigung als suffizient angesehen, wenn ca. 80% der Biofilme entfernt werden (Geyer 2013). In diversen Arbeiten wurde bestätigt, dass dieser Anspruch durch die zur Verfügung stehenden Methoden erfüllt werden kann (Schmage et al. 2017, Schultz 2005). Dagegen dokumentiert die vorliegende Untersuchung deutlich schlechtere Ergebnisse. Der Anspruch einer effektiven Reinigung wird in der vorliegenden Untersuchung durch die getesteten Reinigungsmethoden nur teilweise am Implantatbund und allenfalls im koronalen Anteil des Implantatkörpers erfüllt. Die Effektivität ist dabei ganz wesentlich von der Makrostruktur des Implantatkörpers abhängig: die Untersuchung hat gezeigt, dass koronalwärtige Flanken und Gewindeberge leichter gereinigt werden können, als Gewindetäler und apikalwärtige Flanken. Die Implantate verschiedener Hersteller weisen unterschiedliche Makrostrukturen auf: bei vielen Systemen gibt es Schraubenartige Strukturen ohne Gewindeberg aber mit schräggestellten apikal- und koronalwärtigen Flanken. Auf diese sollten die Ergebnisse

übertragbar sein, auch wenn der Winkel der Flanken bei dem getesteten Implantatdesign steiler ist.

Entsprechend wird eine schlechte Reinigungsleistung bei vergleichbaren Makrostrukturen zu erwarten sein. Die Reinigungseffektivität wurde nur auf der gestrahl-beschichteten Oberfläche untersucht. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Oberflächenrauigkeit eine relevante Größe für die Reinigungseffektivität ist (Schmage et al. 2012). Daher ist zu erwarten, dass auf unterschiedlichen Implantatmikrostrukturen mit denselben Reinigungsmethoden unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden. Einerseits handelt es sich bei der vorliegenden Implantatoberflächenstruktur um eine solche mit üblicher Mikrorauigkeit. Andererseits wäre es über die Fragestellung hinausgegangen, andere Implantatoberflächenstrukturen zu vergleichen. Dies bleibt künftigen Untersuchungen vorbehalten.

Die Arbeitsweise der oszillierenden PEEK-Spitze erfordert eine tangentielle Anlagerung an die Implantatoberfläche. Es ist ersichtlich, dass dies bei der vorliegenden Makrostruktur nur am Implantatbund und an den Gewindebergen gelingen kann. Dabei ist gerade an den exponierten Gewindebergen zu befürchten, dass auf einer kleinen Fläche zu einem hohen Anpressdruck und zu einem Abtrag der Implantatoberfläche kommen kann. Dies war aber nicht das Ziel dieser Untersuchung. Allerdings scheint die Arbeitsweise der Spitze keinen ausreichenden Reinigungseffekt bei tieferen Defekten auszuüben, weil hier die Gewindeberge eben so schlecht gereinigt wurden, wie alle übrigen Implantatbereiche. Dagegen erzielt die PEEK-Spitze auf den koronalwärtigen Flanken im oberen Anteil des Implantatkörpers relativ gute Reinigungserfolge, wobei zu vermuten ist, dass die Spitze des Instrumentes die Reinigung ausübt. Dann würde keine tangentielle Bearbeitung stattfinden und die Oberfläche durch die axiale Arbeits-

weise beschädigt werden. Insbesondere bei sehr auslandenden Implantatkronen besteht klinisch ein Problem beim Handling: in diesen Fällen bleibt die Instrumentenspitze auf der oberen Schraubwindung hängen und instrumentiert nicht die gesamte Tiefe des knöchernen Defektes. Dass die apikalwärtigen Flanken und Gewindetäler überhaupt gereinigt werden, obwohl die Spitze diese gar nicht berühren kann, lässt sich nur durch den Kavitationseffekt erklären. Die Effektivität des Kavitationseffektes wurde in früheren Arbeiten bestätigt (Schmage P 2012). Die Ergebnisse mit der oszillierenden PEEK-Spitze blieben tendenziell auch an den erreichbaren Glattflächen wie dem Implantatbund und den Gewindebergen hinter den Ergebnissen des Airpolishing mit dem AirFlow-Handstück zurück. Die Frage, ob diese Methode zur Implantatoberflächenreinigung entbehrlich wäre, kann nur klinisch beantwortet werden. Die bindegewebige Manschette liegt außer bei akuter Entzündung der periimplantären Tasche dem Implantatthals straff an und würde unter Umständen das Eindringen des Airpolishing-Strahls verhindern. Insofern könnte der PEEK-Spitze die zusätzliche Funktion hinzukommen, in den Fällen, in denen keine Aufklappung erfolgt, die periimplantäre Tasche aufzuspreizen, sodass das Airpolishing effektiv verwendet werden kann.

Das Airpolishing mit dem AirFlow-Handstück erfüllte die Erwartungen. Analog zur parodontalen Situation wird es zur Reinigung einer bis zu 4mm tiefen Tasche empfohlen und erzielte auch an den Implantatoberflächen, außer an den apikalwärtigen Flanken, erzielte eine entsprechende Reinigungswirkung (EMS 2008). Jedoch bestanden deutliche Unterschiede zwischen der bukkalen/oralen und approximalen Reinigungseffektivität: Bei guter Zugänglichkeit an Glattflächen konnten die Gewindeberge auch in tieferen Bereichen gesäubert werden, während bei approximalen Nachbarstrukturen bereits in den oberen Bereichen die Gewindetäler nicht mehr vollständig erreicht wurden.

Es wurde erwartet, dass die Reinigung mit dem Airpolishing mit der Nozzle im Perio-Flow-Handstück auch die unteren Anteile des periimplantären Defektes erreichen und die horizontale Einstrahlrichtung eine bessere Reinigung insbesondere in den Gewindetälern erzielen könnte. Diese Erwartungen wurden nicht bestätigt. Die Nozzle erbrachte in den tieferen Defektanteilen nur eine minimal bessere Reinigung und gleichzeitig in den oberen Anteilen eine schlechtere Reinigung als Airpolishing mit dem AirFlow-Handstück. Vermutet wird, dass der Grund dafür in einem nicht ausreichenden Strahldruck des Pulver-Wasser-Strahls am Austritt der Nozzle liegt, der nicht zielgerichtet auf die Implantatoberfläche arbeitet, sondern in alle Richtungen austritt.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Suche nach geeigneten Reinigungsmethoden auf submucosal gelegenen Implantatoberflächen noch nicht zufriedenstellend gelöst ist. Außerdem unterstützen sie die Therapieentscheidung bei tieferen periimplantären Taschen, frühzeitig eine operative Aufklappung vorzunehmen und unter Sicht die periimplantären Knochendefekte zu reinigen (Ting et al. 2018). Ohne diese Aufklappung hat Steiger-Ronay et al (Steiger-Ronay et al. 2017) auch ohne Suprakonstruktion und Nachbarzähne nur eine Reinigungseffektivität von unter 25% erreicht. Zu bedenken ist, dass das Airpolishing mit dem Betriebswasser der Behandlungseinheit betrieben wird. Dieses ist an sich nicht dafür geeignet, im OP-Bereich eingesetzt zu werden. Vielmehr sollte hier steriler Kochsatzlösung gespült werden. Daher sollten die Hersteller eine Möglichkeit zum Betrieb des Airpolishing konform zur Anforderung der Hygieneleitlinien finden (DAHZ 2018).

Der Biofilm auf den Implantatoberflächen ist zwar nicht mineralisiert, aber als gut strukturiert zu erachten und demzufolge schwer komplett zu entfernen (Kahili 2012). Diverse Autoren empfehlen die kombinierte Anwendung von mechanischen, chemischen und adjuvanten Methoden (Roccuzzo et al. 2018, Ting et al. 2018, Heitz-Mayfield and

Mombelli 2014). Diesem kann aufgrund dieser Untersuchung nur zugestimmt werden, da zu erwarten ist, dass keine vollständige Reinigung allein mit den mechanischen Methoden gelingen kann. Allerdings könnte die Menge der Bakterien reduziert und die Struktur des Biofilms aufgelockert werden. Dann könnte mit den weiteren Dekontaminationsmethoden die Elimination der verbliebenen Verschmutzungen gelingen. Dies war allerdings nicht der Gegenstand dieser Untersuchung und sollte in weiteren Studien verfolgt werden. Demzufolge kann noch keine Empfehlung für eine periimplantäre Reinigungsstrategie gegeben werden, sondern es muss weiter nach besseren Lösungen gesucht werden.

6 Schlussfolgerung

- Die schwierige Zugänglichkeit von periimplantären Knochendefekten führt dazu, dass Reinigungsmethoden, die auf mikrostrukturierten Implantatoberflächen an sich eine gute Effektivität zeigen, weit schlechtere Ergebnisse im Kiefermodell lieferte.
- Nur der glatte Implantatbund ist im Regelfall mit allen Methoden gut zu erreichen. Je tiefer die Implantatoberfläche im periimplantären Defekt lokalisiert war, umso schlechter wird sie gereinigt. Selbst bei direkt zugänglichem Knochendefekt war keine vollständige Reinigung der Implantatoberflächen zu erzielen, so dass mit periimplantärem Weichgewebe von einer unzureichenden submucosalen Reinigung auszugehen und eine Aufklappung zu empfehlen ist.
- Die manuelle Karbon-Kürette war nicht in der Lage die mikrostrukturierten Implantatoberflächen zu reinigen und ihr Status sollte in der klinischen Anwendung durch das Airpolishing ersetzt werden.
- Die Applikation von Airpolishing mittels der Nozzle erfüllte nicht die Erwartungen: weder die rechtwinklige Applikation des Luft-Pulver-Wasserstrahls noch die Möglichkeit zur Positionierung in der Tiefe des Defektes stellten einen Vorteil dar. Daher sollte im Rahmen der Implantatoberflächenreinigung das Airpolishing mit dem konventionellen AirFlow-Handstück bevorzugt werden.
- Die oszillierende PEEK-Spitze lieferte keine Überlegenheit gegenüber dem Airpolishing mit dem AirFlow-Handstück, könnte aber trotzdem zum Aufspreizen der bindegewebigen Manschette klinisch hilfreich sein.
- Die Makrostrukturen der Implantatoberfläche wurden unterschiedlich gut gereinigt. Solche, die nach koronal oder lateral wiesen, wurden durchschnittlich gereinigt, während jene nach apikal weisenden schlecht erfasst wurden. Daher ist

davon auszugehen, dass alle makrostrukturierten Implantatoberflächen ungleichmäßig gereinigt werden und immer eine Restkontamination behalten, weshalb kombinierte Therapiestrategien unterstützt werden sollten (Antibiose und adjuvante Therapieverfahren).

7 Zusammenfassung

Ziele

In dieser in-vitro Untersuchung wurde die Reinigungseffektivität von vier verschiedenen Methoden zur submukosalen Entfernung von simuliertem Biofilm auf Implantaten mit mikro- und makrostrukturierten Oberflächen verglichen. Es wurden ein Luft-Pulver-Wasserstrahlgerät mit zwei Ansätzen (AirFlow-Handstück und PerioFlow-Handstück mit Nozzle-Aufsatz) und niedrig-abrasivem Pulver, eine Karbonkürette und der PEEK-Aufsatz im Druckluft getriebenem oszillierendem Handstück (SONICflex-Handstück mit PEEK-Spitze) angewendet. Die Reinigungseffektivität wurde hinsichtlich unterschiedlicher Implantatmakrostrukturen in Abhängigkeit von der Zugänglichkeit und Lokalisation im Kiefer ausgewertet.

Material und Methoden

Insgesamt 20 kommerziell verfügbare mikro- und makrostrukturierte Implantate wurden nacheinander in einem Kiefermodell mit schlüsselförmigem periimplantärem Knochendefekt positioniert und mit einer Suprakonstruktion versorgt. Das Modell sollte einen periimplantären schlüsselförmigen Knochendefekt definierter Größe simulieren. Zuvor wurde die Implantatoberfläche mittels wasserfester Farbe angefärbt. Die Weichgewebe wurden nicht simuliert.

Jeweils fünf Implantate wurden den vier Reinigungsmethoden zufällig zugeordnet und von einem Behandler entsprechend der Herstellerangaben bearbeitet. Die Reinigungszeit wurde auf 1 Minute pro Probe begrenzt, wobei jede Fläche jeweils 15 sec. gereinigt wurde.

Anschließend wurden die Implantate entnommen und die gereinigten Oberflächen mithilfe eines Auflichtmikroskops analysiert und vermessen. Der Anteil der nicht von der Farbe gereinigten Bereiche wurde computergestützt vermessen.

Die Unterschiede zwischen den Gruppen wurden auf Signifikanz geprüft (ANOVA, Bonferonni Korrektur, $\alpha=0,05$).

Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten, dass der glatte Implantatbund mit allen Methoden gut zu erreichen war. Die Reinigungseffektivität lag im Bereich von 74% bis 93%. Der untere Anteil des Implantatkörpers wurde mit allen Methoden signifikant schlechter gereinigt, als der obere Anteil.

Mit dem AirFlow-Handstück konnten am besten die koronalwärtigen Flanken im oberen Anteil gereinigt werden, sowohl an Glatt- als auch an Approximalflächen (88% bzw. 92%). Die apikalwärtigen Flanken zeigten die signifikant schlechtesten Ergebnisse ($p<0,05$) im Vergleich zu den übrigen Arealen im oberen Anteil.

Das PerioFlow mit der Nozzle erreichte die mikrostrukturierten mit maximaler Effektivität von 57% für approximal liegende Gewindeberge im oberen Bereich. Apikalwärtige Flanken wurden tendenziell am schlechtesten gereinigt.

Die PEEK-Spitze führte zu einer Reinigungseffektivität von 74% approximal und 64% an den Glattflächen für die Gewindeberge, während alle übrigen Bereiche signifikant schlechter gereinigt wurden ($p<0,05$).

Mit der manuellen Karbonkürette konnten die mikrostrukturierten Flächen nicht gereinigt werden. Die Reinigungseffektivität lag bei 0%.

Fazit

Nur der glatte Implantatbund war im Regelfall mit allen Methoden gut zu erreichen. Je tiefer die Implantatoberfläche im periimplantären Defekt lokalisiert war, umso schlechter wurde sie gereinigt.

Die manuelle Karbon Kürette war nicht in der Lage die mikrostrukturierten Implantatoberflächen zu reinigen.

Die Applikation des Airpolishing mittels Nozzle brachte keine Vorteile gegenüber der klassischen Applikation mit einem AirFlow-Handstück.

Die oszillierende PEEK-Spitze lieferte keine Überlegenheit gegenüber dem Airpolishing mit dem AirFlow-Handstück.

Die Implantatoberfläche mit Makrostrukturen wurden ungleichmäßig und unvollständig gereinigt.

7 Summary

Objectives

In this in vitro study the cleaning efficacies of four different methods for submucosal biofilm removal from implants were compared. An air-polishing device blasting a low-abrasive powder with the AirFlow Handpiece or the PerioFlow Handpiece with a nozzle tip, a carbon curette and a sonic driven PEEK-tip (SONICflex handpiece with PEEK tip) were used. Their cleaning efficacies of a simulated biofilm were evaluated on a micro and macro structured implant for the different regions with regard on the accessibility and the localization in the jaw.

Materials und Methods

One type of a micro and macro structured implant was placed in a plastic model of a jaw segment. A superstructure was mounted onto the implant body. The model was designed to simulate a peri-implant bone defect of defined size. To simulate a bacterial plaque the implants were stained with a black waterproof marker. The soft tissues were not simulated.

Groups of five implants each were formed to be cleaned using the four cleaning methods. The cleaning was performed following the manufacturer's instructions of each method. The cleaning time was limited to 1 minute per sample, each area being cleaned for 15 seconds each.

Afterward, the implants were removed and the cleaned surfaces were analyzed and measured using an opto-digital-microscope microscope. The differences between the groups were calculated on statistically differences (ANOVA, Bonferroni correction, $\alpha=0.05$).

Results

The results of this study showed that the polished implant collar was easily accessible by all methods. The cleaning efficiency ranged from 74% to 93%. The lower part of the implant body was significantly worse cleaned by all methods than the upper part.

AirFlow handpiece showed the best cleaning results on the coronal flanks in the upper part, both on smooth surfaces and on approximal surfaces (88% and 92%, respectively). The apical flanks showed significantly worst results ($p < 0.05$) compared to the other areas in the upper part.

The PerioFlow with the Nozzle achieved the best results on micro structured areas with maximum effectiveness of 57% for approximal implant thread crests in the upper area. Apical facing flanks tend to be worst cleaned.

The PEEK tip resulted in a cleaning efficiency of 74% for approximal and 64% for buccal/oral located thread crests, while all other areas were significantly worse cleaned ($p < 0.05$).

With the manual carbon curette, the micro structured surfaces could not be cleaned. The cleaning efficiency was 0%.

Conclusion

Only the smooth implant collar was generally easy to reach with all cleaning methods. The deeper the implant surface was located in the peri-implant defect, the worse it was cleaned.

The results prove that the application of air polishing by nozzle showed no advantages over the AirFlow handpiece. The air-polishing with low abrasive powder was superior for removing biofilm from micro and macro structured implants followed by sonic driven PEEK tips. The use of the manual carbon curette turned out to be ineffective and can't

be recommended. Nevertheless, until now no method could remove the biofilm completely.

8 Literaturverzeichnis

- An, Y. Z., Lee, J. H., Heo, Y. K., Lee, J. S., Jung, U. W. and Choi, S. H. (2017) 'Surgical Treatment of Severe Peri-Implantitis Using a Round Titanium Brush for Implant Surface Decontamination: A Case Report With Clinical Reentry', *J Oral Implantol*, 43(3), 218-225.
- Bassetti, M., Schar, D., Wicki, B., Eick, S., Ramseier, C. A., Arweiler, N. B., Sculean, A. and Salvi, G. E. (2014) 'Anti-infective therapy of peri-implantitis with adjunctive local drug delivery or photodynamic therapy: 12-month outcomes of a randomized controlled clinical trial', *Clin Oral Implants Res*, 25(3), 279-287.
- Berglundh, T., Lindhe, J., Ericsson, I., Marinello, C. P., Liljenberg, B. and Thomsen, P. (1991) 'The soft tissue barrier at implants and teeth', *Clin Oral Implants Res*, 2(2), 81-90.
- Bertoldi, C., Lusuardi, D., Battarra, F., Sassatelli, P., Spinato, S. and Zaffe, D. (2017) 'The maintenance of inserted titanium implants: in-vitro evaluation of exposed surfaces cleaned with three different instruments', *Clin Oral Implants Res*, 28(1), 57-63.
- Cha, H. S., Kim, J. W., Hwang, J. H. and Ahn, K. M. (2016) 'Frequency of bone graft in implant surgery', *Maxillofac Plast Reconstr Surg*, 38(1), 19.
- Claffey, N., Clarke, E., Polyzois, I. and Renvert, S. (2008) 'Surgical treatment of peri-implantitis', *J Clin Periodontol*, 35(8 Suppl), 316-32.
- DAHZ (2018) 'Hygieneleitfaden', *Deutscher Arbeitskreis für Hygiene in der Zahnmedizin*, Online im Internet, URL: <https://www.bzaek.de/fileadmin/PDFs/za/hygieneplan/hygieneleitfaden.pdf>, (12).
- de Tapia, B., Mozas, C., Valles, C., Nart, J., Sanz, M. and Herrera, D. (2019) 'Adjunctive effect of modifying the implant-supported prosthesis in the treatment of peri-implant mucositis', *J Clin Periodontol*, 46(10), 1050-1060.
- Derks, J. and Tomasi, C. (2015) 'Peri-implant health and disease. A systematic review of current epidemiology', *J Clin Periodontol*, 42 Suppl 16, S158-71.
- Dreyer, H., Grischke, J., Tiede, C., Eberhard, J., Schweitzer, A., Toikkanen, S. E., Glockner, S., Krause, G. and Stiesch, M. (2018) 'Epidemiology and risk factors of peri-implantitis: A systematic review', *J Periodontol Res*, 53(5), 657-681.
- Edding (2012) 'EG-Sicherheitsdatenblatt Permanent Marker', Online im Internet, URL: <https://www.bueromarkt-ag.de/bilder/produkt-datenblaetter/t25b.pdf>, Stand: 01.12.2019, 08:00.
- EMS (2008) 'Electro Medical Systems S.A. Anwendungsempfehlungen', Online im Internet, URL: <https://www.ems-instruction.com/downloadPDF.aspx?Keycode=07613353115029&GUID=23d0b252-4227-45e2-9c9e-5b7582279c2a&lang=de-DE>, (Stand 01.12.2019, 08:00).

- Geyer, K. (2013) 'Vergleich der Effektivität und der Effekte vier verschiedener Methoden zur subgingivalen Wurzeloberflächenreinigung bei der Anwendung durch Studierende', *Hamburg: Dissertation*.
- Gowd, M. S., Shankar, T., Ranjan, R. and Singh, A. (2017) 'Prosthetic Consideration in Implant-supported Prosthesis: A Review of Literature', *J Int Soc Prev Community Dent*, 7(Suppl 1), S1-s7.
- Gulati, M., Govila, V., Anand, V. and Anand, B. (2014) 'Implant Maintenance: A Clinical Update', *Int Sch Res Notices*, 2014, 908534.
- Heitz-Mayfield, L. J. (2008) 'Peri-implant diseases: diagnosis and risk indicators', *J Clin Periodontol*, 35(8 Suppl), 292-304.
- Heitz-Mayfield, L. J. and Mombelli, A. (2014) 'The therapy of peri-implantitis: a systematic review', *Int J Oral Maxillofac Implants*, 29 Suppl, 325-45.
- Humphrey, S. (2006) 'Implant maintenance', *Dent Clin North Am*, 50(3), 463-78, viii.
- Jung, R. E., Pjetursson, B. E., Glauser, R., Zembic, A., Zwahlen, M. and Lang, N. P. (2008) 'A systematic review of the 5-year survival and complication rates of implant-supported single crowns', *Clin Oral Implants Res*, 19(2), 119-30.
- Kahili, F. (2012) 'Entfernung eines bakteriellen Biofilms von Implantatoberflächen', *Hamburg: Dissertation*.
- Karoussis, I. K., Salvi, G. E., Heitz-Mayfield, L. J., Bragger, U., Hammerle, C. H. and Lang, N. P. (2003) 'Long-term implant prognosis in patients with and without a history of chronic periodontitis: a 10-year prospective cohort study of the ITI Dental Implant System', *Clin Oral Implants Res*, 14(3), 329-39.
- Karring, E. S., Stavropoulos, A., Ellegaard, B. and Karring, T. (2005) 'Treatment of peri-implantitis by the Vector system', *Clin Oral Implants Res*, 16(3), 288-93.
- Louropoulou, A., Slot, D. E. and Van der Weijden, F. (2014) 'The effects of mechanical instruments on contaminated titanium dental implant surfaces: a systematic review', *Clin Oral Implants Res*, 25(10), 1149-60.
- Louropoulou, A., Slot, D. E. and Van der Weijden, F. (2015) 'Influence of mechanical instruments on the biocompatibility of titanium dental implants surfaces: a systematic review', *Clin Oral Implants Res*, 26(7), 841-50.
- Misch, C. (2007) 'An implant is not a tooth: a comparison of periodontal indices', *Contemporary Implant Dentistry. 3rd. Mosby, Elsevier*, pp. 1055–1072.
- Momber, A. (2008) 'Blast Cleaning Technology. ', *Berlin Heidelberg: Springer-Verlag*.

- Osman, R. B. and Swain, M. V. (2015) 'A Critical Review of Dental Implant Materials with an Emphasis on Titanium versus Zirconia', *Materials (Basel)*, 8(3), 932-958.
- Papaioannou, W., Quirynen, M. and Van Steenberghe, D. (1996) 'The influence of periodontitis on the subgingival flora around implants in partially edentulous patients', *Clin Oral Implants Res*, 7(4), 405-9.
- Persson, G. R., Samuelsson, E., Lindahl, C. and Renvert, S. (2010) 'Mechanical non-surgical treatment of peri-implantitis: a single-blinded randomized longitudinal clinical study. II. Microbiological results', *J Clin Periodontol*, 37(6), 563-73.
- Petersilka, G. J., Steinmann, D., Haberlein, I., Heinecke, A. and Flemmig, T. F. (2003a) 'Subgingival plaque removal in buccal and lingual sites using a novel low abrasive air-polishing powder', *J Clin Periodontol*, 30(4), 328-33.
- Petersilka, G. J., Tunkel, J., Barakos, K., Heinecke, A., Haberlein, I. and Flemmig, T. F. (2003b) 'Subgingival plaque removal at interdental sites using a low-abrasive air polishing powder', *J Periodontol*, 74(3), 307-11.
- Pjetursson, B. E., Tan, K., Lang, N. P., Bragger, U., Egger, M. and Zwahlen, M. (2004) 'A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years', *Clin Oral Implants Res*, 15(6), 625-42.
- Renvert, S. and Giovannoli, J. L. (2014) 'Periimplantitis', *Quintessenz Berlin*.
- Renvert, S., Roos-Jansaker, A. M. and Claffey, N. (2008) 'Non-surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: a literature review', *J Clin Periodontol*, 35(8 Suppl), 305-15.
- Riben-Grundstrom, C., Norderyd, O., Andre, U. and Renvert, S. (2015) 'Treatment of peri-implant mucositis using a glycine powder air-polishing or ultrasonic device: a randomized clinical trial', *J Clin Periodontol*, 42(5), 462-9.
- Roccuzzo, M., Layton, D. M., Roccuzzo, A. and Heitz-Mayfield, L. J. (2018) 'Clinical outcomes of peri-implantitis treatment and supportive care: A systematic review', *Clin Oral Implants Res*, 29 Suppl 16, 331-350.
- Sahm, N., Becker, J., Santel, T. and Schwarz, F. (2011) 'Non-surgical treatment of peri-implantitis using an air-abrasive device or mechanical debridement and local application of chlorhexidine: a prospective, randomized, controlled clinical study', *J Clin Periodontol*, 38(9), 872-8.
- Sahrman, P., Ronay, V., Hofer, D., Attin, T., Jung, R. E. and Schmidlin, P. R. (2015) 'In vitro cleaning potential of three different implant debridement methods', *Clin Oral Implants Res*, 26(3), 314-9.
- Sahrman, P., Ronay, V., Sener, B., Jung, R. E., Attin, T. and Schmidlin, P. R. (2013) 'Cleaning potential of glycine air-flow application in an in vitro peri-implantitis model', *Clin Oral Implants Res*, 24(6), 666-70.

- Salvi, G. E., Aglietta, M., Eick, S., Sculean, A., Lang, N. P. and Ramseier, C. A. (2012) 'Reversibility of experimental peri-implant mucositis compared with experimental gingivitis in humans', *Clin Oral Implants Res*, 23(2), 182-190.
- Schmage, P. (2010) 'Befundorientiertes Behandlungskonzept bei periimplantären Infektionen kombinierter Einsatz mechanischer und desinfizierender Methoden-Übersicht und Falldarstellung', *Parodontologie 21 (4)*, , S. 339–358.
- Schmage P, B. B., Nergiz I, Platzer U, Pfeiffer P (2012) 'Biofilm removal of ultrasonic driven devices with universal and periodontal instrument tips', *J Clin Periodontol*, 39 Suppl (s13), 184 P0827 / Europerio 7, Wien, Österreich 06.-09. 06. 2012.
- Schmage, P., Geyer, K., Pfeiffer, P. and Nergiz, I. (2017) 'Effectiveness of Students Using 4 Subgingival Scaling Systems', *J DENT RES.*, 96, A, S. 1598.
- Schmage, P., Kahili, F., Nergiz, I., Scorziello, T. M., Platzer, U. and Pfeiffer, P. (2014) 'Cleaning effectiveness of implant prophylaxis instruments', *Int J Oral Maxillofac Implants*, 29(2), 331-7.
- Schmage, P., Thielemann, J., Nergiz, I., Scorziello, T. M. and Pfeiffer, P. (2012) 'Effects of 10 cleaning instruments on four different implant surfaces', *Int J Oral Maxillofac Implants*, 27(2), 308-17.
- Schultz, Y. (2005) 'Vergleichende Untersuchung der Wurzeloberflächenbearbeitung mit schwingenden, rotierenden und manuellen Instrumenten', *Hamburg: Dissertation*.
- Schwarz, F. and Becker, J. (2008) 'Periimplantäre Entzündungen'.
- Schwarz, F., Becker, K., Bastendorf, K. D., Cardaropoli, D., Chatfield, C., Dunn, I., Fletcher, P., Einwag, J., Louropoulou, A., Mombelli, A., Ower, P., Pavlovic, P., Sahrman, P., Salvi, G. E., Schmage, P., Takeuchi, Y., Van Der Weijden, F. and Renvert, S. (2016) 'Recommendations on the clinical application of air polishing for the management of peri-implant mucositis and peri-implantitis', *Quintessence Int*, 47(4), 293-6.
- Schwarz, F., Jepsen, S., Herten, M., Sager, M., Rothamel, D. and Becker, J. (2006a) 'Influence of different treatment approaches on non-submerged and submerged healing of ligature induced peri-implantitis lesions: an experimental study in dogs', *J Clin Periodontol*, 33(8), 584-95.
- Schwarz, F., Papanicolau, P., Rothamel, D., Beck, B., Herten, M. and Becker, J. (2006b) 'Influence of plaque biofilm removal on reestablishment of the biocompatibility of contaminated titanium surfaces', *J Biomed Mater Res A*, 77(3), 437-44.
- Schwarz, F., Sahm, N. and Becker, J. (2008) 'Aktuelle Aspekte zur Therapie periimplantärer Entzündungen', *Quintessence; Oralchirurgie / Orale Medizin* 59, 521-530.
- Sollich, M. (2015) 'Reinigungseffekte des VECTOR 2-Prototypgeräts auf verschiedene Implantatoberflächen', *Hamburg: Dissertation*.

- Steiger-Ronay, V., Merlini, A., Wiedemeier, D. B., Schmidlin, P. R., Attin, T. and Sahrman, P. (2017) 'Location of unaccessible implant surface areas during debridement in simulated peri-implantitis therapy', *BMC Oral Health*, 17(1), 137.
- Strooker, H., Rohn, S. and Van Winkelhoff, A. J. (1998) 'Clinical and microbiologic effects of chemical versus mechanical cleansing in professional supportive implant therapy', *Int J Oral Maxillofac Implants*, 13(6), 845-50.
- Stubinger, S., Sader, R. and Filippi, A. (2006) 'The use of ozone in dentistry and maxillofacial surgery: a review', *Quintessence Int*, 37(5), 353-9.
- Tastepe, C. S., van Waas, R., Liu, Y. and Wismeijer, D. (2012) 'Air powder abrasive treatment as an implant surface cleaning method: a literature review', *Int J Oral Maxillofac Implants*, 27(6), 1461-73.
- Thielemann, I. (2012) 'Veränderungen von Implantatoberflächen durch Reinigungsinstrumente', *Hamburg: Dissertation*.
- Ting, M., Craig, J., Balkin, B. E. and Suzuki, J. B. (2018) 'Peri-implantitis: A Comprehensive Overview of Systematic Reviews', *J Oral Implantol*, 44(3), 225-247.
- Tuna, T., Kuhlmann, L., Bishti, S., Sirazitdinova, E., Deserno, T. and Wolfart, S. (2019) 'Removal of simulated biofilm at different implant crown designs with interproximal oral hygiene aids: An in vitro study', *Clin Oral Implants Res*, 30(7), 627-636.
- Valderrama, P., Blansett, J. A., Gonzalez, M. G., Cantu, M. G. and Wilson, T. G. (2014) 'Detoxification of Implant Surfaces Affected by Peri-Implant Disease: An Overview of Non-surgical Methods', *Open Dent J*, 8, 77-84.
- Zitzmann, N. U., Berglundh, T., Ericsson, I. and Lindhe, J. (2004) 'Spontaneous progression of experimentally induced periimplantitis', *J Clin Periodontol*, 31(10), 845-9.
- Zitzmann, N. U., Berglundh, T., Marinello, C. P. and Lindhe, J. (2001) 'Experimental peri-implant mucositis in man', *J Clin Periodontol*, 28(6), 517-23.
- Zitzmann, N. U., Walter, C. and Berglundh, T. (2006) 'Ätiologie, Diagnostik und Therapie der Periimplantitis - eine Übersicht.', *Dtsche Zahnärztl Z* 61(12): 642-649.

9 Danksagung

Ich bedanke mich herzlich bei Frau Prof. Dr. Petra Schmäge für die Überlassung des Themas und motivierende und intensive fachliche Betreuung.

Herrn Frank Fischer, CTA, danke ich für die technische Unterstützung bei der Anfertigung der Aufnahmen.

Der Firma Comet danke ich für die Bereitstellung der MicroPlant Implantate.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Björn Busse und gesamten Typ des Instituts für Osteologie und Biomechanik des Universitätsklinikums Eppendorf für die Möglichkeit der Nutzung des Opto-Digital-Mikroskops Olympus DSX500i bedanken.

Meiner Familie und meiner Frau danke ich für die seelische Unterstützung und Motivation während dieser Arbeit.

10 Lebenslauf

Lebenslauf entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen

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: