

Aus der Klinik für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und  
Funktionslehre der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

In-Vitro-Untersuchung zum Reinigungserfolg zementierter  
Suprakonstruktionen auf Tissue-Level-Implantaten unter  
besonderer Berücksichtigung der Kronenrandlage

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN

von  
Maximilian Hackhofer  
aus Bad Aibling

Datum der Promotion: 13.12.2019

Meinen Eltern gewidmet

## Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	ZUSAMMENFASSUNG/ABSTRACT .....	3
1.1	Deutsche Zusammenfassung .....	3
1.2	English Abstract .....	4
2	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG .....	5
3	LITERATURÜBERSICHT .....	6
3.1	Grundlagen der zahnärztlichen Implantologie .....	6
3.2	Indikation und Kontraindikation von Implantaten .....	7
3.3	Implantatgeometrie, enossale Verankerung und Dimension .....	8
3.4	Krestaler Übergangsbereich .....	9
3.5	Implantat-Aufbau-Verbindung .....	10
3.6	Anforderungen an die Implantatsetzung .....	10
3.7	Abutmentgestaltung und Werkstoffe .....	12
3.8	Verschraubte Restaurationsverankerung .....	14
3.9	Zementierte Restaurationsverankerung und Periimplantitis .....	14
3.10	Dentale Befestigungswerkstoffe .....	19
3.11	Parodontologische Therapiemaßnahmen .....	22
4	MATERIAL UND METHODE .....	24
4.1	Grundlegender Versuchsaufbau .....	24
4.2	Materialien .....	26
4.3	Methoden .....	28
4.3.1	Negativform und Implantatbefestigung .....	28
4.3.2	Herstellung der Zahnkronen .....	28
4.3.3	Zementierung .....	28
4.3.4	Kürettage der Implantate .....	30
4.3.5	Bewertung des Reinigungserfolgs .....	30
4.3.6	Statistisches Verfahren .....	31
4.3.7	Licht- und Rasterelektronenmikroskopie .....	31
5	ERGEBNISSE .....	32
5.1	Auswertung der Datensätze .....	32
5.2	Oberflächenanalyse .....	35
5.3	Analytik .....	58
6	DISKUSSION .....	59

6.1	Gesamtergebnis .....	59
6.2	Klinische Relevanz von In-vitro-Studien .....	61
6.3	Herstellung der Prüfkörper und Modelldesign .....	62
6.4	Bewertung des Reinigungserfolgs .....	64
6.5	Auswertung der Datensätze und Analytik .....	64
6.6	Diskussion der Ergebnisse .....	65
7	ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNG .....	71
8	LITERATURVERZEICHNIS .....	72
9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	82
10	TABELLENVERZEICHNIS .....	83
11	DIAGRAMMVERZEICHNIS .....	83
12	ANHANG .....	84
13	EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG .....	86
14	LEBENS LAUF .....	87
15	DANKSAGUNG .....	89

# **1 Zusammenfassung / Abstract**

## **1.1 Deutsche Zusammenfassung**

*Hintergrund:* Implantate sind eine moderne Alternative zu konventionellen prothetischen Lösungsansätzen bei der Versorgung des Lückengebisses. Um ein Implantat möglichst lange zu erhalten, müssen Komplikationen und Entzündungen im periimplantären Gewebe vermieden werden. Zu den hauptsächlichen Risikofaktoren gehören bei zementierten Suprakonstruktionen übersehene Zementreste, welche gewebeirritierend und entzündungsfördernd wirken können.

*Zweck:* Ziel dieser In-vitro-Untersuchung war es den Einfluss der Kronenrandlage, unterschiedlicher dentaler Befestigungszemente und verschiedener Kùretten aus Dentalstahl oder Kunststoff auf den Reinigungserfolg durch Zement befestigter Kronen auf Tissue-Level-Implantaten zu ermitteln.

*Material und Methoden:* Über 16 Versuchsreihen hinweg wurden 42 zementierte Kronen in drei Implantationshöhen am Phantomkopf untersucht. Die Suprakonstruktionen wurden mit Glasionomer-, Zinkoxidphosphat- oder Resinzement befestigt. Anschließend wurden die Zementüberschüsse unter Verwendung einer Lupenbrille entfernt. Jedes Implantat wurde daraufhin an sechs Messstellen auf den Reinigungserfolg hin beurteilt, sodass sich insgesamt 252 Einzelergebnisse ergaben. Zur Beurteilung der Beschädigung der Implantatoberfläche durch den Reinigungsvorgang wurden Licht- und Rasterelektronenmikroskopieaufnahmen angefertigt. Zur statistischen Analyse wurde ein Zwei-Stichproben t-Test angewendet.

*Ergebnisse:* Aus den Datensätzen geht hervor, dass die gründlichste Reinigung bei sichtbarem Kronenrand, unter Verwendung von Zinkoxidphosphatzement und Edelstahlkùretten gelingt. Ein weiter subgingival gelegener Rand erschwert die Reinigung und erhöhte die Menge nicht entfernten Überschusses. Subgingival gelang lediglich in 15,8% eine rückstandslose Entfernung von Zementresten im Vergleich zu 40,9% bei mindestens isogingivaler Kronenrandlage. Die approximalen Flächen gingen als die am schwersten zu reinigenden hervor. Die Verwendung von Glasionomerzement und des kunststoffbasierten Zements ergaben signifikant ( $p < 0,05$ ) schlechtere Reinigungsergebnisse. Aus REM- und Lichtmikroskopieaufnahmen wird ersichtlich, dass Instrumente aus Edelstahl die Implantatoberfläche signifikant mehr beschädigen.

*Schlussfolgerung:* In dieser Studie zeigte sich, dass supragingival und damit visuell sichtbar liegende Kronenränder am besten zu reinigen sind. Auch die Wahl der Reinigungsinstrumente und die Art des Befestigungszementes entscheiden über den Reinigungserfolg. Um das Periimplantitisrisiko in Korrelation zu überschüssigem Zement zu minimieren, ist eine Kronenrandlage auf dem Level der Gingivalinie empfehlenswert, um suffizienten Zugang gewähren zu können.

## 1.2 English Abstract

*Background:* Implants are a modern alternative to conventional prosthetic solutions in the treatment of the tooth gap. In order to maintain an implant as long as possible, complications and inflammations in the peri-implant tissue must be avoided. The main risk factors in cemented superstructures include not-detected cement residues, which may have a tissue irritating influence.

*Purpose:* The purpose of this in-vitro study was to determine the influence of the crown margin, different dental cements and different curettes made of dental steel or plastic on the cleaning success of cement-fixed crowns on soft-tissue-level implants.

*Materials and Methods:* In 16 different series, 42 cemented crowns were examined in an in-vitro at three implantation heights in the phantom head. The superstructures were fixed with glass ionomer, zinc oxide phosphate, or resin cement. Subsequently, the cement surpluses were cleaned using a magnifying glass. Each implant was then evaluated for success at six measurement points for a total of 252 individual results. To assess damage to the implant surface by the cleaning process, light and scanning electron micrographs were taken. For statistical analysis, a two-sample t-test was used.

*Results:* The data sets indicate that the most thorough cleaning is possible with visible crown margin, using of zinc oxide phosphate cement and stainless steel curettes. A further subgingival margin complicates the cleaning and increases the amount of removed surplus. With subgingival crown margins a residue-free removal of cement was possible in 15.8% compared to 40.9% for at least isogingival crown margins. The approximal surfaces were found to be the hardest to clean. The use of glass ionomer cement and the plastic-based cement gave significantly ( $p < 0.05$ ) worse cleaning results. From SEM and light micrographs, it can be seen that stainless steel instruments significantly more damage the implant surface.

*Conclusion:* This study revealed that supragingival and thus visually visible crown margins are best to clean. The choice of cleaning instruments and the type of fixing cement decide on the cleaning success. In order to minimize the risk of peri-implantitis in correlation to excess cement, it is advisable to use a marginal margin at the level of the gingival line in order to provide adequate access.

## **2 Einleitung und Problemstellung**

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten für die Befestigung implantatgetragener prothetischer Versorgungen, das Verschrauben und das Zementieren. Zurückbleibender, überschüssiger Zement ist eine häufig gesehene Komplikation von zementierten prothetischen Versorgungen in der Zahnmedizin und kann leicht zu gingivalen und parodontalen Problemen wie Perimukositis, Periimplantitis und periimplantären Knochenabbau führen, wenn dieser nicht sofort und in adäquatem Ausmaß entfernt wird. Der Zement als Fremdmaterial kann potenziell zu gesteigerter Blutung aus dem Sulkus und durch Fremdkörperreaktionen des Körpers zu vermehrter Entzündung und schließlich zu iatrogen verursachter Periimplantitis und Knochenverlust führen. Stets gilt es auch Funktionalität und Ästhetik gegeneinander abzuwägen. Ein nicht sichtbarer Kronenrand verspricht eine ästhetisch anspruchsvolle Restauration, erhöht jedoch die Wahrscheinlichkeit überschüssigen Zement nicht entfernt zu bekommen, da keine direkte Sicht auf diesen Rand gewährleistet ist. Die Tiefe der marginalen Abutmentstufe gilt als Prädiktor für Zementüberschüsse. Individualität im Design der Implantat-Aufbau-Konstruktionen scheint unumgänglich, um die Zementfuge zirkulär in einen biologisch vertretbaren leicht infragingivalen Bereich zu legen und einen Kompromiss zwischen Funktionalität und Ästhetik zu schaffen. Biologische Komplikationen wie Zahnfleischbluten und Knochenabbau um ein Implantat wurden signifikant häufiger bei zementierten Implantat-Restaurationen gefunden, was die Schlussfolgerung erlaubt, dass dieses Befestigungssystem anfälliger für Behandlungsfehler ist und demnach ein restloses Entfernen der auf Schleimhaut und Knochen irritierend wirkenden Zementreste nicht immer gänzlich möglich ist. Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob es durch eine visuell sichtbare Lage der Abutmentschulter möglich ist, eine rückstandslose Reinigung bei Verwendung unterschiedlicher Instrumente und Zemente zu erreichen.

### **3 Literaturübersicht**

#### **3.1 Grundlagen der zahnärztlichen Implantologie**

Grundsätzlich unterscheidet man bei der Implantatkonstruktion nach anatomisch-konstruktiven Gesichtspunkten den enossalen Anker, das transgingivale Übergangsstück und den prothetischen Aufbaupfosten (Abutment) für die Suprakonstruktion [74]. In der modernen Implantologie hat sich ein enossales Einbringen der Implantate durchgesetzt. Durch eine ankylotische Einheilung entsteht ein direkter Kontakt zum umgebenden Knochen, wodurch das Implantat funktionell belastbar wird (Osseointegration) [27]. Diese ankylotische Knochenanlagerung gilt derzeit als die optimale Einheilungsform. Titan und seine Legierungen mit unterschiedlichen Oberflächenmodifikationen zur Vergrößerung der Anlagerungsfläche für den Knochen haben sich in der modernen Zahnmedizin bewährt. Allerdings zeigen auch Implantatkörper aus Zirkoniumdioxidkeramik mit einer mikrostrukturierten Oberfläche eine biologisch gut tolerierte Alternative mit schneller Osseointegration, was an einigen Tier- und manchen Humanversuchen gezeigt wurde [16]. Die Oberfläche der Implantate wird unterschiedlich modifiziert. Gefräste Gewindgänge erreichen vordergründig eine Vergrößerung der relativen Kontaktfläche und verbessern die Primärstabilität (Press-Fit). Rauigkeiten an der Oberfläche werden durch ablative (Ätzen und Abstrahlen) und additive (Titanplasma-spray-Beschichtungen und Keramik-Beschichtungen) Maßnahmen erreicht. Aber auch die Anlagerungen von Proteinen oder Hydroxylapatit, sowie eine Fluoridierung werden diskutiert. Ziel dieser Maßnahmen ist es, die Osseointegration positiv zu beeinflussen, was sich in einer begünstigten Zelladhäsion und später in besseren Verzahnungs- und Lasteinleitungseffekten äußert. Optimal zu bewerten sind Rauigkeiten um 1,5 - 2,0 µm [93]. Implantate mit rauer und modifizierter Oberflächenstruktur zeigen signifikant höhere Erfolgsraten als solche mit glatten Oberflächen [41]. Bezüglich der Form besteht ein Trend zu rotationssymmetrischen, pfostenförmigen Implantaten mit zylindrischer Grundform oder als Schrauben mit unterschiedlichsten Gewindemodifikationen. Man unterscheidet desweiteren eine Sofortimplantation, bei der das Implantat unmittelbar nach Zahnverlust oder etwas verzögert nach initialer Abheilung der Weichteile in die allerdings knöchern noch nicht ausgeheilte Alveole gesetzt wird, von der Spätimplantation. Hierbei wird ein bereits vollständig knöchern ausgeheiltes Lager präpariert und anschließend in dieses implantiert [47]. Es lassen sich zwei verschiedene Einheilungsmodi unterscheiden. Bei der zweiphasigen Methode heilt das Implantat zunächst submukös (gedeckt) und unbelastet ein und wird in einem späteren zweiten Schritt freigelegt, um die gingivalen Verhältnisse auszuformen und die prothetische Versorgung anzufertigen (bone-level-Implantat). Bei der einphasigen (transmukosalen) früh- und teilbelasteten Einheilung mit soft-tissue-level-Implantaten erhofft



man sich eine zielgerichtete und funktionelle Knochenanlagerung und einen subjektiven Nutzen in der Einheilphase ohne die Erfolgssicherheit zu vermindern. Dazu zählt, dass ein Implantat den verloren gegangenen Zahn funktionell ausreichend ersetzt (Funktionalität), entsprechend den umliegenden Geweben lange erhalten bleibt (Langlebigkeit) und den Gesamtorganismus in keiner Weise schädigt (Biokompatibilität). Durch eine direkte Interaktion mit Epithel, subepitheliales Bindegewebe und Knochen mit darin erhaltenen Nerven, Gefäßen und Zellen soll das Implantat durch funktionelle Reize zum Erhalt der umgebenden Strukturen beitragen und die Inaktivitätsatrophie bzw. Involution aufhalten oder zumindest verzögern [65].

### **3.2 Indikation und Kontraindikation von Implantaten**

Das prothetische Gesamtkonzept richtet sich danach aus, die verlorengegangenen Strukturen (Zähne), die Funktion und die Ästhetik wiederherzustellen. Darüber hinaus soll ein Schutz vor zukünftiger Destruktion erreicht werden, verbliebene Gewebe wie Zahnhartsubstanz, Knochen- und Weichgewebe erhalten bleiben und das prothetische Konzept dauerhaft funktionstüchtig sein. Primäres Ziel der Implantation ist es daher Vorhandenes zu schützen und festsitzenden Zahnersatz zu ermöglichen, bzw. abnehmbaren Zahnersatz zu stabilisieren und zu sichern. Sekundär die Knochen- und Weichteilphysiologie zu erhalten [20]. Darüber hinaus können Implantate auch zur Defektversorgung fungieren. Intraoral bei unfallbedingten, tumorbedingten oder kongenitalen Defekten und extraoral zur Verankerung von Epithesen. Die Entscheidungsgrundlage für Implantatzahl und Position bilden viele verschiedene Faktoren. Die Knochenquantität und -qualität, die Physiognomie und Anatomie, die Gegenbezahnung und prothetische Konzeption sowie die daraus resultierende funktionelle Osseointegrationsfläche bilden die Basis der Überlegungen. Nach weiterführenden funktionell diagnostischen und bildgebenden Verfahren kann ein Ergebnis der Diagnose mit dem Patienten besprochen werden. Eine Kontraindikation zur Implantation ergibt sich im Vergleich zu konventionellem Zahnersatz aus der Verantwortbarkeit des chirurgischen Eingriffs in Anbetracht des allgemeinmedizinischen Zustands. Es existieren neben den allgemeinmedizinischen Kontraindikationen nur Risikoabstufungen bzw. Risikofaktoren, wie z.B. Systemerkrankungen des Knochens. Ein erhöhtes Risiko für die Langzeitprognose besteht z.B. bei Osteoporose, Wundheilungsstörungen durch hämatologische oder immunologische Erkrankungen, Diabetes mellitus (glykosyliertes Hämoglobin HbA1c > 8%), Nikotinabusus und parafunktionelle Störungen wie Knirschen oder Pressen. Weitere potentielle Risikofaktoren wie funktionelle Problematiken der Kiefergelenke sind diagnostisch abzuklären. Je nach Ausmaß muss eine Anpassung des implantatprothetischen Konzepts erfolgen. Speziell zu bewerten sind die gegebenen anatomischen Strukturen wie

Nervenverläufe und die zu verwendende Restknochensubstanz, welche durch bildgebende Verfahren im Rahmen der präimplantologischen Diagnostik sicher dargestellt werden können. Auch der parodontale Status des Patienten ist entscheidend. Nicht ausreichende Mundhygienefähigkeit aufgrund fortgeschrittener Morbidität, generalisierte und therapieresistente Parodontopathien sowie eine mangelnde Compliance, gelten als bedenklich und sind wie auch das Rauchen als Kontraindikation anzusehen [20].

### **3.3 Implantatgeometrie, enossale Verankerung und Dimension**

Um eine optimale Kraftübertragung auf den vorhandenen Restknochen zu gewährleisten und somit eine funktionelle Krafteinleitung zu erzeugen, müssen Implantate im enossalen Anteil eine größtmögliche und abgerundete Oberflächengestaltung aufweisen. Spannungsspitzen sind zu vermeiden. Eine Druck-Zug-Transformation wie man sie im gesunden parodontalen Gewebe auffindet, gibt es in der Biomechanik der Implantate nicht [5], [93]. Grundsätzlich lassen sich vier verschiedene Designs unterscheiden: Dies sind Blatt-, Schrauben-, Zylinder- und Konusförmige Implantate. Letztere ermöglichen eine rotationssymmetrische und passgenaue Lagerpräparation, weisen ausreichende Primärstabilität durch Gewinde oder Klemmpassung auf und hinterlassen geringe Defekte bei notwendiger Entfernung. Konische Implantate haben eine wurzelanaloge Form [93]. Rotationssymmetrische Designs zeigen untereinander jedoch keine signifikanten Erfolgsunterschiede [8]. Darüber hinaus gibt es weitere Oberflächenmodifikationen zur Optimierung der Knochenanlagerung. Zu diesen gehören Lakunen, Perforationen, Poren und Rillen. Das Gewinde am Implantat führt zu einer Verbesserung des Press-Fit, also der Primärstabilität, welche klinisch feststellbar ist und zu einer Vergrößerung der relativen Oberfläche wodurch sich die Kräfte auf den Knochen gleichmäßiger verteilen sollen [18], [25]. Die Dimension von modernen Implantaten bewegt sich zwischen 6 bis 8 mm als Untergrenze und 16 bis 18 mm als Obergrenze. Meist wird die maximale Implantatlänge allerdings durch die gegebenen anatomischen Strukturen limitiert. Zu diesen gehören der Verlauf des Nervus alveolaris inferior im Unterkiefer, sowie der Nasen-, bzw. Kieferhöhlenboden im Oberkiefer. Grundsätzlich gilt allerdings, dass vor allem im Oberkiefer in den Bereichen von D3- und D4-Knochenqualität das gesamte Knochenangebot ausgenutzt werden sollte, um eine möglichst hohe Primärstabilität zu erreichen. Ein Implantatdurchmesser von mindestens 3 mm gilt als allgemein anerkannt, jedoch wurde in Langzeituntersuchungen gezeigt, dass Implantate mit einem Durchmesser  $< 3,5$  mm ein geringeres Überlebensrisiko aufweisen als solche mit dem Standarddurchmesser von 4,1 mm. Für zweiphasige Implantatsysteme haben sich daher Durchmesser von 3,5 bis 4,5 mm durchgesetzt [39], [100].

### 3.4 Krestaler Übergangsbereich

Grundsätzlich lassen sich Implantatsysteme hinsichtlich der Weichgewebsanlagerung nach der Art der Einheilung unterscheiden. Bone-Level-Implantate werden auf Knochenebene inseriert und heilen geschlossen submukös ein. Diese weisen keinen suprakrestalen Anteil auf. Ein Einbringen sogar unterhalb des Knochniveaus zur sicheren Vermeidung von Fehlbelastungen während des Einheilvorgangs zeigt allerdings keine Vorteile [1]. Es bedarf einer zweiten Operation zur Freilegung des Implantats und dem Aufschrauben eines Gingivaformers. Tissue-Level-Implantate hingegen werden mit ihrem polierten und auftulpenden suprakrestalen Anteil auf Ebene des Zahnfleisches eingebracht und heilen transmukosal ein. Für die Befestigung der Suprakonstruktion benötigen beide Systeme ein aufgeschraubtes Abutment. Deshalb werden diese als zweiteilige und zweiphasige Systeme bezeichnet. Bei einem einteiligen und einphasigen System ist das Implantat, also die eigentliche Schraube, und das Abutment aus einem Stück gefertigt [92]. Bei zweiteiligen Implantaten entsteht zwingend ein Mikrospace zwischen Implantatkörper und Abutment von durchschnittlich 50 bis 100  $\mu\text{m}$  [43]. Dieser Spalt wirkt sich wesentlich auf die räumliche Anlagerung der Weichgewebe am Implantat aus. Die Anheftung des Epithels geschieht grundsätzlich unterhalb dieser Trennebene, da dieser Mikrospace ein Keimreservoir und somit einen möglichen Reiz für die Schleimhaut und den Knochen darstellt. Einteilige Systeme zeigen hier eine koronaler gelegene Anlagerung der Weichgewebsmanschette, da hier kein Mikrospace entsteht [37]. Dies kann entscheidend für die rote Ästhetik der periimplantären Gewebe sein, da häufig im Oberkieferfrontzahnggebiet eine tiefe Positionierung des Metallrandes der verwendeten Krone von Nöten ist [92].

Tissue-Level-Implantate sind so konstruiert, dass Mikrobeweglichkeiten der Implantat-Abutment-Verbindung außerhalb des Knochens stattfinden. Der Bakterienshift spielt sich demnach auf Höhe der Schleimhaut ab und stellt somit weniger Irritation für den Knochen dar. Aufgrund des Soft-Tissue-Levels ist zwar die Installation des Abutments und die Prothetik vereinfacht, jedoch wurde bei der Konstruktion dieser Implantate nicht berücksichtigt, dass die biologische Breite bukkal und oral geringer ist als approximal. Dadurch entsteht approximal eine meist tief subgingivale Lage der Abutmentschulter. Eine individuelle Anpassung des Abutments an den girlandenförmigen Zahnfleischverlauf ist zwar möglich, stellt jedoch einen erhöhten Aufwand dar [37]. Indiziert sind diese Implantate deshalb im Seitenzahnbereich als einfach durchzuführende Standardlösung und im Frontzahnggebiet nur für erfahrene Implantologen für gute ästhetische Langzeiterfolge.

### **3.5 Implantat-Aufbau-Verbindung**

Das sogenannte Abutment stellt die Verbindung zwischen Implantat und Suprastruktur, also der Krone, Brücke oder Prothese, her. Bei den konstruktiven Aspekten des Aufbauteils überlappen sich chirurgische und prothetische Anforderungen am meisten, da vor allem der Prothetiker die Erfordernisse bestimmt. Als besonders stabil wird die Tube-in-Tube Verbindung angesehen [75]. Diese Verknüpfung scheint auch in Sachen periimplantären Knochenverlust am vorteilhaftesten zu sein. Über einen beobachteten Zeitraum von zehn Jahren zeigten Implantate mit konischen internen Verbindungen im Vergleich zu externen den geringsten marginalen Knochenrückgang (Caricasulo et. al. [22]). Es lässt sich feststellen, dass die Gestaltung der Implantatthals-Prothetikpfostenverbindung die Dauerhaftigkeit zumindest der Suprastruktur beeinflussen kann. Tief ins Implantat reichende Zapfenverbindungen sind hinsichtlich der Biegebelastung den anderen Systemen überlegen. Bei orthogonaler Belastung der Suprastruktur wird die Konstruktion auf Biegung beansprucht. Hierbei gibt ein kurzer Flansch eher nach als ein langer. Schraubenlockerungen und -brüche sind am ehesten bei Implantat-Außensechskant-Verbindungen zu beobachten, weil gerade hier horizontale Belastungen alleine von der Schraube abgefangen werden, welche den Prothetikpfosten im Implantat verankert. Die Tiefe der Verankerung des Aufbauteils im Implantat ist maßgeblich entscheidend für die Widerstandskraft des Systems [67], [62]. Ein aus prothetischer Sicht ideal platziertes Implantat wird mit einem geraden, also einem der Implantatachse folgenden Abutment versehen. Weichen jedoch z.B. im Oberkiefer Implantatachse und die Ausrichtung der klinischen Krone zu stark voneinander ab, muss auf abgewinkelte Pfosten ausgewichen werden. Technisch limitiert ist man bei kleinen Neigungswinkeln bis ca. 15°. Hierbei stehen sich die Gewinde zur Befestigung des Abutments im Implantat und der Suprakonstruktion im Weg. Es ist zu wenig Platz, um ausreichend dimensionierte Gewinde zu ermöglichen. In solchen Fällen muss die Suprakonstruktion zementiert werden, was prothetische Möglichkeiten einschränken kann. Erst ab ca. 30° Neigungswinkel sind zwei separate Gewingegänge in optimaler Ausformung möglich. Man ist also bei der Gestaltung geringfügig geneigter Pfosten, die klinisch häufig von Vorteil wären, erheblich eingeschränkt [92].

### **3.6 Anforderungen an die Implantatsetzung**

Gewonnener Knochen durch das Abtragen von Knochenkanten und durch die Präparation des Implantatbetts sollte zur Verbreiterung der vestibulären Lamelle genutzt werden, da diese eine wesentliche prognostische Bedeutung hat [86], [96]. Die richtige Position des Implantats wurde bereits durch vorhergehende Untersuchungen entsprechend der prothetischen Planung (klinische

Inspektion, Röntgen) oder aber in Abhängigkeit von dem chirurgisch verfügbaren Knochenangebot intraoperativ festgelegt. Die prothetisch und chirurgisch optimale Implantatposition muss stets simultan bewertet werden, da ein Kompromiss meist nötig und auch sinnvoll ist. In der heutzutage fortschrittlichen Medizin können Implantateure auf die sogenannte „guided surgery“, zu Deutsch „geführte Chirurgie“ zurückgreifen. Hierbei werden anhand von meist 3D-Röntgenaufnahmen (z.B. DVT) wichtige anatomische Strukturen wie Nervenverläufe und die Knochenstruktur im Vorfeld untersucht und beurteilt. Durch gleichzeitigen Scan der Zahnreihen und das Matchen beider bildgebender Verfahren, lassen sich ideale Implantatpositionen berechnen. Für eine geführte Implantologie werden individuelle Bohrschablonen mit den entsprechenden Konfigurationen angefertigt, welche dem Chirurgen das Setzen des Implantates in Idealposition erleichtert. Younes und seine Arbeitsgruppe haben in einer aktuellen Studie in vivo die Genauigkeit zwischen der freihändigen und geführten Implantatinsertion untersucht und als Messgröße die apikale Deviation zwischen errechneter Idealposition und Endposition des Implantates herangezogen. Die geführte Insertion erwies sich hier als genaueste Methode mit einer Abweichung von durchschnittlich 0,97 mm und maximal 1,98 mm apikal. Die freihändige Insertion resultierte in starker Abweichung mit durchschnittlich 2,11 mm und maximal 4,84 mm apikal (Younes et. al. [103]). Gleiches Ergebnis fand Bencharit ebenfalls in einer in vivo Studie. Eine vollgeführte Implantatinsertion erwies sich als signifikant genaueste Methode die zuvor errechnete Idealposition zu erreichen (Bencharit et. al. [10]). Das Ausbilden einer biologischen Breite von insgesamt 2,04 mm (Sulkus 0,69 mm, epitheliales Attachement 0,97 mm, bindegewebiges Attachement 1,07 mm) ist Grundvoraussetzung für eine zahnfleischbetonte „rote Ästhetik“ [33]. Daher ist eine Implantattiefe von etwa 1 bis 2 mm oberhalb dem Knochenniveau sinnvoll, wenn nicht ästhetische oder funktionelle Gründe dagegensprechen. Ein Implantatabstand von weniger als 3 mm ruft einen vertikalen Knochenverlust im Papillenbereich von ca. 1,04 mm hervor, ein Abstand von mehr als 3 mm lediglich ca. 0,45 mm (Tarnow et. al. [85]). Das verbleibende Knochenangebot zwischen zwei Zähnen oder Implantaten ist aber grundsätzliche Voraussetzung für die Ausbildung einer physiologischen Papille. Heute wird allgemein abgeleitet, dass für das enossale Einbringen von Implantaten ein Mindestabstand von 1,5 bis 2,0 mm zum natürlichen Nachbarzahn und von 3 mm zwischen zwei benachbarten dentalen Implantaten eingehalten werden sollte. In orovestibulärer Richtung ist darauf zu achten, dass eine mindestens 1 mm dicke vestibuläre Knochenlamelle bestehen bleibt, um Knochendehiszenzen vermeiden zu können. Die mesio-distale Positionierung hängt von den gegebenen anatomischen Strukturen wie Nervenaustrittspunkten und -verläufen, vom Knochenangebot aber auch vom interimplantären

Abstand und der prothetischen Restauration ab [96]. Nach der Pilotbohrung und einhergehender Längenbestimmung wird das Implantatlager formkongruent aufbereitet und das Implantat mittels Drehmomentschlüssel eingebracht. Hierbei wird das Implantat auf die geplante Höhe primärstabil versenkt. Tissue-Level-Implantate werden mit ihrem hochglanzpolierten und aufzulpenden Anteil auf Höhe der Schleimhaut inseriert und mit einer Deckschraube versehen transgingival zum Einheilen belassen. Unter Berücksichtigung aller möglicher Komplikationen wie Nerv-, oder Blutgefäßverletzungen, Kontamination des Operationsgebietes und fehlschlagende Osseointegration, zeigen Implantate dennoch eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit [97]. In einer klinischen Studie mit insgesamt 515 Astra-Implantaten verteilt auf 107 Patienten, konnte eine Erfolgswahrscheinlichkeit von 95,9% festgestellt werden [95].

### **3.7 Abutmentgestaltung und Werkstoffe**

Prothetische Abutments auf Implantaten tragen die Suprakonstruktion und können unterschiedlich gestaltet sein. Grundsätzlich kann auf die vom Hersteller des jeweiligen Implantatsystem angebotenen Standardabutments zurückgegriffen werden. Diese sind meist mit und ohne Abwinkelungen verschiedener Gradstufen erhältlich. Nachteilig ist hier jedoch, dass sich meist approximal eine tief subgingival liegende Abutmentschulter zwangsläufig aufgrund des natürlich girlandenförmig laufenden Zahnfleisches ergibt.

Für jeden Patienten individuell hergestellte und auf die jeweiligen gingivalen Verhältnisse abgestimmte Abutments haben sich in der modernen Implantatprothetik als Alternative etabliert, da hier der Kronenrand gezielt in einen besser kontrollierbaren Bereich gelegt werden kann, bzw. zahnfarbene Abutments sogar eine supragingivale Lage erlauben.

Gefräste Titanabutments versprechen höchste Biokompatibilität und erlauben eine gute Zahnfleischanlagerung an die Oberfläche. Jedoch muss durch die Verwendung des Metalls Titan bei Zahnfleischwund eventuell mit ästhetischen Einbußen vor allem im Frontzahnbereich gerechnet werden. Alternativ hierzu können Abutments aus Zirkonoxidkeramik hergestellt werden. Als tetragonaler Zirkonoxid Polykristall weist diese Keramik eine sehr hohe Biegefestigkeit von ca. 900 bis 1200 MPa auf. Eine Mischoxidkeramik mit einem Aluminiumoxidanteil von etwa 20% besitzt eine sogar nochmals doppelt so hohe Biegefestigkeit von ca. 2000 MPa. [66]. Deshalb sind diese Keramiken nicht nur für Hartkerngerüste von Kronen und Brücken, sondern auch als Wurzelstifte, Teleskopkronen und Abutments auf Implantaten geeignet. Vorteilhaft ist weiter die zahnähnliche Farbe. Somit wird es möglich die Abutmentschulter zirkulär in einen vertretbaren Bereich von ca. 0,5 mm subgingival zu legen,

ohne ästhetische Einbußen zu akzeptieren. Eine aktuelle 10 Jahre-Beobachtungsstudie bestätigt den Erfolg von Zirkonoxidabutments. 23 Patienten mit insgesamt 30 Implantaten wurden mit individuellen Zirkonoxidabutments und Einzelzahnkronen aus E-Max Keramik versorgt. Biologische Komplikationen zeigten sich in dem Beobachtungszeitraum nur an einem Implantat. Technische Komplikationen wie Kronen- oder Abutmentfrakturen konnten nicht festgestellt werden. Der periimplantäre Knochenrückgang erwies sich mit durchschnittlich 0,26 mm als gering [29]. Zirkonoxidkeramiken, Titan, Nichtedelmetalllegierungen und auch Gold weisen jedoch im Vergleich zum natürlichen Knochen deutlich höhere E-Modulwerte auf. Diese Starrheit kann sich ungünstig auf die Kaukraftweiterleitung und damit auf die Langzeitstabilität der Osseointegration auswirken.

Die Firma Bredent hat hierfür das High Performance Polymer BioHPP<sup>®</sup> speziell für die intraorale Anwendung entwickelt. Basis ist die 10-jährige Kompetenz in der Verarbeitung von Hochleistungspolymeren auf der Basis von PEEK (Polyetheretherketon). Durch Beimengung spezieller keramischer Füllstoffe soll dieses zahnfarbene Material nun optimale physiologische und mechanische Eigenschaften für die dentalprothetische Anwendung versprechen. Durch seine dem Knochen ähnliche Elastizität fügt es sich harmonisch in das Kausystem ein. Somit werden die Kaukräfte und Belastungsspitzen insbesondere bei implantatgetragenen Versorgungen auf natürliche Weise gedämpft und die Langzeitstabilität verbessert [105]. BioHPP<sup>®</sup> weist im Vergleich zu Zirkonoxid (130.000 MPa) einen E-Modulwert von ca. 2000 bis 3000 MPa auf. Spongioser bzw. kompakter Knochen liegt hier bei ca. 1.000 bis 9.000 MPa. Somit ergibt sich ein natürliches Mundgefühl und Kauempfinden. Des Weiteren ist BioHPP<sup>®</sup> wie Titan und Keramik biokompatibel. Seit über 30 Jahren wird PEEK in der Humanmedizin für Fingerprothesen, Wirbelsäulen-Zwischenkörper und Hüftgelenkprothesen erfolgreich eingesetzt. BioHPP<sup>®</sup> für den dentalen Gebrauch zeigt sich darüber hinaus als nicht abrasiv für den Restzahnbestand und als plaqueneutral. Zahnfleischirritationen werden durch die homogene Oberflächenbeschaffenheit, die niedrige Rauhtiefe  $R_A$  von ca. 0,018  $\mu\text{m}$  und optimale Polierbarkeit durch die sehr kleine Korngröße der keramischen Füllstoffe von ca. 0,3 bis 0,5  $\mu\text{m}$  gemindert. Für die Implantatprothetik wird die Abutmentform individuell auf ein Titangrundgerüst aufgewachst und im Anschluss das Gerüst mit BioHPP<sup>®</sup> überpresst. Das Verfahren aus konditionierter Titanoberfläche und der thermoplastischen Herstellung gewährleisten einen spaltfreien und stoffschlüssigen Verschluss. Somit soll ein spaltfreies und klebefreies Hybridabutment entstehen, welches sterilisierbar und langfristig sicher vor Keimpenetration ist [17.]

### **3.8 Verschraubte Restaurationsverankerung**

Das Verschrauben der Suprakonstruktion auf dem Implantat ermöglicht bedingt abnehmbare, also reversibel festsitzend verankerte Lösungen. Von Vorteil ist diese Art der Befestigung falls der Bedarf besteht, die Konstruktion zu entfernen, das periimplantäre Gewebe zu therapieren oder Reparaturen und Erweiterungen an der Konstruktion vorzunehmen. Größter Nachteil des Verschraubens ist allerdings die meist nachhaltig eingeschränkte Ästhetik durch okklusal sichtbare Schraubenköpfe oder mangelnde Kunststoffabdeckungen [13]. Zahntechnisch deutlich aufwändigere Gerüste sind erforderlich. Desweiteren ist eine dauerhafte Verdrehsicherheit eventuell nicht (sicher) gewährleistet was zu einem Mikrospiel führen kann und den Spalt zwischen Aufbau und Krone vergrößern kann [28]. Ein Keimreservoir bildet sich. Durch die Verschraubung entfällt die Notwendigkeit eines Befestigungszementes. Somit kann auch kein Zementüberschuss entstehen, jedoch wird auch der Spalt zwischen Krone und Aufbau nicht versiegelt. Empfehlenswert ist eine Verschraubung bei ausgedehnten, gegossenen Konstruktionen über mehr als drei Pfeiler. Grund hierfür ist die steigende Gefahr von Keramikfrakturen und -abplatzungen bei steigender Größe des Gerüsts, welche durch Durchbiegungen, Verarbeitungsfehler und Fehlbelastungen entstehen [76].

### **3.9 Zementierte Restaurationsverankerung und Periimplantitis**

Das Zementieren der Kronen auf Abutmentpfosten ist in der Handhabung und Herstellung für den Zahntechniker einfacher. Durch das Fehlen eines Schraubenkanals und entsprechender Schraube können ästhetisch sehr hochwertige Ergebnisse erzielt werden [102]. Vor allem in der Oberkieferfront sind in Verbindung mit ästhetischen keramischen Abutments exzellente Versorgungen zu realisieren. Durch die Anwendung des Befestigungszementes wird der vorhandene Spalt zwischen Krone und Abutment dauerhaft versiegelt. Desweiteren wird erreicht, dass Kronen ohne Konturunterbrechung hergestellt werden können. Dies ist vor allem bei Vollkeramikronen wichtig, um gleichmäßige Schichtstärken zu garantieren und Spannungen zu vermeiden. Größter Nachteil bei einer zementierten Verankerung ist allerdings die nicht sichere Entfernung der Zementüberschüsse [70]. Die Implantatobergrenze wird meist tief subgingival gesetzt, um vorhersehbare Schrumpfungen der periimplantären Gewebe, vor allem der Gingiva, zu kompensieren [7]. Hier helfen nur individuell auf die Schleimhautverhältnisse angepasste Aufbauten, sodass der Kronenrand zirkulär nur ca. 0,5 mm subgingival zu liegen kommt. Auch das Lösen der Pfosten-Befestigungsschraube bei etwaig notwendigen Erweiterungen durch zusätzlichen Zahnverlust bringt Probleme und macht eine Zerstörung der Krone unumgänglich [76].



Mehr und mehr repräsentieren Osteoblasten und Osteoklasten einen funktionellen Teil des Immunsystems, da es der knöchernen Metabolismus bei Patienten mit dentalen Implantaten mit einer fremden, nicht körpereigenen Oberfläche zu tun hat, was Spannung und Stress im umliegenden Gewebe während funktioneller Belastung induziert. Ein natürlicher Zahn ist Teil des genetisch determinierten und hoch spezialisierten dentogingivalen Komplexes für welchen Belastung ein physiologischer Reiz zum Knochenaufbau darstellt. Verschiedene Autoren stellen verschiedene Hypothesen zu den Ursachen von Periimplantitis auf. Tatsächlich werden einige Parallelen zum Krankheitsbild der Parodontitis, also dem entzündlichen Abbau von Knochen um den natürlichen Zahn geknüpft. Genau wie hier werden bakterielle Infektionen und okklusale Überbelastungen als Auslöser gesehen. Der marginale Knochen wird bakteriell infiziert, was auf die Abwesenheit eines parodontalen Ligaments und eine reduzierte Anzahl an Fibroblasten und Blutgefäßen zurückzuführen ist (Zeza et. al. [104]). Ebenso wird hier zwischen Gingivitis und Parodontitis unterschieden. Gingivitis äußert sich in einer Entzündung der marginalen Gingiva um den Zahn herum. Von Parodontitis spricht man bei vertieften Taschen über 3,5 mm und krestalen Knochenabbau [49]. Allerdings ist bei Implantaten im ersten Jahr in situ mit (physiologischem) Knochenrückgang zu rechnen, welcher als Remodelling bezeichnet wird und viele Ursachen hat. Periimplantitis muss also korrekterweise als Erkrankung mit fortschreitendem Knochenabbau bezeichnet werden, nachdem bereits initial marginaler Knochen verloren ging (Albrektsson et. al. [3]). Von Periimplantitis spricht man beim Auftreten von tieferen Sulki über 4 mm um ein Implantat, Blutung oder Suppuration auf Sondierung und marginalen Knochenverlust von über 2 mm, meist durch Zufall bei Röntgenkontrollaufnahmen entdeckt, da Schmerz kein unbedingtes Symptom des Krankheitsbildes ist (Lang et. al. [51]).

Zurückbleibender überschüssiger Zement im periimplantären Sulkus stellt ein Risiko für benachbarte Gewebe dar und begünstigt die Anhaftung von Bakterien und damit die Biofilmbildung, was eine Entzündung des periimplantären Gewebes zur Folge haben kann (Renvert et. al. [73]), (Obst et. al. [68]), [91]. Allerdings nicht nur die Menge, sondern auch die Art des Befestigungswerkstoffes entscheidet über die Ausprägung der sich etablierenden Entzündung. Methacrylatbasierte Zemente scheinen anfälliger dafür zu sein, Biofilmformationen zu begünstigen, als Zemente auf Zinkoxid-Eugenolbasis, von denen ein antibakterieller Effekt ausgeht (Busscher et. al. [19]), [48]. Jedoch konnte gezeigt werden, dass unabhängig von der Zementart, vorhandene Zementpartikel im Vergleich zur unberührten planen Titanoberfläche eine signifikant höhere Biofilmbildung aufweisen (Papavasileiou et. al. [69]). Tatsächlich lässt sich ein direkter Zusammenhang zwischen Zementresten und periimplantärer Entzündung erschließen. So zeigte Wilson in einer klinischen Studie, dass bei 34 von 42 (81%) untersuchten

Implantaten mit klinisch oder röntgenologisch nachweisbaren Entzündungszeichen, zurückbleibende Zementreste zu finden waren. Nachgewiesen wurden diese durch ein dentales Endoskop. Nach Entfernen der Zementreste zeigten nur mehr 8 von 33 (24%) Untersuchungsstellen nachweisbare Entzündungszeichen [99]. Die Bakterienzusammensetzung unterscheidet sich zum Teil grundlegend. Während sich in einer Patientengruppe mit durch Dentalzement auf Zinkoxid-Eugenolbasis befestigten Suprakonstruktionen auf Implantaten einer Studie der Arbeitsgruppe um Korsch 2016 hohe Mengen an kommensalen oralen Bakterien wie Streptokokkus-Arten (meist *S. sanguinus*) finden, wie sie auch reichlich im gesunden menschlichen oralen Mikrobiom vorkommen, zeigen dagegen Patienten mit durch Dentalzement auf Methacrylatbasis versorgten Implantaten ein erhöhtes Auftreten pathogener Bakterienarten. Die drei Spezies *Tannarella*, *Treponema* und *Porphyromonas* des roten Komplexes, welche grundsätzlich mit dem Auftreten des Krankheitsbildes Periimplantitis in Einklang gebracht werden, stellten den größten Beitrag an der Spezieszusammensetzung dieser Untersuchungsgruppe. Nach genauerer Analyse der Spezies wurde deutlich, dass ein Auftreten der roten Komplex-Bakterien *Porphyromonas gingivalis*, *Tannarella forsythia* und *Treponema denticola* in dieser Patientengruppe signifikant höher war [50]. In einer Studie der Arbeitsgruppe um Agar untersuchten 1997 sechs unterschiedlich erfahrene Kliniker den Reinigungserfolg unter Verwendung drei verschiedener Zementarten und Kùretten. Unabhängig von der Erfahrung der Untersucher waren Proben mit Resinzement mit Abstand am schlechtesten zu reinigen als solche, die mit Glasionomer-, oder Zinkoxidphosphatzement (1,1 mm<sup>2</sup> Remnants pro Quadrant zu 0,2 mm<sup>2</sup>) befestigt waren. Der Autor betonte hier deutlich, dass Zahnärzte, welche Kronen mit subgingivalen Rändern zementieren, keinerlei Möglichkeit haben, die Zementreste, die sie hinterlassen zu bewerten und zu entdecken. Desweiteren wurde hier gezeigt, dass sich unter Verwendung von Edelmetalkùretten ausgeprägte Oberflächenbeschädigungen zwangsläufig ergeben, die abhängig vom Behandler auch extreme AusmaÙe annehmen können, jedoch auch der Gebrauch von Kunststoffkùretten keine völlig unbeschädigte Oberfläche hinterlässt [2]. Linkevicius und seine Arbeitsgruppe zeigten 2011 einen signifikanten Anstieg der zurückbleibenden Zementmenge bei tiefer subgingival liegenden Restaurationsrändern. In seiner In-vitro-Studie wurden in fünf Gruppen (Gruppe 1 – 1 mm supragingival / Gruppe 2 – isoringival / Gruppe 3 – 1 mm subgingival / Gruppe 4 – 2 mm subgingival / Gruppe 5 – 3 mm subgingival) individuelle prothetische Abutments hergestellt und in einem Gipsmodell mit künstlicher flexibler Gingiva befestigt. Die Restaurationen wurden mit resin-modifiziertem Glasionomerzement (Fuji Plus) zementiert. Edelmetalkùretten wurden für die Reinigung verwendet. Die größte Menge wurde bei den Gruppen 4 und 5 gefunden (0,0051 g und 0,0063

g), am wenigsten bei Gruppe 1 (0,0003 g) (Linkevicius et. al. 2011 [52]). Eine aktuelle Studie um Sancho-Puchades aus dem Jahr 2017 bestätigte den statistisch signifikanten Anstieg der Menge an zurückbleibenden Zementresten bei deutlich subgingival liegenden Kronen-Abutment-Rändern. Weiter wurde hier gezeigt, dass konkave Abutments im Vergleich zu konvexen Designs signifikant schwieriger zu reinigen sind [80]. In 2013 hat eine Arbeitsgruppe um Linkevicius versucht, die Ergebnisse in einer klinischen Studie zu überprüfen. Hierbei wurden 53 mit Einzelimplantaten versorgte Metallkeramikrestaurationen untersucht. Die subgingivale Restaurationsrandlage wurde jeweils an vier Stellen gemessen und die Daten in vier Gruppen aufgeteilt. Gruppe 1 – isogingival (14), Gruppe 2 – 1 mm subgingival (56), Gruppe 3 – 2 mm subgingival (74), Gruppe 4 – 3 mm subgingival (68). Auch in dieser In-vivo-Überprüfungsstudie wurden signifikante Unterschiede zwischen den Probengruppen festgestellt. Je weiter subgingival die Zementierungsfuge gesetzt wird, desto mehr bleiben nichtentfernte Zementreste zurück (0,055 g zu 0,002 g). Durch radiologische Kontrollen konnten Überschüsse mesial und distal kenntlich gemacht werden, jedoch gibt der Autor hier an, dass Zahnrontgenaufnahmen nicht als absolut zuverlässige Methode für das Aufspüren von verbliebenem Zement aufgrund von Überlagerungen eines vestibulo-oralen Strahlenverlaufs angesehen werden sollte [53]. Eine andere Arbeitsgruppe um Linkevicius stellte ebenfalls 2013 in einer klinischen Studie fest, dass sich um 62 von 73 (85%) untersuchten Implantaten mit zurückbleibenden Zementresten eine periimplantäre Entzündung etablierte. Lediglich bei 17 von 56 (30%) Implantaten ohne zurückbleibende Zementreste waren Entzündungszeichen auszumachen. Im Vergleich hierzu fanden sich bei der Kontrollgruppe nur bei zwei Implantaten mit verschraubten Suprakonstruktionen eine Periimplantitis (1,08%). Als Dentalzement kam hier ein kunststoffmodifizierter Glasionomerezement zum Einsatz. Aus diesen Daten kann geschlossen werden, dass Zementreste einen wichtigen prädisponierenden Faktor in der Pathogenese periimplantärer Entzündungen darstellen [54]. Bertoldi et. al. untersuchten 2017 die Oberflächenbeschädigungen von Titanimplantaten im low-vacuum scanning electron microscope (LV-SEM) und fanden heraus, dass die Verwendung von Titan-Küretten im Vergleich zu Edelstahl- oder Kunststoffküretten eine nur minimale Veränderung der Oberfläche bewirkt (Roughness parameters: S – stainless steel 0,160 / T – titanium 0,102 / P – plastic tip 0,149) und damit die Anheftung von Biofilmen erschwert, bzw. die Integrität des Implantats bewahren kann [12]. Gruben und Furchen allerdings fördern die bakterielle Besiedelung und auch die Oberflächenrauigkeit spielt eine besonders wichtige Rolle bei der De-Novo Biofilmbildung [87]. Doch welche Rollen spielen Zementreste und Oberflächenbeschädigungen nun wirklich in der Ätiologie des Krankheitsbildes Periimplantitis? Die Autoren sind sich hierbei nicht einig,

weshalb sich kein konkretes Ergebnis angeben lässt. Angenommen wird, dass subgingival verbliebene Zementreste als zusätzlicher irritierender Faktor neben mikrobiologischer Kontamination [84] und möglicher toxischer Reaktion des Zementes auf die periimplantären Gewebe [81] und auf das Weichgewebe wirken, vergleichbar mit Konkrementen um an Parodontitis erkrankten Zähnen [98]. Einige Fallberichte zeigen und bestätigen das Auftreten akuter Periimplantitis mit manifester Weichgewebsschwellung, Entzündung und Fistelbildung innerhalb einiger Monate nach dem Einsetzen zementfixierter Suprakonstruktionen. Nach chirurgischem Aufklappen wurde hier von Zementresten berichtet, was in der Mehrheit der Fälle mit erheblichen Knochenrückgang assoziiert war [70]. Eine klinische Studie von Wilson 2009 zeigte, dass 81% der von Periimplantitis betroffenen Implantate überschüssigen Zement in subgingivalen Bereichen aufwiesen. Interessanterweise waren in der Gruppe auch Implantate enthalten, die bereits neun Jahre in situ waren. Daraus kann geschlossen werden, dass die Entwicklung einer chronischen oder akuten Entzündung nicht nur von der Zeit, sondern auch von der Nachbarschaft und Nähe des Knochens zu Zementresten abhängt. Je näher sich beide Strukturen kommen, desto akuter wird die Reaktion. Darüber hinaus spielt wie beim Krankheitsbild der Parodontitis die jeweilige immunologische Kompetenz des Patienten eine entscheidende Rolle in der Entwicklung von zementassoziiertem Knochenrückgang [99]. Man würde also erwarten, dass bei durch Schrauben fixierten Suprakonstruktionen sich günstigere Reaktionen des periimplantären Weichgewebe ergeben, da hier kein Zement für Retention notwendig ist. Es gibt allerdings Studien, die von keiner ungünstigeren Gewebereaktion auf Zementreste berichten, was auf die zwangsläufige Bildung eines Mikrospaltes zwischen Implantat und Abutment zurückzuführen ist. Blanes et. al. zeigten 2007, dass zementfixierte Konstruktionen nicht signifikant häufiger entzündet waren, als solche die durch Schrauben fixiert wurden [14]. Weiterhin zeigen sich im Biofilm der subgingivalen Bereiche bei beiden Fixierungsmethoden keine mikrobiologischen und histologischen Unterschiede [44]. Schließlich zeigte auch eine praktische-retrospektive Studie über einen Zeitraum von acht Jahren keine höhere biologische Komplikationsrate bei zementfixierter Prothetik [63]. Jedoch ist das Fehlen von klinischen Zeichen für periimplantäre Entzündungen nicht beweisend für das Fehlen entfernter Zementreste [99]. Darüber hinaus ist es aufgrund von bindegewebigen Attachment am natürlichen Zahn möglich, eine suffiziente Barriere aufzubauen, sodass überschüssiger Zement nicht weiter in den Parodontalspalt gepresst, sondern nach supragingival in den sichtbaren Bereich gedrängt wird und somit einfacher zu erkennen ist. Das periimplantäre Gewebe weist keinen vergleichbaren protektiven Mechanismus auf und ist insgesamt weniger resistent gegenüber Druck [72]. Am natürlichen Zahn etabliert sich eine Insertion der

Kollagenfasern im Zahnzement. Im periimplantären Sulkus findet sich jedoch nur eine Adaption von Kollagenfasern in paralleler Richtung an der Implantatoberfläche [40]. Befestigungszement gelangt daher leichter subgingival und nur ein kleiner Teil wird nach marginal verdrängt [24], [30].

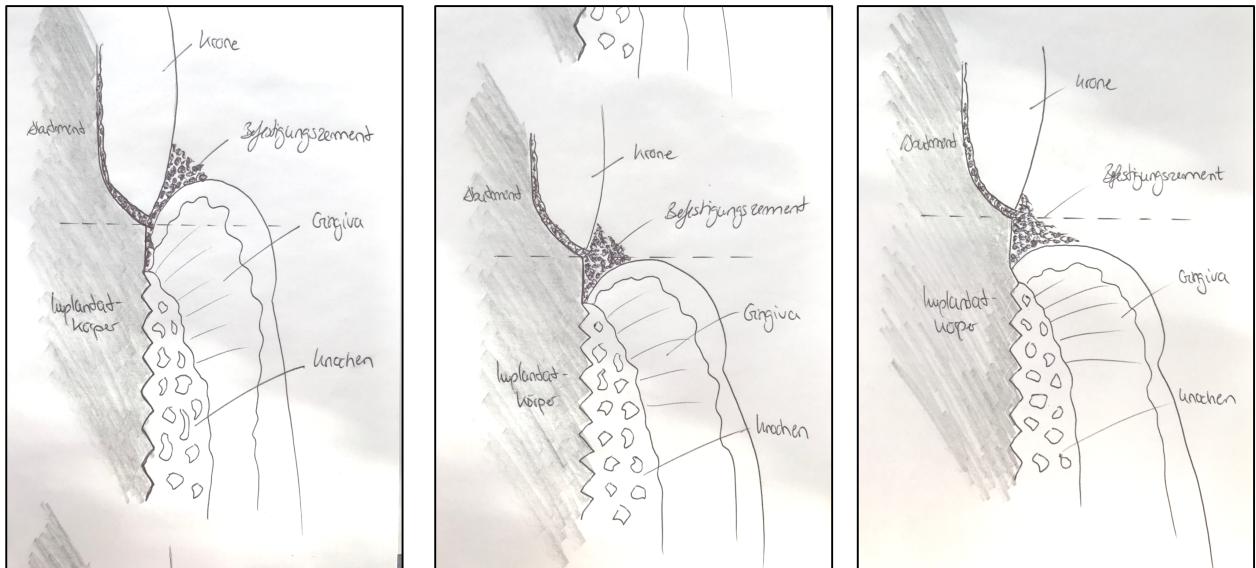


Abbildung 1 Skizzen zum periimplantären Gewebe

Obenstehende Abbildung 1 zeigt eigenhändig angefertigte Skizzen zur Darstellung dieses Umstandes. Dargestellt ist die Implantatschulter sub-, iso- und supragingival sowie die jeweils erwartete Ausbreitung des Befestigungszementes nach apikal und zervikal. Aus diesen Skizzen gingen die Überlegungen für vorliegende Arbeit aus:

Eine Lage der Abutmentschulter bei Tissue-Level-Implantaten als einfache durchzuführende Implantationsmaßnahme in einen supragingivalen und damit besser kontrollierbaren Bereich würde eine effizientere Entfernung von Zementresten ermöglichen. Unter Berücksichtigung der ästhetischen Anforderungen ist dies allerdings nur für den Seitenzahnbereich möglich.

### 3.10 Dentale Befestigungswerkstoffe

Auftretende Gewebereaktionen können aber auch mit der Art des Zementes und damit verbundener unterschiedlicher Toxizität einhergehen. Zemente auf Kompositbasis können aufgrund von freiwerdenden Monomeren nach der Polymerisation oder durch vorhandenes Formaldehyd an oberflächlich nicht polymerisierenden Schichten gewebeirritierend wirken. Im Gegensatz dazu haben freiwerdende Zinkionen aus entsprechenden Präparaten eine eher antibakterielle Wirkung auf umliegende Biofilme (Raval et. al. [71]). Jedoch scheinen auch

Reste dieses Befestigungszementes einen retentiven Faktor darzustellen, der sich auf die Zusammensetzung des submukösen Biofilms auswirkt und somit den ersten Schritt für eine Mukositis oder sogar Periimplantitis darstellen könnte (Canullo et. al. [21]). Eine Metaanalyse von Nematollahi et. al. zeigte, dass Zinkoxid-Phosphat-Zement zur Retention von Suprakonstruktionen auf Implantaten, aufgrund von antibakteriellen Eigenschaften und geringerer Adhäsion zu Metalloberflächen und damit einhergehender besserer Handhabbarkeit bei der Entfernung von Zementresten, der am häufigsten verwendete Dentalzement ist [64].

Dentale Zemente dienen entweder der provisorischen oder definitiven Befestigung der fertigen Restauration auf dem präparierten Zahnstumpf oder Implantat. Grundsätzlich führt das Vermischen der beiden Komponenten Pulver und Flüssigkeit zur einer chemischen Reaktion, wobei die Komponenten erstarren. Im Pulver sind verschiedene Metalloxide enthalten, die zu einem Klinker gebrannt und zermahlen wurden. Durch die Reaktion mit der Säure in der Flüssigkeit entstehen Salze, welche zu einer amorphen Matrix erstarren. Nach einiger Zeit treten Kristallisationen auf und das enthaltene Wasser bleibt meist als Kristallwasser gebunden in der Matrix zurück. Entscheidend für die Festigkeit und Wasserlöslichkeit sind korrekte Mischungsverhältnisse, weshalb stets die vom Hersteller angegebenen Vorgaben zu beachten sind. Die Retentionswirkung herkömmlicher dentaler Zemente beruht nicht auf Klebung, sondern auf Beeinträchtigung von Parallelverschiebungen benachbarter Oberflächen durch Verkeilung. Eine gewisse Rauigkeit der Oberflächen ist Grundvoraussetzung. Ebenso ist die Festigkeit der Zemente entscheidend [57]. Beim Glasionomerezement besteht das Pulver aus Silikatglas mit erhöhtem Aluminiumgehalt und größerer Reaktivität gegenüber Säuren. Die Flüssigkeit enthält Polysäuren in wässriger Lösung (50 m%). Jedoch sind auch Acrylsäurederivate (Methacrylsäure oder Itakosäure) und 5 m% Weinsäure enthalten, welche einer Gelierung vorbeugen und in komplexer Weise das Abbindeverhalten optimieren. Die mechanischen Eigenschaften sind denen der Zinkoxidphosphatzemente leicht überlegen. Sie haften an der Zahnhartsubstanz aber auch an oxidierten Metalloberflächen. Die Löslichkeit unter Mundbedingungen ist geringer als bei anderen Zementen, jedoch sind Glasionomerezemente in der initialen Phase der Abbindereaktion extrem feuchtigkeitsempfindlich, wodurch die Eigenschaften des Zementes irreversibel beeinträchtigt werden. Auf adäquat trockene Verhältnisse muss daher geachtet werden. Zudem ergibt sich eine im Laufe der Zeit abfallende Freisetzung von Fluoriden als Kariesprophylaxe. Zu den weiteren Vorteilen dieser Zemente gehört die einfache Anwendung durch ein Kapselsystem, gute Pulpaverträglichkeit und Abdichtung, geringer Säurelöslichkeit und für zahnärztliche Anforderungen ausreichende Festigkeitswerte. Nachteilig ist die schlechte Entfernbarkeit von Überschüssen nach

vollständiger Härtung [58]. Beim Zinkoxidphosphatzement besteht das Pulver zu 90 m% aus Zinkoxiden. Bestandteile wie Magnesiumoxid, Siliziumoxid, Calciumfluorid und andere optimieren die Festigkeits- und Mundbeständigkeitseigenschaften. Dies führt z.B. zu geringerer Lösungstendenz in Wasser und ermöglicht Farbgebung. In der Flüssigkeit ist Phosphorsäure in wässriger Lösung (35 m% H<sub>2</sub>O) und mit 10 m% Zink und Aluminium gepuffert. Dadurch kann die Reaktionsgeschwindigkeit gesenkt und eine ausreichende Verarbeitungszeit erreicht werden. Festigkeitswerte und Mundbeständigkeit steigen mit zunehmendem Pulvergehalt in der Mischung. Problematisch bei diesen Zementarten ist die mögliche Pulpairritation durch die verwendeten Säuren. Weiterhin entsteht kein chemischer Verbund zur Zahnhartsubstanz und die exotherme Abbindereaktion unterliegt einer hohen Kontraktion. Außerdem ergibt sich ein hohes Löslichkeitsverhalten und gesteigerte Feuchtigkeitsempfindlichkeit. Vorteilhaft ist allerdings die leichte Verarbeitung, kurze Aushärtezeit und die leichte Entfernbarkeit von Überschüssen [57]. Befestigungskomposite sind von konventionellen Kompositen abgeleitet. Diese enthalten 55-75 Vol% anorganische Füllstoffe wie Oxide (Quarz, Aluminiumoxid, Boroxid), Silikate (Aluminiumsilikate) und durch Zugabe entsprechender Oxide (BaO, B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SrO) variierte Aluminiumsilikatgläser. Andere Metalloxide werden zur Farbgebung nach Bedarf beigemischt. Damit die Füllstoffe, welche die mechanischen Eigenschaften maßgeblich beeinflussen, eine chemische Bindung mit den Kunststoffen (Acrylat) der Matrix eingehen, werden diese mit organischen Siliziumverbindungen (Silanen) vorbehandelt. Die Methoxygruppen reagieren mit dem Silizium in der Füllstoffoberfläche unter Bildung von Si-O-Si-Bindungen. Durch Silanisieren wird den Teilchen eine organophile Eigenschaft verliehen, wodurch diese mit freien Doppelbindungen in den Polymerisationsprozess der Acrylate miteinbezogen werden und ein inniger chemischer Verbund beider Komponenten entsteht. Für das Einsetzen von Klebebrücken, aber auch vollkeramischer oder metallischer Restaurationen werden speziell für diesen Zweck konzipierte Komposite eingesetzt. Vordergründig dualhärtende Gemische werden verwendet. Ein licht- und chemischer Polymerisationsprozess garantiert die vollständige Aushärtung des ganzen Klebers. Der größte Vorteil besteht im Vergleich zu den konventionellen Zementen darin, dass sie sowohl an der konditionierten Zahnhartsubstanz (geätzte Schmelzflächen), als auch an zuvor konditionierten Materialoberflächen wie silanisierten Keramiken oder metallischen Werkstoffen (Restauration und Implantat) haften und so einen spaltfreien, dichten Verbund herstellen. Nachteilig sind allerdings der erhöhte Materialaufwand und die schwierige Verarbeitung (absolute Trockenlegung notwendig), sowie die sehr erschwerte Entfernbarkeit von Überschüssen [59]. Die Widerstandskraft nach Befestigung von Suprakonstruktionen ist bei kunststoffmodifizierten Zementen am höchsten. Mit durchschnittlich 810,08 N weisen diese im

Vergleich zu Glasionomerezementen mit 750,17 N und Zinkoxidphosphatzementen mit 629,30 N die größten Werte auf (Garg et. al. 2013 [32]). Das Elastizitätsmodul gemessen in  $\text{N/mm}^2$  beträgt für Komposite 3.000 bis 18.000, für Glasionomerezementen 12.000 bis 20.000 und für Zinkoxidphosphatzementen 7.000 bis 24.000. Die Werte für die Härte gemessen nach Brinell (HB) betragen 50 bis 130 für Komposite, 60 bis 90 für Glasionomerezementen und 36 bis 50 für Zinkoxidphosphatzementen. Die Druckfestigkeit gemessen in  $\text{N/mm}^2$  zeigt folgende Werte: 280 bis 500 für Komposite, 140 bis 220 für Glasionomerezementen und 70 bis 120 für Zinkoxidphosphatzementen [60].

### **3.11 Parodontologische Therapiemaßnahmen**

In der Therapie des Zahnhalteapparates (Parodont) und des periimplantären Gewebes unterscheidet man zwischen Handinstrumenten und maschinell betriebenen Reinigungsinstrumenten.

Küretten und Scaler gehören zu den Handinstrumenten der Zahnstein-, bzw. Auflagerungsentfernung. Diese sind die bekanntesten und gebräuchlichsten. Scaler haben einen dreieckigen Querschnitt und ein spitz zulaufendes Arbeitsende mit zwei scharfen Arbeitsseiten. Aufgrund dessen werden diese Instrumente stets supragingival verwendet, da die Gefahr einer Zahnfleischverletzung bei subgingivaler Anwendung zu groß wäre. Durch flächiges Anlegen an die Zahnoberfläche und unter Ziehen des Arbeitsendes nach koronal werden Zahnstein und Auflagerungen von der Oberfläche abgeschuppt (engl.: scaling = abkratzen, abschuppen). Zum Entfernen wird ein Druck von ca. 2 N angewendet. Ein reines Arbeiten mit der Spitze dieses Instrumentes sollte vermieden werden, da sich sonst tiefe Riefen an der Oberfläche ergeben.

Küretten weisen einen abgerundeten, nahezu halbkreisförmigen Querschnitt mit einer abgerundeten Spitze auf. Man unterscheidet zwischen Universalküretten mit zwei scharfen Arbeitsseiten und spezialisierten Gracey-Küretten, die nur eine scharfe Arbeitsseite aufweisen. Durch das abgerundete Design werden diese Instrumente in subgingivalen Bereichen zum Abschaben der Auflagerungen verwendet, da die Gefahr der Weichteilverletzung deutlich gemindert ist. Jedoch wird nicht unter Sicht, sondern nach Gefühl auf der Wurzeloberfläche gearbeitet, was die Notwendigkeit von verschiedenen Abwinkelungen des Schaftes mit sich bringt, um alle Flächen eines Zahnes erreichen und eine anatomisch korrekte Reinigung durchführen zu können. Jedoch hinterlassen auch diese Instrumente bei falscher Anwendung Riefen und Furchen auf der Zahnoberfläche. Vergleiche hierzu folgende Abbildung 2.



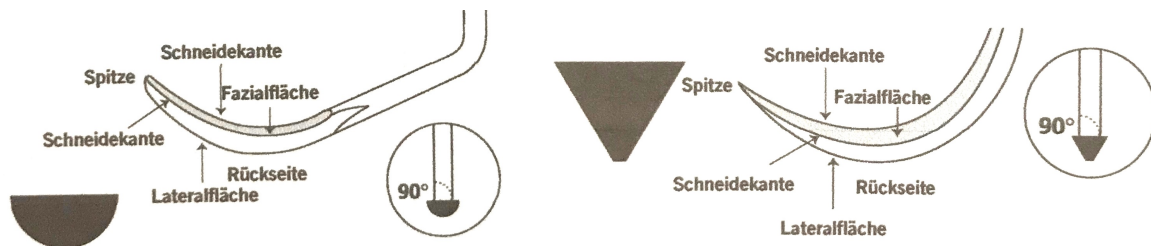


Abbildung 2 Schema Kurette und Scaler (Quelle: 2008 Hu-Friedy Mfg. Co., Inc.)

Zu sehen ist eine schematische Darstellung einer Kurette links und eines Scalers rechts. Die unterschiedlichen Designs werden hier ersichtlich. Deutlich zu erkennen ist das spitz zulaufende Ende des Scalers und sein schlanker dreieckiger Querschnitt.

Maschinell betriebene Instrumente wie Ultraschallscaler verursachen eine zyklische Bewegung der Arbeitsspitze im Ultraschallbereich, was eine sehr effektive Entfernung von Auflagerungen erlaubt. Zahnstein und Zementreste werden in Schwingung versetzt und platzen somit ab. Jedoch dürfen diese Instrumente nur parallel zur Zahnachse geführt werden, da ansonsten der Wirkungsgrad zu groß würde und eine Beschädigung der Oberfläche entsteht. Darüber hinaus ist eine stetige Wasserkühlung unabdingbar, da durch Reibung Hitze entsteht. Spezielle Aufsätze mit innengekühlten Arbeitsspitzen erlauben jedoch auch eine subgingivale Anwendung. Zur Entfernung von Biofilmen sind Pulverstrahlgeräte mit Glycin als Pulver zugleich effektiv in der Reinigung und schonend zum umgebenen Gewebe. Darüber hinaus zeigt sich die Anwendung oraler Probiotika, wie z.B. *Lactobacillus reuteri* mit seinen Stoffwechselprodukten Reuterin und Reuterizyclin als geeignet, um Zahnfleischproblemen vorzubeugen, bzw. die Heilung zu unterstützen [82].

Parodontologische Reinigungsinstrumente sowie andere dentale Instrumente werden aus medizinischem Edelstahl 316L gefertigt, der sich durch seine Korrosionsbeständigkeit auszeichnet. Durch spezielle Verfahren wird eine Vergütung dieses Stahls erreicht. Somit lässt sich eine Steigerung der Härte gemessen nach Vickers (HV 10) von ca. 233 auf über 300 erreichen. Bezeichnet wird dieser dann als 316LVM und ist der am häufigsten verwendete Edelstahl in der Medizintechnik. Auch chirurgische und dentale Instrumente werden aus diesem Material gefertigt, um höchsten Anforderungen gerecht zu werden [89]. Um die Integrität einer Implantat- und Abutmentoberfläche aus Titan mit Härtegraden HV 10 von ca. 250 möglichst nicht zu verändern, wurden Reinigungsinstrumente aus Titan oder Spezialkunststoff entwickelt. Diese sollen die Entfernung von Zementresten ermöglichen, ohne dabei Oberflächenbeschädigungen zu hinterlassen [88].

## 4 Material und Methode

### 4.1 Grundlegender Versuchsaufbau

Der primäre Versuchsaufbau zum Reinigungserfolg gestaltete sich wie folgt. Zunächst wurde eine Negativform durch die für die jeweilige Versuchsreihe entsprechenden Frasco-Zähne für anatomisch korrekt geformte Zähne durch Omnident Silikonabformmasse hergestellt. Nach Entfernen der Modellzähne aus dem Arbeitsmodell, wurden die Straumann Tissue-Level-Implantate in der Modellalveole durch Wachs auf der jeweiligen Versuchsreihe zugeordneten Untersuchungshöhe sub-, iso-, oder supragingival (vestibulärer Zahnfleischmaskenrand als Referenz) befestigt. Unter Verwendung der Negativform wurden die Suprakonstruktionen aus Provisorienkunststoff hergestellt, anatomisch korrekt durch Schleifinstrumente ausgeformt, sowie die Passung kontrolliert. Die folgende Befestigung der Suprakonstruktionen geschah nach Zementierungsprotokoll entsprechend den Versuchsreihen unter Einhaltung der vorgeschriebenen Anwendungsrichtlinien der Hersteller durch Glasionomer-Befestigungszement Ketac™ Cem, HARVARD Zinkoxidphosphatzement und Kuraray PANA VIA F2.0 Kunststoffzement. Der Versuchsaufbau wurde in die klinische Phantomeinheit zur Simulation der Lippen und Wangen sowie der erschwerten Zugänglichkeit distal der zweiten Prämolaren eingebracht. Anschließend wurde die Implantatoberfläche durch Edelstahl Universalküretten und Scaler, sowie Implant Deplaquers Kunststoffküretten maximal 7 Minuten (Effektivität der Reinigung, Wirtschaftlichkeit) pro untersuchtem Implantat unter Verwendung einer Lupe mit 2,5x Vergrößerung von Zementresten gereinigt. Der Reinigungserfolg wurde an jeweils sechs Messstellen bewertet. Approximal mesial, approximal distal, mesiobukkal, distobukkal, mesiooral und distooral. Dieses Prozedere wurde für alle 16 Versuchsreihen mit anschließender Untersuchung der Proben auf Zementrückstände wiederholt.

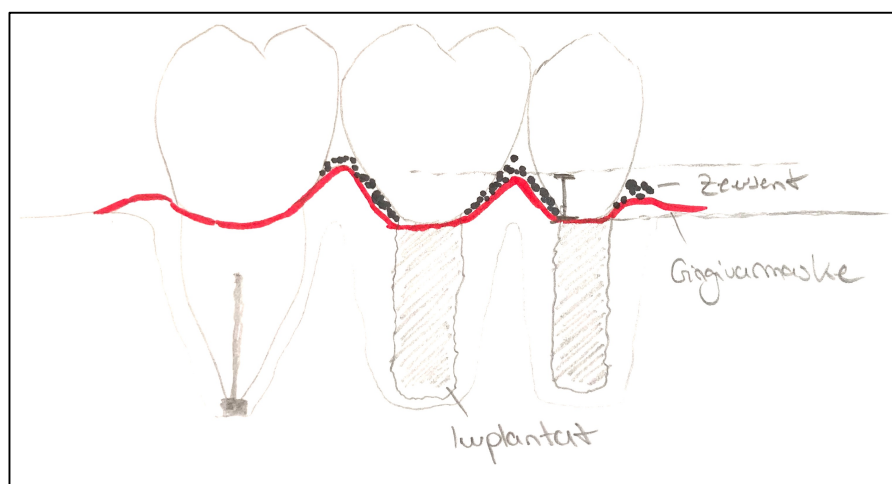


Abbildung 3 Versuchsskizze Reinigungserfolg

Es wurde ein zweiter Versuchsaufbau zur Untersuchung und Darstellung der entstehenden Oberflächenbeschädigung an den Implantaten durch die unterschiedlichen Reinigungsinstrumente im direkten Vergleich konstruiert.

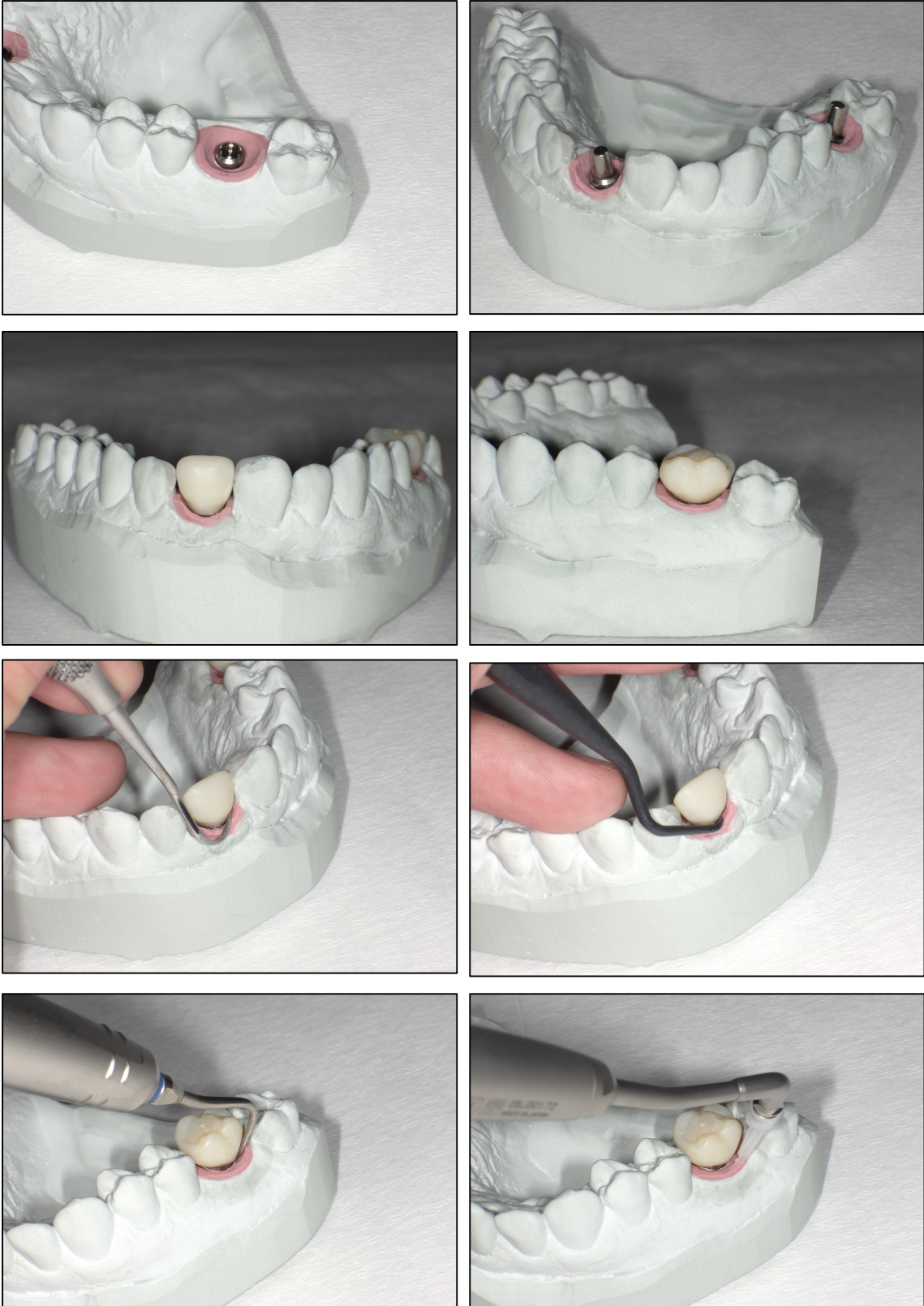


Abbildung 4 Versuchsaufbau zur Darstellung der Oberflächenbeschädigung

Abbildung 4 zeigt ein Superhartgipsmodell eines vollbezahnten Kiefers. Es wurden die Zähne 16 und 21 durch Ausfräsung entfernt. Dann wurden die Straumann Tissue-Level-Implantate hier durch Gumquick, ein flexibles Zahnfleischmaskenmaterial wie es für die K&B Technik verwendet wird, befestigt um ein natürliches Emergenzprofil um die Implantate zu erzeugen, da hier im Vergleich zu den Frasacomodellen eine vorgegebene Zahnfleischmaske fehlte. Die Abutmentschulter wurde isogingival positioniert und die Suprakonstruktionen durch Zinkoxidphosphatzement mit Überschuss befestigt. Nur in den Versuchsreihen O1 und O4 mit Pulverstrahlgerätenanwendung wurde ohne Überschuss an Zement befestigt, da dieses nicht für die Entfernung von harten Auflagerungen, sondern nur von weichen Belägen in der Prophylaxe geeignet ist. Anschließend wurden die Zementüberschüsse entsprechend dem jeweiligen Reinigungsprotokoll mit Hu-Friedy Edelstahlküretten und Scalern, Kerr Dental Implant Deplaquers Kunststoffküretten oder mittels Cumdente US-Scaler von der Implantatoberfläche entfernt. In den Versuchsreihen O1 und O4 wurde die Implantatoberfläche lediglich durch das PerioMate Airflowgerät mit Glycinpulver abgestrahlt. Anschließend wurden die Proben auf die entstandenen Oberflächenbeschädigungen durch den Reinigungsvorgang mit bildgebenden Verfahren unter Anwendung eines Lichtmikroskops und eines Rasterelektronenmikroskops untersucht. Eine Integration des Modells in eine Phantomeinheit zur Simulation der Lippen und Wangen sowie der erschwerten Zugänglichkeit distal der zweiten Prämolaren wie im Versuchsaufbau zum Reinigungserfolg wurde hier vernachlässigt, da primär der Vergleich der Oberflächenbeschädigung der Implantate Gegenstand dieser Serie war.

## **4.2 Materialien**

Es wurden Straumann Standard Plus Demo-Implantate Ø4,1mm RN Titan Grad 4, sowie Solid Demo-Abutments 6° Titan Grad 4 verwendet. Ein Frasaco AG-3 Arbeitsmodell-Permanentgebiss mit Basis aus hartem, verzugsfreiem Kunststoff, Ober- und Unterkiefer mit stabiler Interkuspitation, inklusive Buchse zum Einschrauben in Frasaco-Phantomköpfe, eine weiche Zahnfleischmaske für die Anwendung von Präparationsinstrumenten und Scalern, eine Gesichtsmaske für Frasacomodelle zur Nachahmung der Wangen und Lippenstrukturen, und ein Frasaco AG-3 Z Zahn-Satz mit 32 gnathologisch geformten Frasaco-Zähnen mit Schrauben wurde als Basis für den Versuchsaufbau herangezogen. Eine klinische Phantomeinheit wurde zur möglichst realistischen Nachahmung der Zugänglichkeit am Patienten verwendet. Fest aushärtendes rotes Modellierwachs diente der Befestigung der Implantate im Frasacomodell. Omnident Silikon Knetmasse mit sehr hoher Endhärte zum zahntechnischen Einsatzzweck (z. B. für Vorbisswälle, Negativformen für Provisorien), knetbar unter Anwendung einer Härterpaste

und 3M ESPE Provisorien Kunststoff Protemp™ 4 BIS-Acrylat-Composite mit neuer Generation hochentwickelter Nanofüller. Als Befestigungswerkstoffe kamen 3M ESPE Glasionomer-Befestigungszement Ketac™ Cem, HARVARD Zinkoxidphosphatzement normal härtend und Kuraray PANA VIA F2.0 Complete Kit Resin-Zement. Für die Reinigung wurden zahnärztliche Mundspiegel, eine Pinzette, Hu-Friedy Scaler gewinkelt SM 236, Hu-Friedy Scaler gewinkelt CVW/8, Hu-Friedy Universalkürette SC2R/2L6, Hu-Friedy Universalkürette SC4R/4L6, Kerr Dental Implant Deplaquers Kunststoffküretten. Diese bestehen aus einem kohlefaserverstärktem Spezialkunststoff und sind somit metallfrei. Sie versprechen dennoch ausreichende Festigkeit für effizientes Entfernen von Zementresten bei minimalen Zerkratzen von Implantatoberflächen. Desweiteren fanden ein Zementanmischspatel, ein Heidemannspatel, ein Komet Fräsen set, eine Lupenbrille der Firma Orascoptic mit 2,5x Vergrößerung, ein VHX-5000 Digital Mikroskop Multiscan Keyence Corporation, sowie ein Cam Scan Maxim MKS Instruments Rasterelektronenmikroskop mit Bruker Nano X-Flash Detektor 6/30 Anwendung. Im Versuchsaufbau zur Oberflächenbeschädigung wurde zusätzlich zur Befestigung und Simulation der gingivalen Verhältnisse das flexibles Zahnfleischmaskenmaterial Drewe Gumquick eingesetzt. Desweiteren wurden für die Reinigung der Implantatoberfläche zusätzlich ein Ultrasonic Air-Scaler Micron SSS der Firma Cumdente mit P1 Paro-Kürettensatz für subgingivale Bereiche sowie der Pulverstrahler PerioMate der Firma NSK mit PerioMate Glycinpulver zur subgingivalen Reinigung verwendet.

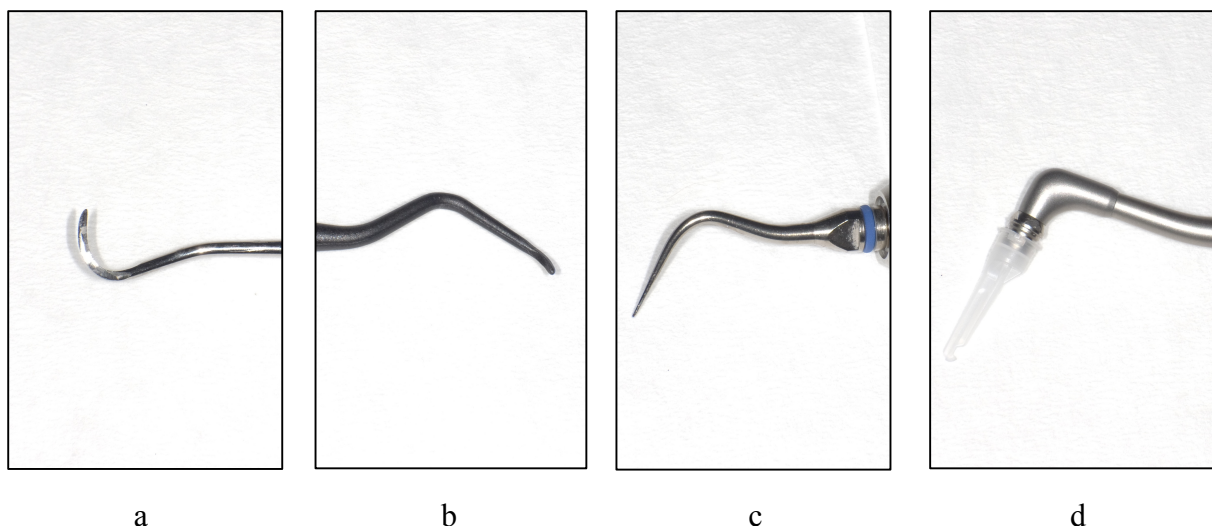


Abbildung 5 a Scaler, b Implant Deplaquer, c Micron Air-Scaler, d Pulverstrahler

Abbildung 5 zeigt die verwendeten Reinigungsinstrumente in den Versuchsreihen. Von links nach rechts sind zu sehen: Hu-Friedy Scaler H6/H7, Kerr Dental implant Deplaquer

Kunststoffkürette, Cumdente Micron Air-Scaler, PerioMate Pulverstrahler mit Plastikaufsatz für subgingivale Anwendung. Der Micron Air-Scaler wurde speziell für die subgingivale Reinigung bei PA-Therapie entwickelt und zeichnet sich durch eine rundum aktive, elliptische Schwingungscharakteristik für ergonomisches und einfaches Arbeiten aus. Dieser und der PerioMate Pulverstrahler wurden experimentell und als Ausblick für weitere Studien mit in die Untersuchung einbezogen.

### **4.3 Methoden**

#### **4.3.1 Negativform und Implantatbefestigung**

Mit Hilfe der Omnident Silikon Knetmasse wurden von den jeweils für die Implantatposition entsprechenden Frasacozähnen Negativformen hergestellt, um somit eine morphologisch korrekt geformte Zahnkrone für das Abutment konstruieren zu können. Die Straumann Implantate wurden durch hartes Modellierwachs in den Alveolen der Frasacomodelle, bzw. durch Gumquick Zahnfleischmaskenmaterial im Superhartgipsmodell befestigt. So konnte gesichert werden, dass die Abutmentschulter auf der gewünschten Höhe für die jeweilige Versuchsreihe zum Liegen kommt und ein naturnahes Zahnfleischprofil entsteht.

#### **4.3.2 Herstellung der Zahnkronen**

Die hergestellten Negativformen wurden auf ihren Sitz kontrolliert, mit Protemp<sup>TM</sup> Kunststoff aufgefüllt und über die Implantatabutments gestülpt. Wenn das Material eine gelartige Konsistenz erreicht hatte, wurde die Negativform entfernt und die Kunststoffkronen von den Implantaten abgehelt. Nach Abbindung des Kunststoffes wurden Überschüsse mit Kunststofffräsen entfernt und die Zahnkrone in die morphologisch korrekte Form geschliffen. Hierbei wurde unter Verwendung einer Lupenbrille penibel auf die Gestaltung der Kronenränder am Übergang zur Abutmentschulter geachtet, um einen möglichst guten Randschluss zu erreichen. Die Zahnkronen wurden daraufhin mit feineren Schleifinstrumenten weiterbearbeitet und der Sitz auf dem Implantat nochmals kontrolliert.

#### **4.3.3 Zementierung**

Für die jeweiligen Versuchsreihen wurden die drei verschiedenen Zementarten 3M ESPE Glasionomer-Befestigungszement Ketac<sup>TM</sup> Cem, HARVARD Zinkoxidphosphatzement (normal härtend) und Kuraray PANAVIA F2.0 Resin-Zement entsprechend den vorgeschriebenen Anwendungsrichtlinien verwendet und die Zahnkronen mit Überschuss zementiert. Alle inneren

Oberflächen der Suprakonstruktionen wurden mit Zement bestrichen. Siehe zu den Versuchsreihen folgende Tabelle 1.

Versuchsreihe	Position regio	Zementart	Kronenrandlage vest.	Instrument
R 1	16, 15, 14	GIZ	iso (+- 0 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 2	16, 15, 14	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 3	16, 15, 14	ZPZ	supra (+ 1 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 4	26, 25, 24	GIZ	sub (- 1 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 5	26, 25, 24	ZPZ	sub (- 1 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 6	26, 25, 24	ZPZ	supra (+ 1 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 7	23, 21	GIZ	iso (+- 0 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 8	23, 21	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 9	23, 21	Resin	sub (- 1 mm)	Implant Deplaquers
R 10	13, 21	GIZ	iso (+- 0 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 11	13, 21	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 12	13, 21	Resin	iso (+- 0 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 13	16, 26, 21	GIZ	iso/sub (0, -1 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 14	16, 26, 21	ZPZ	iso/sub (0, -1 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 15	16, 26, 21	Resin	sub (- 1 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
R 16	26, 25, 14	Resin	sub (-1 mm)	Implant Deplaquers

Versuchsreihe	Position regio	Zementart	Kronenrandlage vest.	Instrument
O 1	21	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
O 2	21	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Implant Deplaquers
O 3	21	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Cumdente US
O 4	21	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Airflow
O 5	16	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Hu-Friedy Edelstahl
O 6	16	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Implant Deplaquers
O 7	16	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Cumdente US
O 8	16	ZPZ	iso (+- 0 mm)	Airflow

Tabelle 1 Versuchsreihenaufbau

Versuchsreihennummer Reinigungserfolg (R), Versuchsreihennummer Oberflächenbeschädigung (O), Glasionomermzement (GIZ), Zinkoxidphosphatzement (ZPZ), adhäsiver Zement (Resin), iso-/sub-/supragingival

#### 4.3.4 Kürettage der Implantate

Zur Reinigung wurden die Modelle in den Phantomkopf samt Gesichtsmaske montiert, um kliniknahe Umstände und eine damit einhergehende eingeschränkte Zugänglichkeit und Sicht distal der zweiten Prämolaren zu simulieren. Unter Zuhilfenahme einer Lupenbrille mit 2,5-facher Vergrößerung wurde jedes Implantat maximal sieben Minuten (Effektivität der Reinigung, Wirtschaftlichkeit) gereinigt. Die Bearbeitung der Implantate in den Versuchsreihen O1 bis O8 erfolgte außerhalb der Phantomeinheit.

#### 4.3.5 Bewertung des Reinigungserfolgs

Nach durchgeführter Reinigung wurden die Implantate samt Krone aus der Alveole entfernt, von Wachsresten befreit und gesäubert. Jedes Implantat wurde jeweils approximal mesial und distal, mesiobukkal und distobukkal, sowie mesiooral und distooral unter Verwendung einer Lupenbrille mit 2,5-facher Vergrößerung untersucht. Der Grad des Zementrückstandes wurde nach der folgenden Bewertungseinteilung analysiert:

#### NOTE BESCHREIBUNG

NOTE	BESCHREIBUNG
1	Keinerlei Rückstände (vollständige Reinigung)
2	Einzelne Rückstände mit Durchmesser < 0,5 mm
3	Einzelne Rückstände mit Durchmesser 0,5 mm < x < 1,5 mm
4	Einzelne Rückstände mit Durchmesser > 1,5 mm
5	Vermehrte Rückstände > 1,5 mm (ungenügende Reinigung)
6	Keinerlei Entfernung von Rückständen (inakzeptable Reinigung)

Tabelle 2 Einteilung der Bewertungskriterien

Um aus den Einzelmesswerten (Vergleiche hierzu Tabelle 5 im Anhang) bessere Rückschlüsse zu ziehen und die Parameter zu vergleichen wurden nachstehende Konfigurationen erstellt:

*Konfiguration A* Versuchsreihen mit ZPZ, supra, Edelstahlkürette

*Konfiguration B* Versuchsreihen mit Resinzement, sub, Implant Deplaquers

*Konfiguration C* Versuchsreihen mit subgingivaler Kronenrandlage

*Konfiguration D* Versuchsreihen mit iso- und supragingivaler Kronenrandlage

*Konfiguration E* Versuchsreihen mit Glasionomerezement (GIZ)

*Konfiguration F* Versuchsreihen mit Zinkoxidphosphatzement (ZPZ)

*Konfiguration G* Versuchsreihen mit Resinzement (Resin)



Berücksichtigt wurden die Kriterien Kronenrandlage, verschiedene Reinigungsinstrumente, Art des Zementes sowie erschwerte Zugänglichkeit und suboptimale Sicht im Seitenzahnbereich.

Als Nullhypothese wurde das Folgende angenommen:

*Die gründlichste Entfernung von Zementresten an Implantaten wird bei sichtbarer Lage der Abutmentschulter, Befestigung der Suprakonstruktion durch Zinkoxidphosphatzement und Reinigung durch Edelmetallinstrumente erreicht.*

#### **4.3.6 Statistisches Verfahren**

Zur statistisch-mathematischen Analyse der Messwerte wurde ein Hypothesentest mit t-verteilter Testprüfgröße verwendet. Spezifisch wurde hier der Zweistichproben-t-Test (two-sample t-test) genutzt, um anhand der Mittelwerte zweier unabhängiger Stichproben zu prüfen, wie sich die Werte zweier Grundgesamtheiten zueinander verhalten und ob signifikante Unterschiede der Versuchsreihenergebnisse zur gestellten Nullhypothese vorliegen. Das p-Niveau wurde auf  $\alpha = 0,05$  gesetzt.

#### **4.3.7 Licht- und Rasterelektronenmikroskopie**

Um das Ausmaß der Beschädigung an den Implantatoberflächen beurteilen zu können, wurden die Proben aus den Versuchsreihen O1 bis O8 mit dem Lichtmikroskop (*VHX-5000 Digital Mikroskop Multiscan Keyence Corporation*) sowie mit dem Rasterelektronenmikroskop, kurz REM (*Cam Scan Maxim MKS Instruments Rasterelektronenmikroskop mit Bruker Nano X-Flash Detektor 6/30*) unter Anwendung von 15kV mit einem Probenabstand von 27 mm untersucht. SEI-Aufnahmen (engl.: secondary electrons image) und BEI-Aufnahmen (engl.: backscattered electrons image) wurden erstellt.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Auswertung der Datensätze

Untersucht wurden über 16 Versuchsreihen hinweg insgesamt 42 Implantate. Bei jedem Implantat wiederum wurden sechs Messstellen bewertet. Approximal mesial, approximal distal, mesiobukkal, distobukkal, mesiooral und distooral. Daraus ergeben sich insgesamt 252 bewertete Bereiche (Siehe Tabelle 5 im Anhang).

	Konfig. A	Konfig. B	Konfig. C	Konfig. D	Konfig. E	Konfig. F	Konfig. G
appr. mesial	1,833	3,200	2,938	2,423	3,077	2,158	2,900
appr. distal	1,833	2,800	3,063	2,385	3,154	2,211	2,800
mesiobukkal	1,000	1,800	1,813	1,385	1,769	1,211	1,800
distobukkal	1,000	1,800	1,750	1,385	1,769	1,211	1,800
mesiooral	1,000	2,600	2,125	1,731	2,308	1,368	2,300
distooral	1,000	2,400	2,250	1,846	2,615	1,474	2,200
<i>Durchschnitt</i>	<i>1,278</i>	<i>2,433</i>	<i>2,323</i>	<i>1,859</i>	<i>2,449</i>	<i>1,605</i>	<i>2,300</i>

Tabelle 3 Errechnete Durchschnittswerte der Konfigurationen A bis G

Im Folgenden wird anhand von zwei Beispielen die Berechnung der Durchschnittswerte in Tabelle 3 veranschaulicht:

Der Wert 1,833 für die approximal mesiale Fläche der Konfiguration A (Versuchsreihe 3 und 6) setzt sich als Mittelwert von 6 Bewertungsnoten zusammen. Die Summe der Einzelnoten ergibt 11. Dividiert durch die Anzahl der Proben (6) ergibt dies einen Wert von 1,833.

Der Wert 3,154 für die approximal distale Fläche der Konfiguration E (Versuchsreihe 1, 4, 7, 10 und 13) setzt sich als Mittelwert von 13 Bewertungsnoten zusammen. Die Summe der Einzelnoten ergibt 41. Dividiert durch die Anzahl der Proben (13) ergibt dies einen Wert von 3,154.

Tabelle 3 zeigt die errechneten Werte der erstellten Konfigurationen. Die Werte der Parameter links in der Spalte sind jeweils Durchschnittswerte gebildet aus allen Versuchsreihen, welche die entsprechenden Kriterien für die einzelnen Konfigurationen aufweisen. Es wird nun ein Vergleich der Parameter möglich: Konfiguration A beschreibt die Bedingungen, die nach zuvor überlegten Erwartungen die gründlichste Reinigung erlauben sollte. Eine sichtbare Kronenrandlage, die Verwendung von Zinkoxidphosphatzement und Edelstahlküretten ermöglichen die effektive Entfernung von Zementresten. Wie aus den Werten ersichtlich wird,

beschreibt Konfiguration A mit einem Mittelwert von 1,278 die niedrigste und damit beste Bewertungsnote. Im Vergleich hierzu sollte Konfiguration B mit subgingivaler Kronenrandlage, der Verwendung von Resinzement und Implant Deplaquers Kunststoffküretten die schlechteste Reinigung erlauben. Mit einem Wert von 2,433 liegt dieser deutlich über dem von Konfiguration A. Die Konfigurationen C und D wurden erstellt, um einen direkten Vergleich im Reinigungserfolg von subgingivaler zu mindestens isogingivaler Kronenrandlage zu bekommen. Der Wert von 2,323 (subgingival) verglichen mit 1,859 (mind. isogingival) zeigt eine gründlichere Reinigung bei einer sichtbaren Kronenrandlage. Die Konfigurationen E, F und G wurden erstellt, um einen Vergleich zwischen den verwendeten Zementen zu bekommen und herauszufinden, wie sich deren Anwendung auf den Reinigungserfolg auswirkt. In Konfiguration F sind alle Versuchsreihen mit einer Zementierung durch Zinkoxidphosphatzement zusammengefasst. Mit einem Wert von 1,605 erwies sich die Reinigungsfähigkeit als deutlich gründlicher im Vergleich zu Konfiguration E (GIZ) mit 2,449 und Konfiguration G (Resin) mit 2,300.

Weiter lässt sich aus der Ergebnistabelle erkennen, welche Bereiche rund um das Implantat am vollständigsten bzw. am unvollständigsten zu reinigen sind. Die über alle Konfigurationen gemittelten Bewertungen für die untersuchten Bereiche rund um ein Implantat sind wie folgt: Approximal mesial 2,647; approximal distal 2,606; mesiobukkal 1,540; distobukkal 1,531; mesiooral 1,919; distooral 1,969. Man sieht an den Werten, dass die Approximalräume größere Reinigungsbewertungen aufweisen als die bukkalen und oralen Flächen somit also mehr Zementrückständen aufweisen. Betrachtet man lediglich die Kronenrandlage unabhängig von allen anderen Parametern kommt man mit den Datensätzen zu folgenden Ergebnissen: Neun Versuchsreihen beinhalten eine mindestens isogingivale Kronenrandlage. Das sind 22 untersuchte Implantate und damit 132 Messstellen. Davon wiesen 54 Stellen eine komplette (Note 1) Reinigung auf, also in 40,9% der Fälle. Dies meistens bukkal oder oral, selten approximal. Nimmt man noch eine gute Reinigung (Note 2) dazu, kommt man auf weitere 43,2%. Insgesamt also 84,1%. Bei den Versuchsreihen mit subgingivaler Kronenrandlage sieht dies wie folgt aus: Sieben Versuchsreihen beinhalten 20 Zähne, demnach 120 Messstellen. Lediglich 19 Messstellen mit Note 1, also 15,8% (nie im Approximalraum). Im Vergleich zu obigen 40,9%. Bewertungen bis Note 2 ergaben 45,8%, insgesamt dann 61,6% gute Reinigung. Um die Ergebnisse anschaulicher darstellen zu können wurde aus den Werten der Tabelle 3 ein Säulendiagramm und ein Netzdiagramm erstellt.

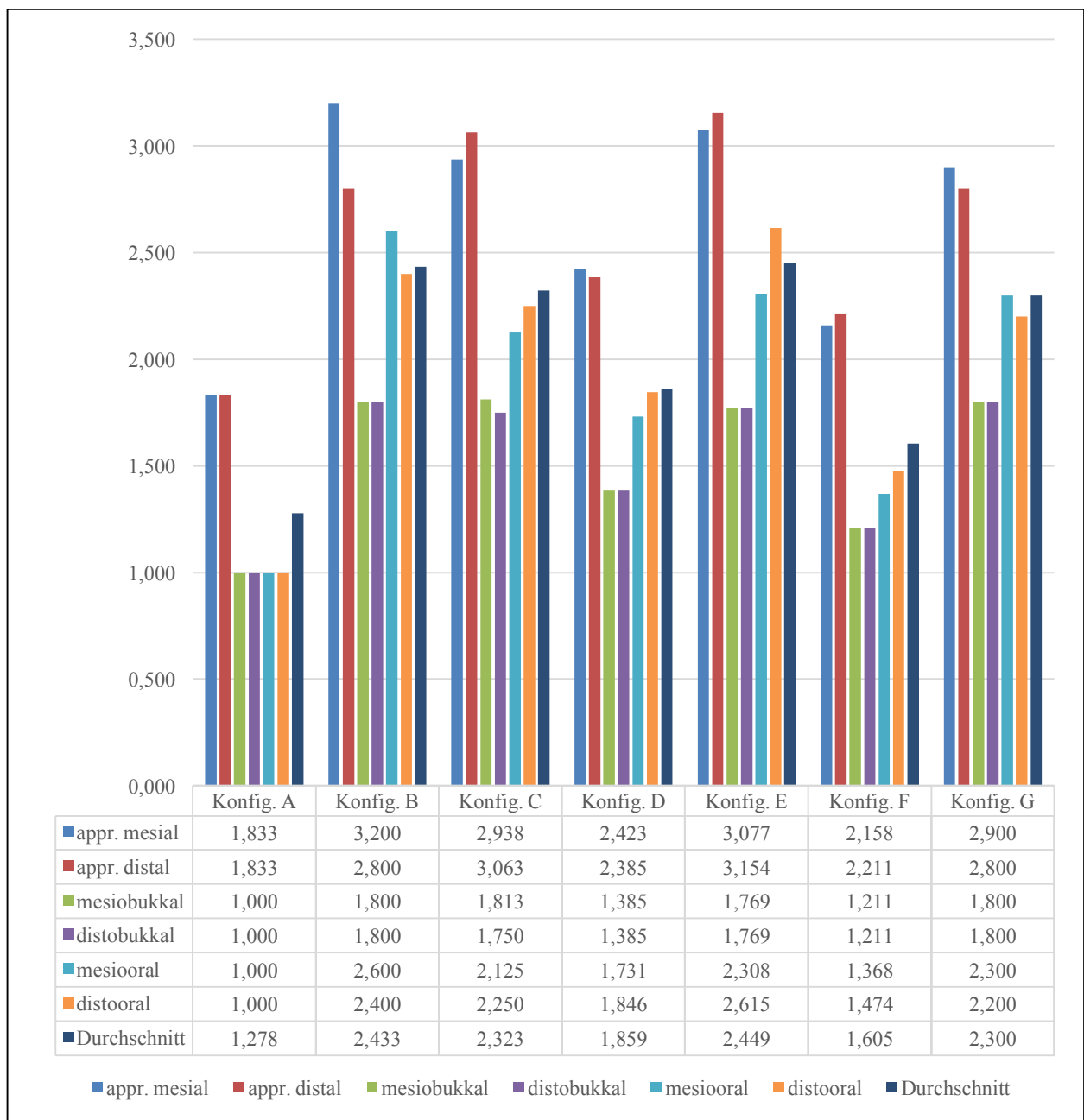


Diagramm 1 Auswertung Säulendiagramm

Auf dem Diagramm sind auf der Abszissenachse die einzelnen Untersuchungsgruppen Konfiguration A bis Konfiguration G aufgetragen. Auf der Ordinatenachse findet sich eine Skala für die Bewertungsnoten. Die sechs Messbereiche und der Durchschnittswert sind in den unterschiedlichen Strukturen dargestellt. In jeder Konfiguration lassen sich für die approximalen Flächen die größten Säulenausdehnungen finden. Diese beschreiben eine große Bewertungsnote und damit ein schlechtes Reinigungsergebnis.

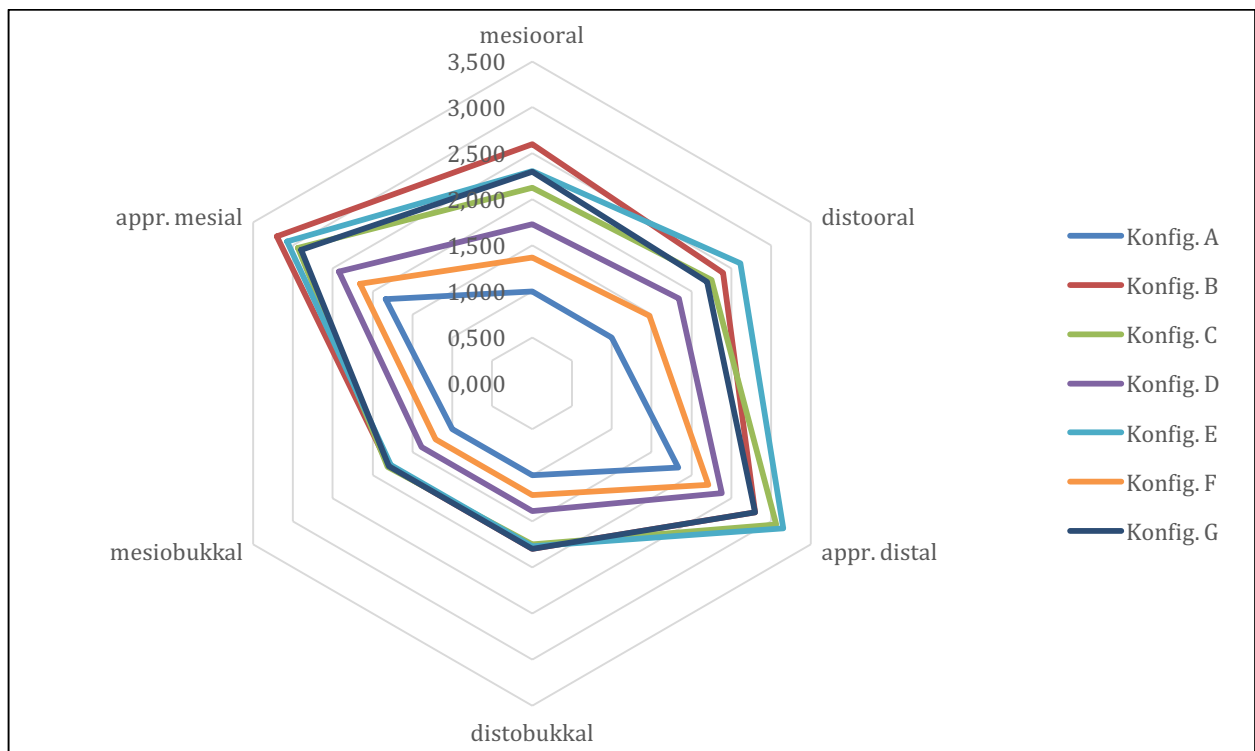


Diagramm 2 Auswertung Netzdiagramm

Um deutlicher zu veranschaulichen wie effizient die Reinigung in Abhängigkeit von der Fläche um ein Implantat ist, wurde obenstehendes Netzdiagramm erstellt. Es zeigt die sechs bewerteten Bereiche einer jeden Konfigurationsgruppe. In dem Diagramm sind nun wieder die Bewertungen dargestellt, allerdings so angeordnet, dass die Ausdehnung der einzelnen Graphen den Reinigungserfolg beschreibt. An der beigefügten Skala kann man demnach erkennen, dass eine große Ausdehnung eine schlechte (große) Bewertungsnote, also eine nicht suffiziente Reinigung bedeutet.

## 5.2 Oberflächenanalyse

Die im Folgenden dargestellten Lichtmikroskop- und REM-Aufnahmen zeigen jeweils den Implantathals. In diesem Bereich sammelt sich der Zementüberschuss und muss von dort mit Reinigungsinstrumenten entfernt werden.

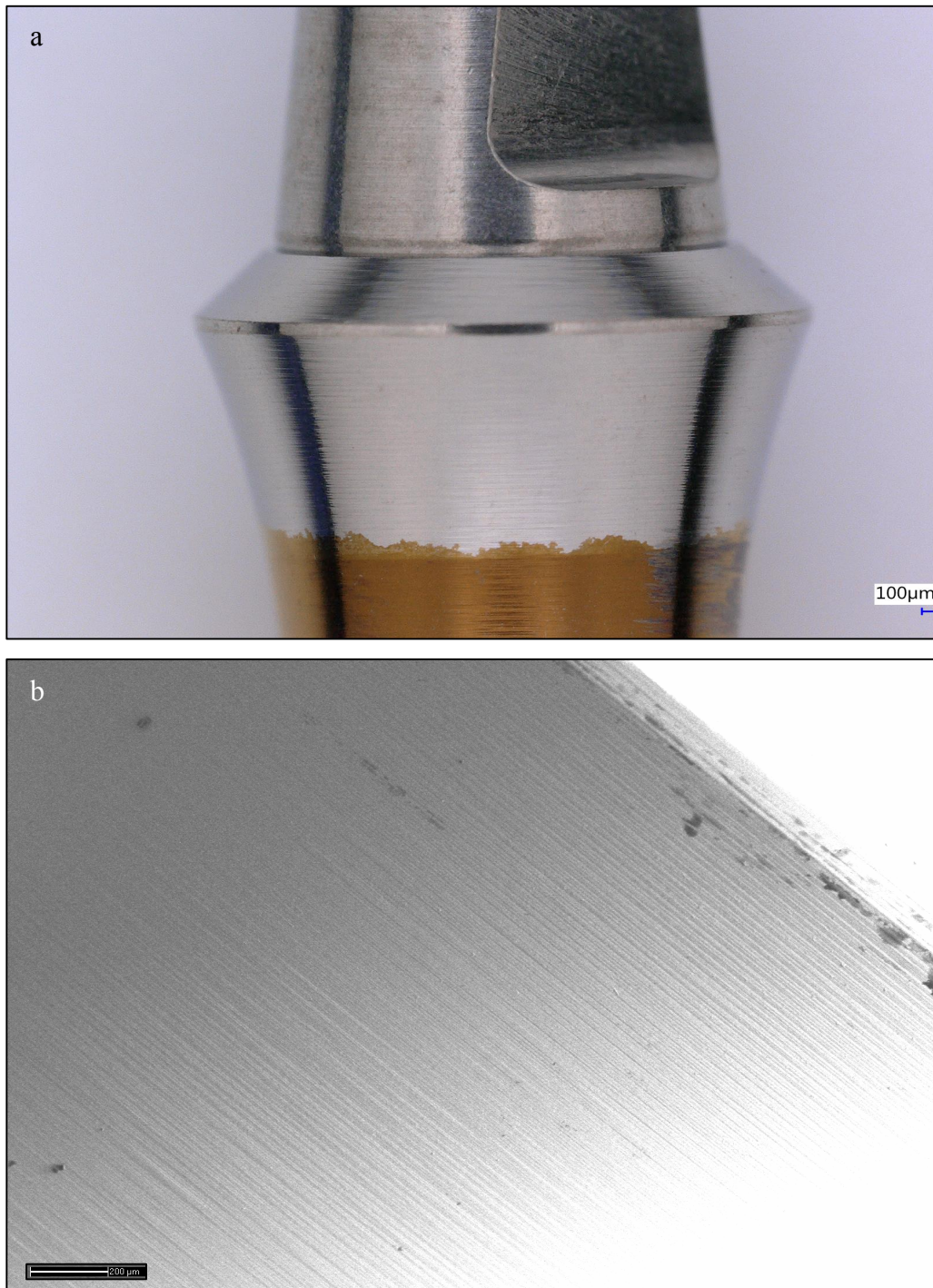


Abbildung 6 a unbehandeltes Implantat Keyence-Aufnahme, b REM-Aufnahme BEI

Abbildung 6 zeigt oben eine Lichtmikroskop- und unten eine REM-Aufnahme eines unbehandelten Implantats. Diese Bilder dienen als Ausgangsbilder zum deutlichen Vergleich der entstehenden Oberflächenschäden durch die verschiedenen Reinigungsinstrumente. Zu erkennen sind horizontal verlaufenden Linien. Hierbei handelt es sich um dünne Furchen, welche dem Herstellungsprozess der Implantate geschuldet sind.



Abbildung 7 a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O1, Keyence, 100X,  
Bearbeitung mit Edelstahlkürette

Zu sehen sind Aufnahmen der Implantatoberfläche aus der Versuchsreihe O1. Im oberen Bild ist die bukkale Fläche, im unteren die approximale Fläche dargestellt. Deutlich zu erkennen sind die entstandenen Beschädigungen durch die Reinigung mit Edelstahlküretten. Kratzer mit einer Breite von ca. 100  $\mu\text{m}$  überziehen den Implantathals. Die approximale Fläche scheint stärker beschädigt als die bukkale.

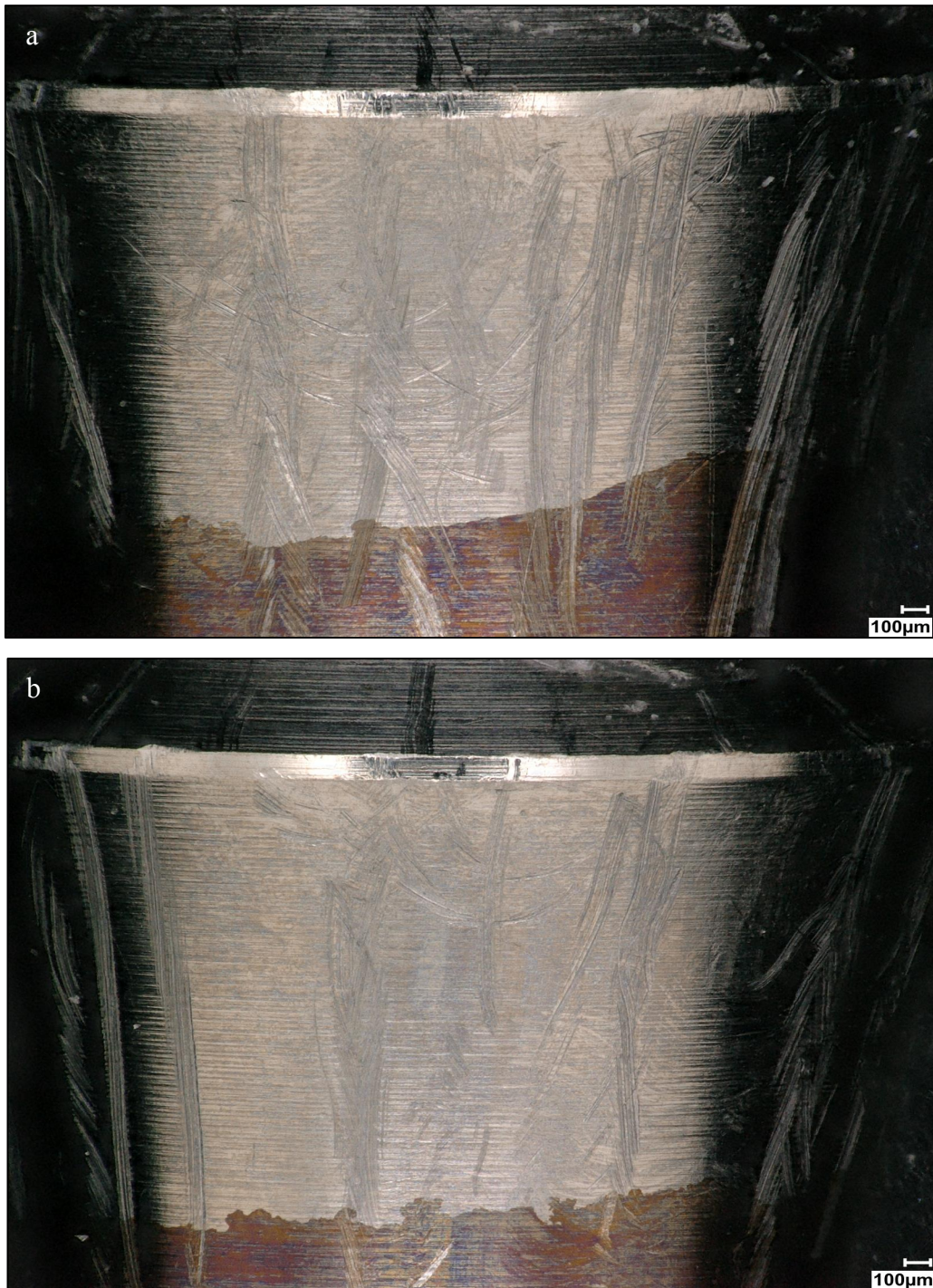


Abbildung 8 a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O5, Keyence, 100X,  
Bearbeitung mit Edelstahlkürette

Abgebildet sind Aufnahmen der Implantatoberfläche aus der Versuchsreihe O5. Wieder sind oben im Bild die bukkale und unten im Bild die approximale Fläche des Implantathals mit den entstandenen Oberflächenschäden zu erkennen. Die Beschädigung scheint hier im Vergleich zu O1 noch ausgeprägter zu sein. Es lässt sich schon von einer mehr als deutlichen Veränderung der Titanoberfläche sprechen. Nur wenige Areale sind unberührt.



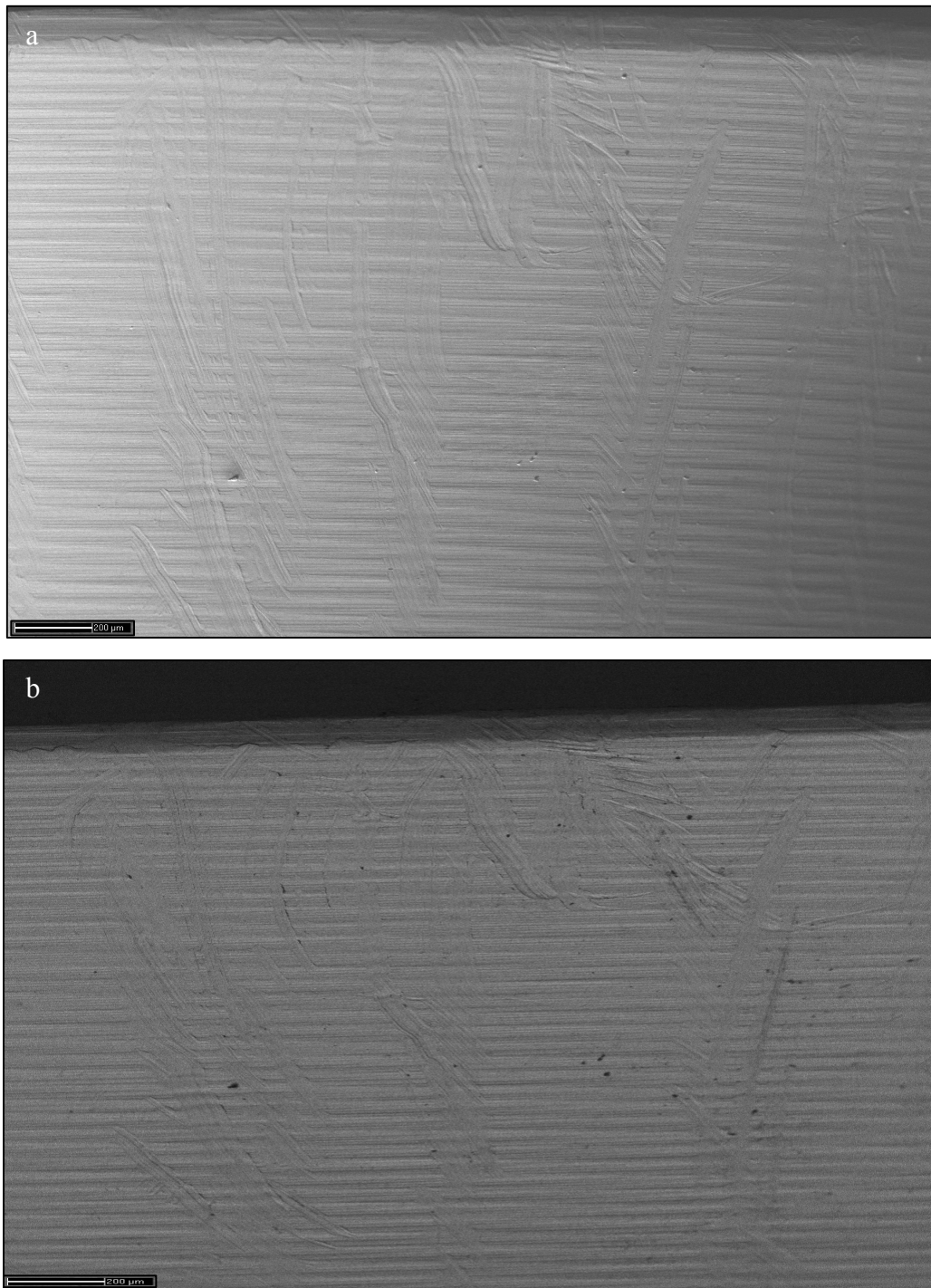


Abbildung 9 a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O1, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O5, 50X

Gezeigt sind Elektronenmikroskopaufnahmen aus den Versuchsreihen O1 und O5. Oben ist eine SEI-Aufnahme dargestellt, unten eine BEI-Aufnahme. Die Kratzer sind deutlich zu erkennen. Eine Veränderung der Implantatoberfläche hat offensichtlich stattgefunden. In den Aufnahmen sind horizontal verlaufende Linien zu erkennen. Hierbei handelt es sich um Furchen, welche durch den Fertigungsprozess der Implantate entstehen. Vergleiche hierzu die Abbildung eines unbehandelten Implantats.

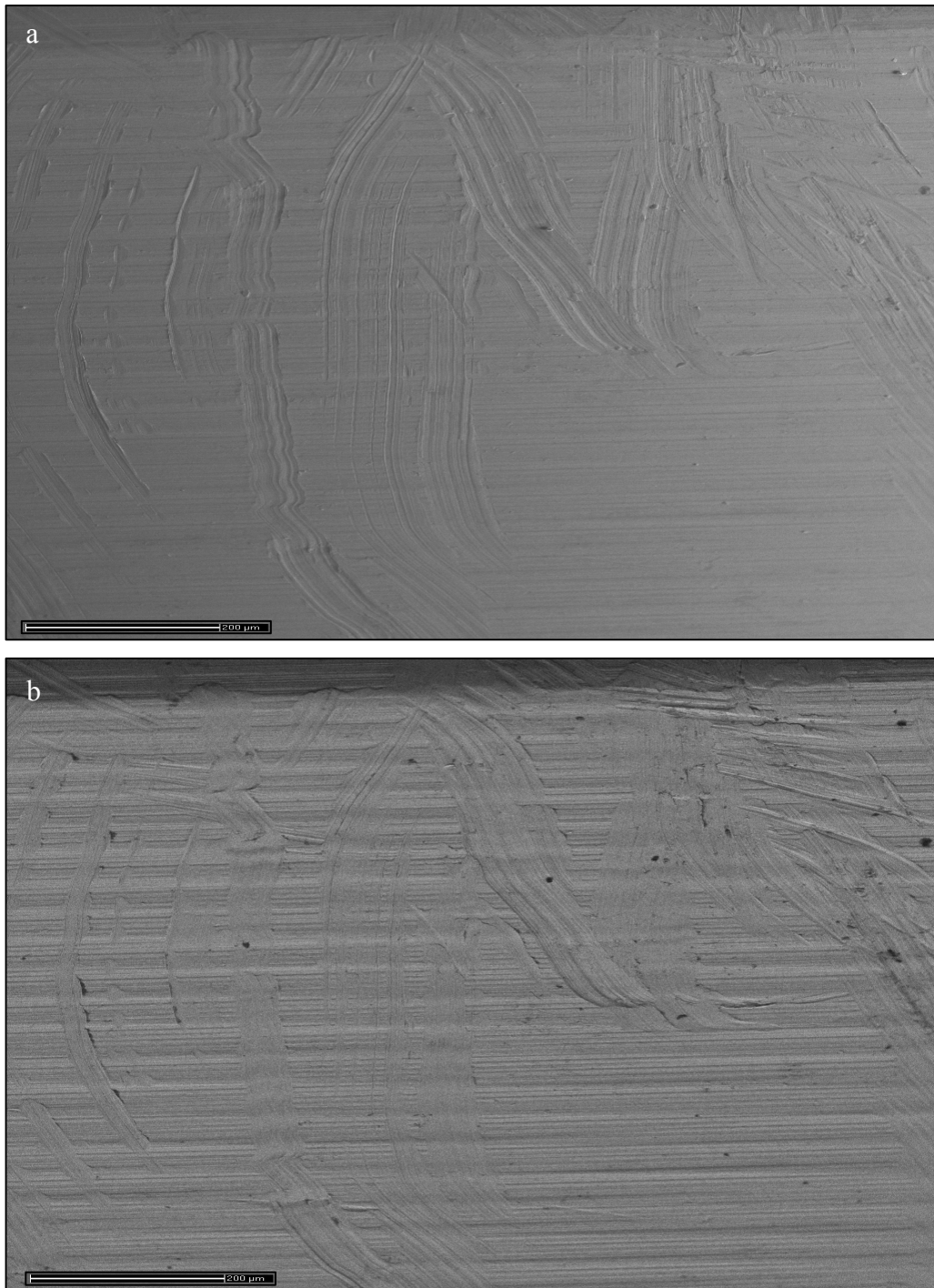


Abbildung 10 a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O1, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O5, 100X

Dargestellt sind hier oben eine SEI- und unten eine BEI-Aufnahme mit 100-facher Vergrößerung von Kratzern auf der Implantatoberfläche. Die Breiten bewegen sich zwischen ca. 20 µm und 100 µm. Deutlicher sind hier die horizontal verlaufenden Furchen zu erkennen. Hierbei handelt sich um keine iatrogen verursachten Schäden, sondern um die Oberflächenstruktur nach dem Fertigungsprozess.

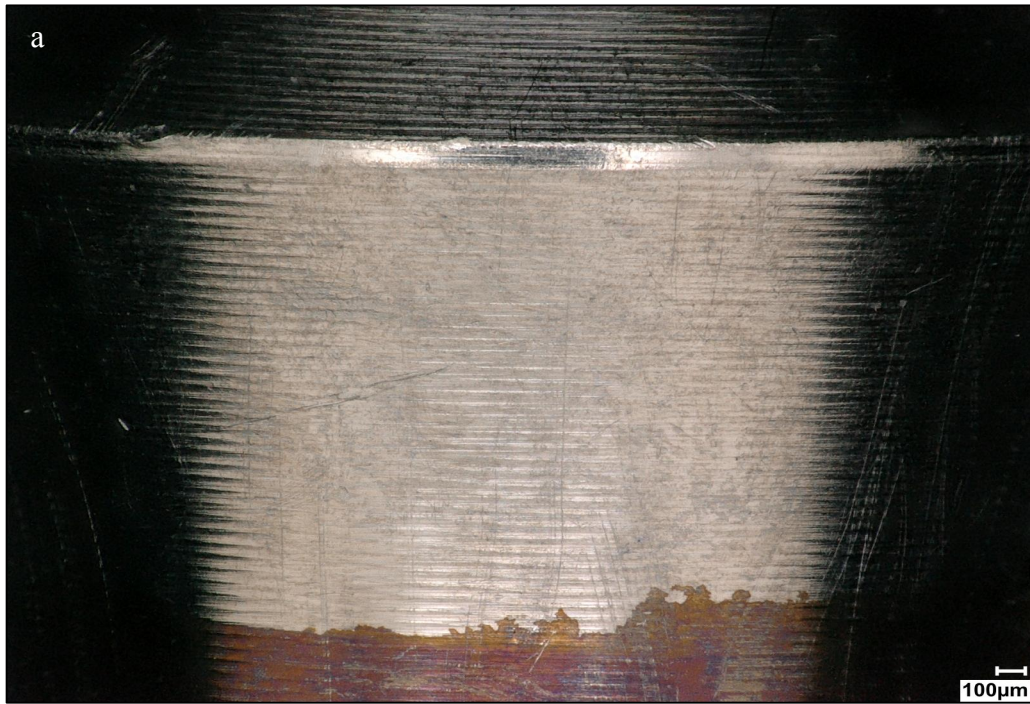


Abbildung 11 a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O2, Keyence, 100X,  
Bearbeitung mit Implant Deplaquers

In der Versuchsreihe O2 wurden die Implant Deplaquers Kunststoffküretten für die Reinigung eines Implantats im Frontzahnbereich verwendet. Weder auf der oben gezeigten bukkalen, noch auf der unten dargestellten approximalen Aufnahmen sind große Oberflächenbeschädigungen zu erkennen. Vereinzelt kleine Kratzer sind dennoch auszumachen. Man kann hier jedoch von einer größtenteils intakten Implantatoberfläche sprechen.

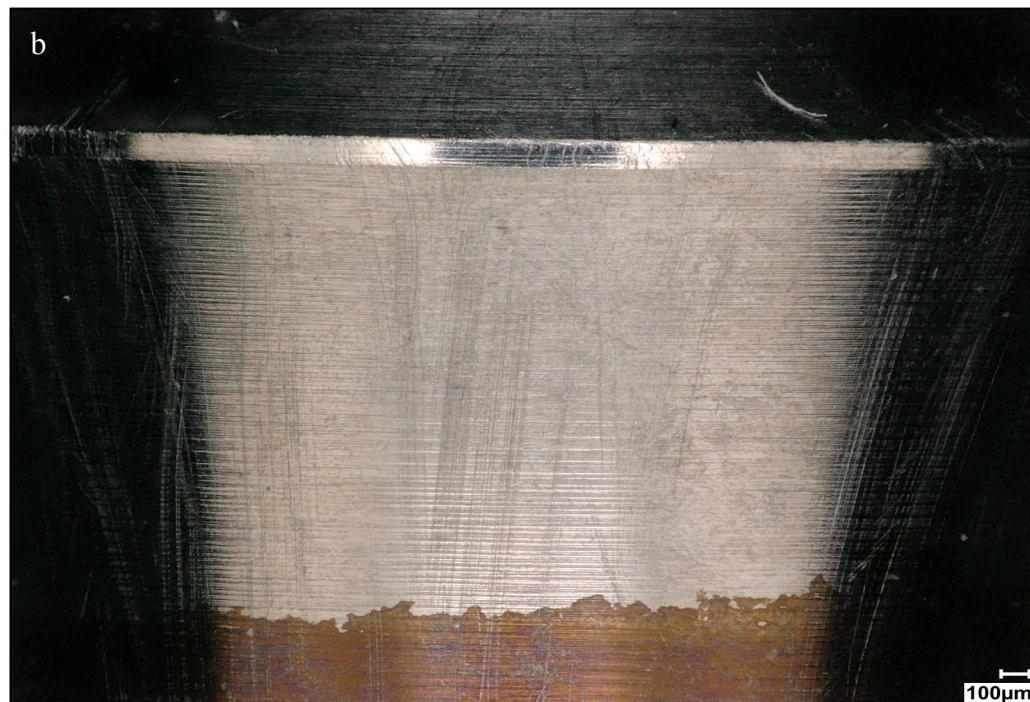


Abbildung 12 a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O6, Keyence, 100X,  
Bearbeitung mit Implant Deplaquers

Auch die Aufnahmen zur Versuchsreihe O6 mit einer Behandlung durch Implant Deplaquers Kunststoffküretten im Seitenzahnbereich zeigen eine relativ intakte Oberfläche. Im Vergleich zu O2 sind jedoch mehr Kratzer zu erkennen. Mit einer Breite von ca. 5 bis 10 µm sind diese jedoch dünner als auf den Proben der Versuchsreihen O1 und O5.

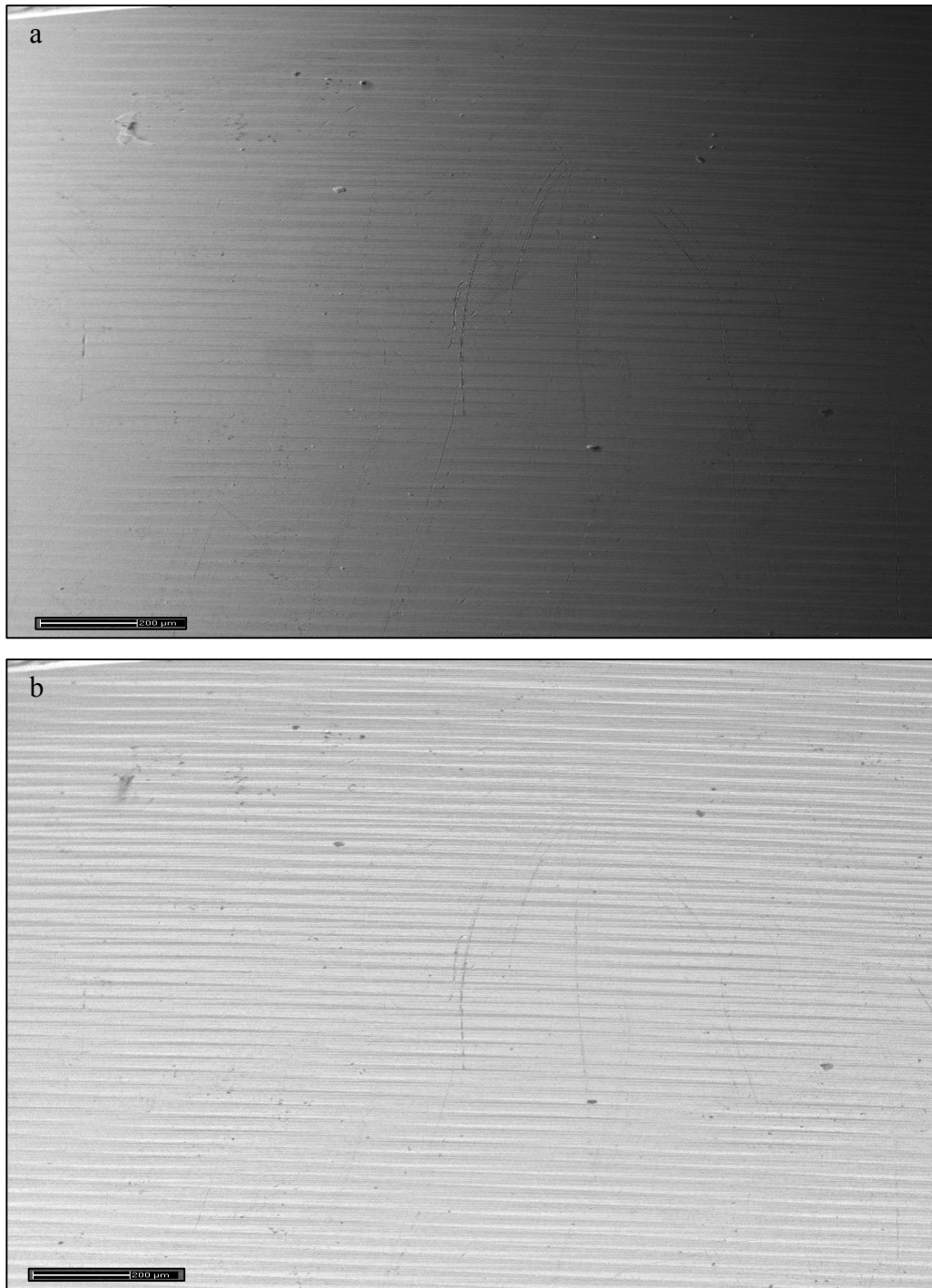


Abbildung 13 a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O2, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O6, 50X

Die Implantatoberfläche weist kaum Beschädigungen auf. Lediglich einzelne Kratzer sind zu erkennen. Diese zeigen sich mit einer Breite von ca. 5  $\mu\text{m}$  als deutlich kleiner im Vergleich zu den Kratzern auf den Proben in Abbildung 8 und 9. Wieder zu erkennen sind die horizontal verlaufenden Furchen.

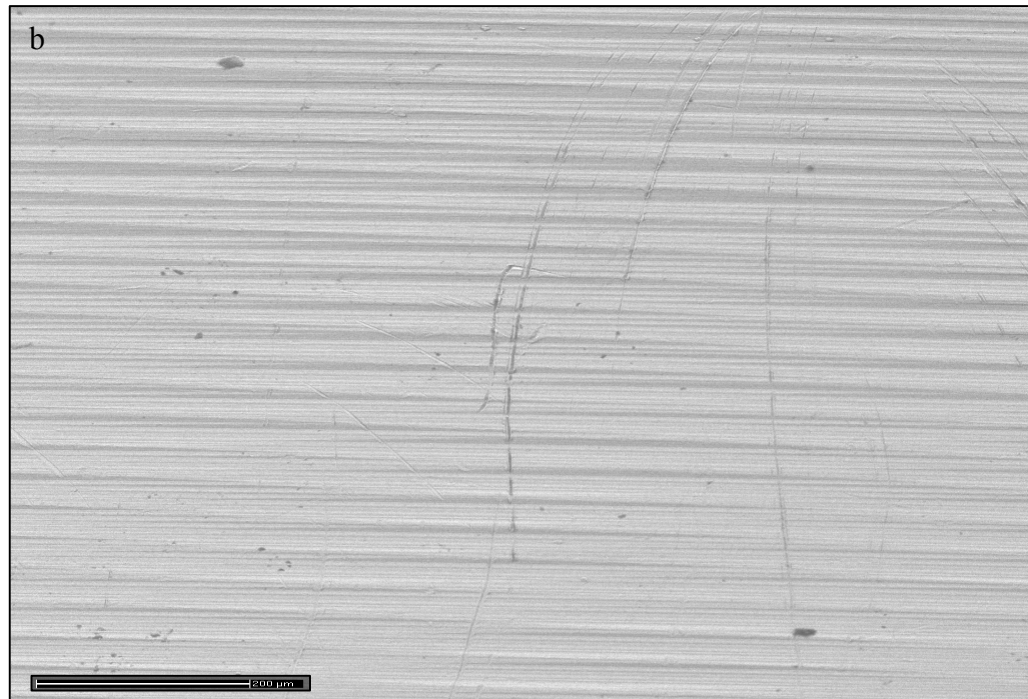
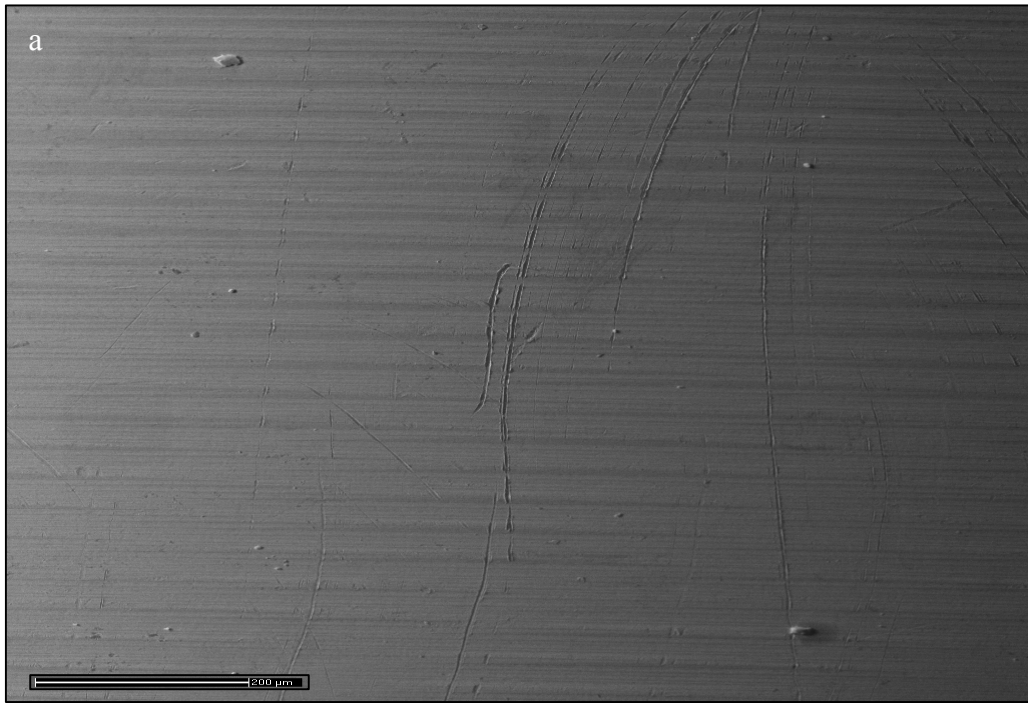


Abbildung 14 a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O2, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O6, 100X

Mit 100-facher Vergrößerung lassen sich die entstandenen Kratzer noch besser erkennen. Diese sind zwar klein, jedoch eindeutig nachweisbar.

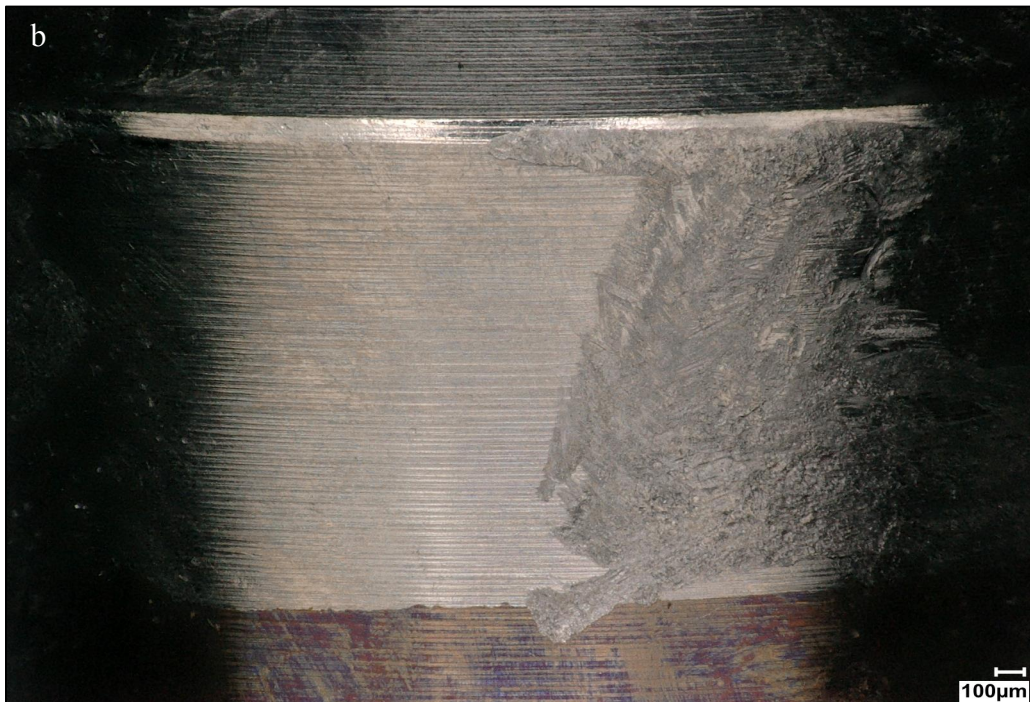
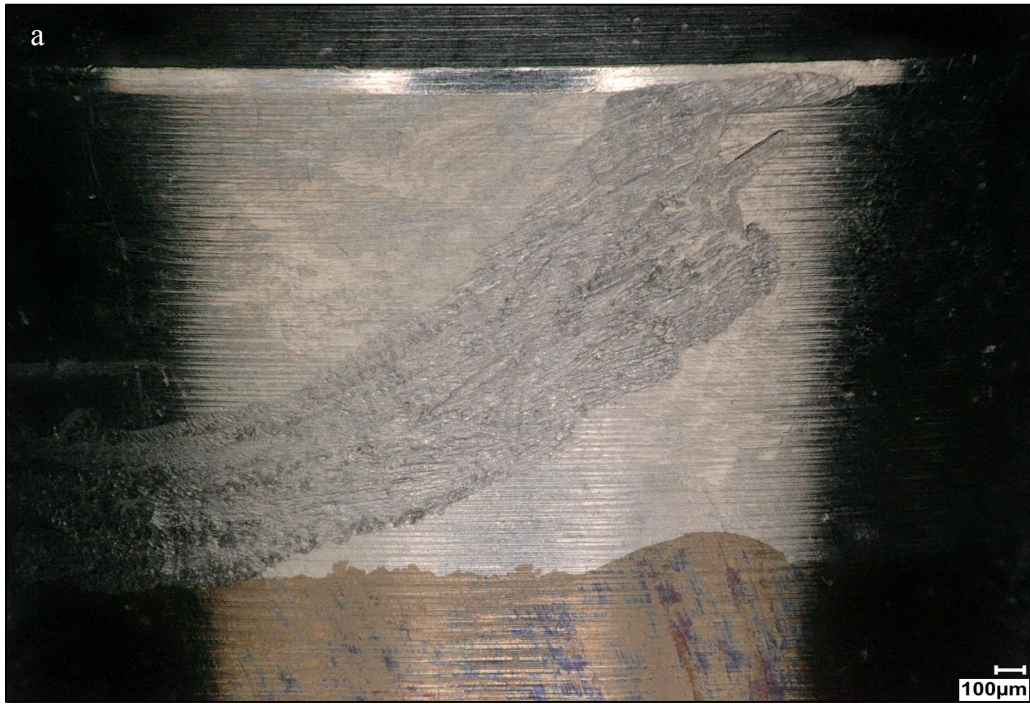


Abbildung 15 a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O3, Keyence, 100X, Bearbeitung mit Cumdente US-Scaler

Diese Abbildungen zeigen die bukkale und approximale Fläche der Probe aus der Versuchsreihe O3. Die Oberflächenbeschädigung durch den verwendeten Cumdente Ultrasonic Scaler ist massiv. In den touchierten Bereichen ist eine intakte und glatte Implantatoberfläche nicht mehr zu erkennen. Ausgeprägte Riefen, Krater und Furchen durchziehen den Bereich.

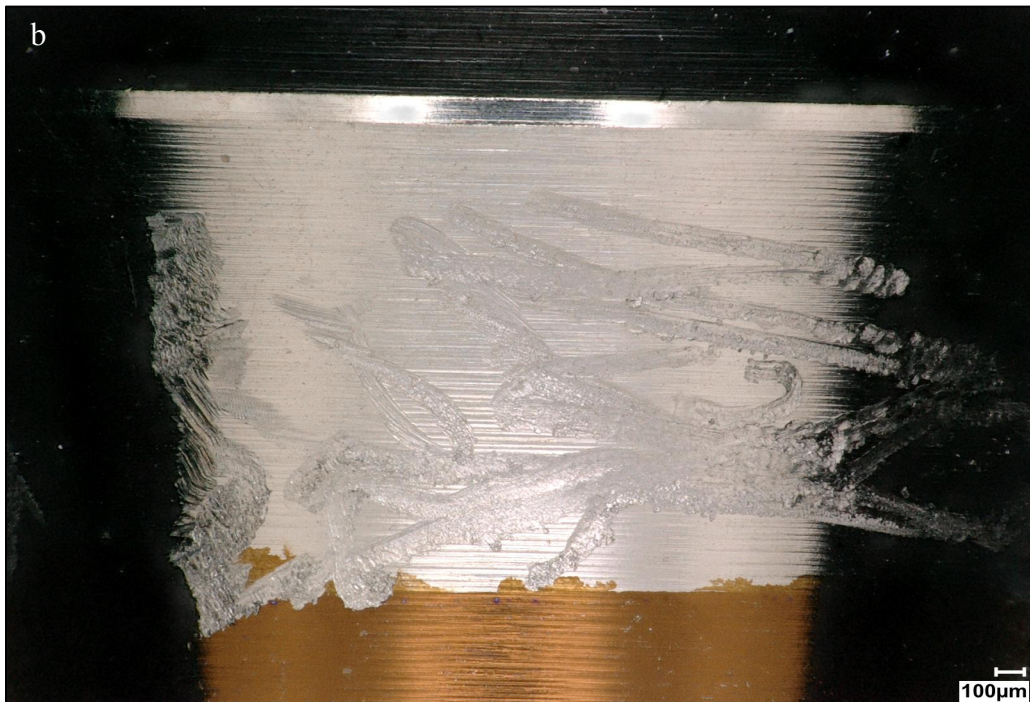
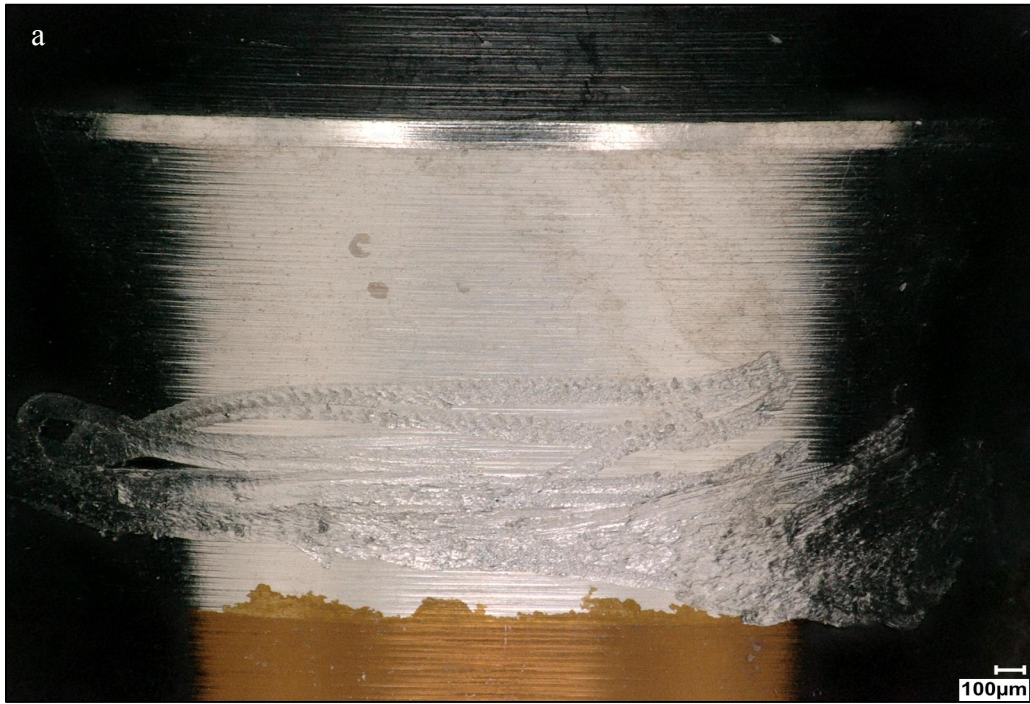


Abbildung 16 a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O7, Keyence, 100X,  
Bearbeitung mit Cumdente US-Scaler

Auch die bukkale und approximale Fläche der Probe aus der Versuchsreihe O7 weist ein ähnlich zerstörerisches Ausmaß der Oberflächenbeschädigung auf.



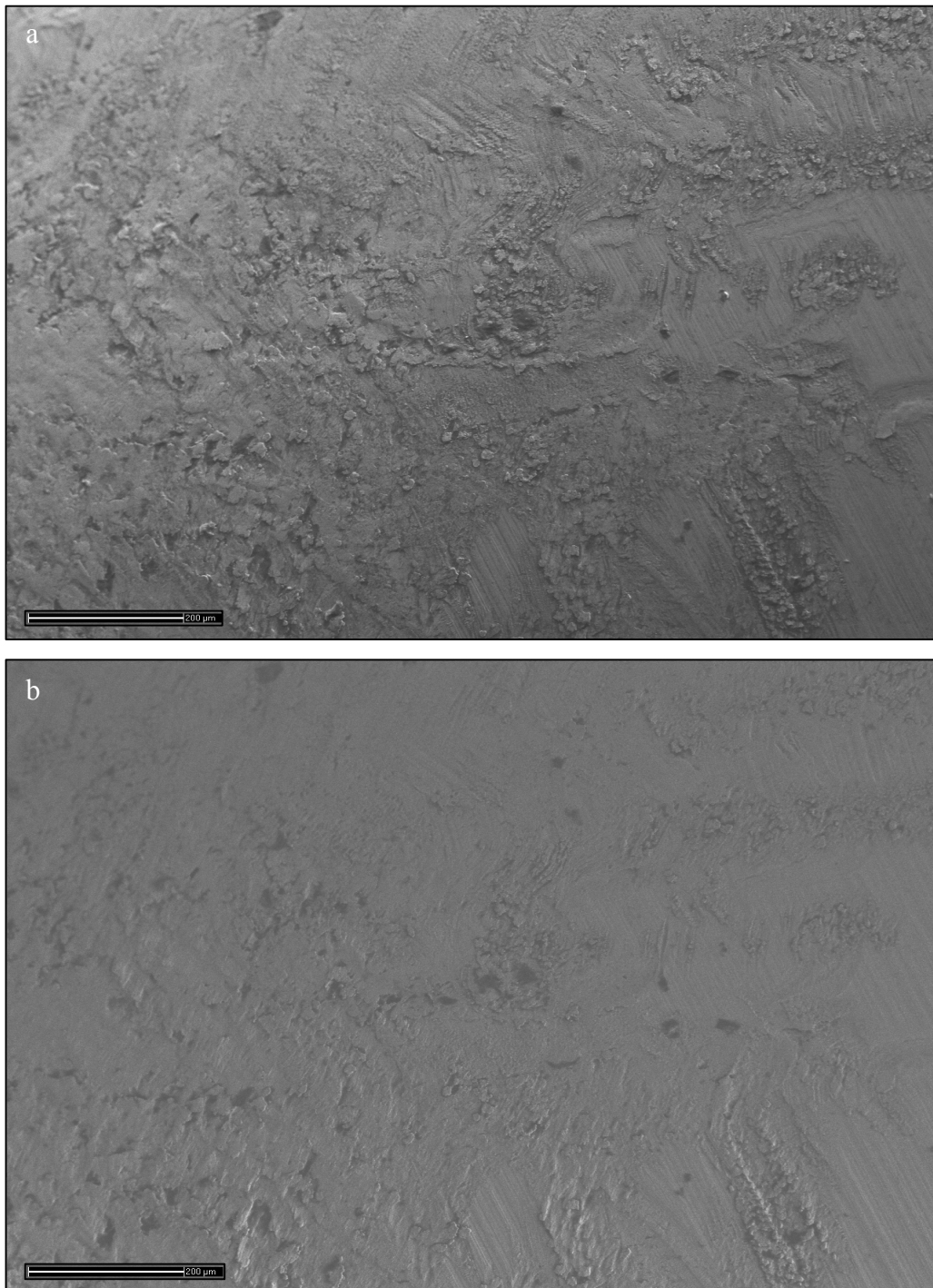


Abbildung 17 a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O3, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O7, 100X

Die Elektronenmikroskopaufnahmen zeigen einen durch den Cumdente Ultrasonic Scaler touchierten Bereich. Es hat eine vollständige Veränderung der Oberfläche stattgefunden. Die REM-Aufnahmen zeigen deutlich das volle Ausmaß der Beschädigung.

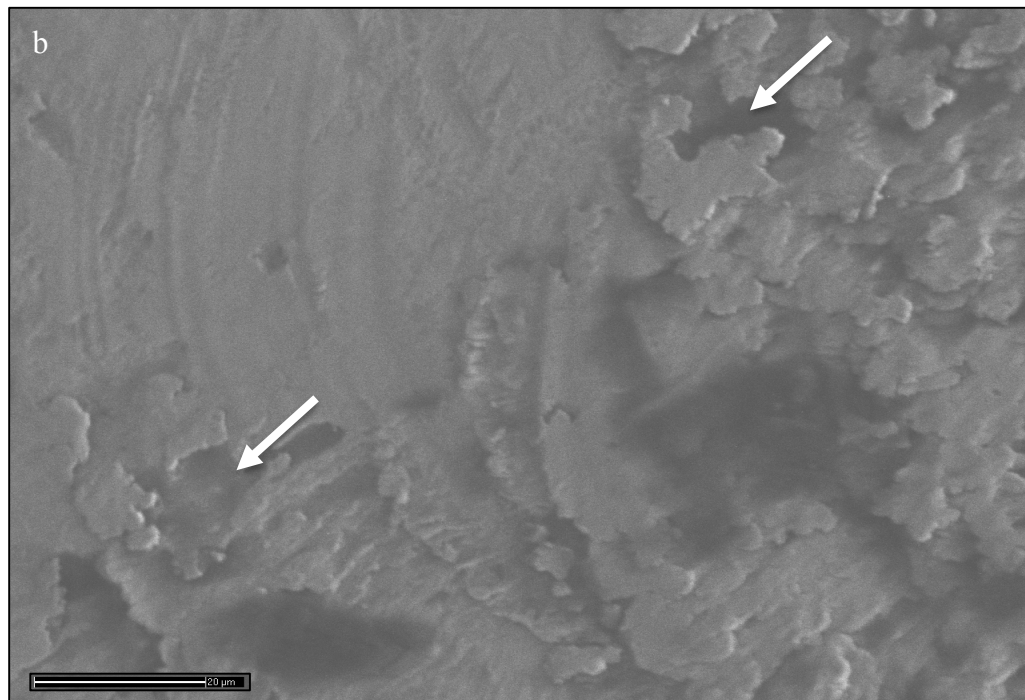
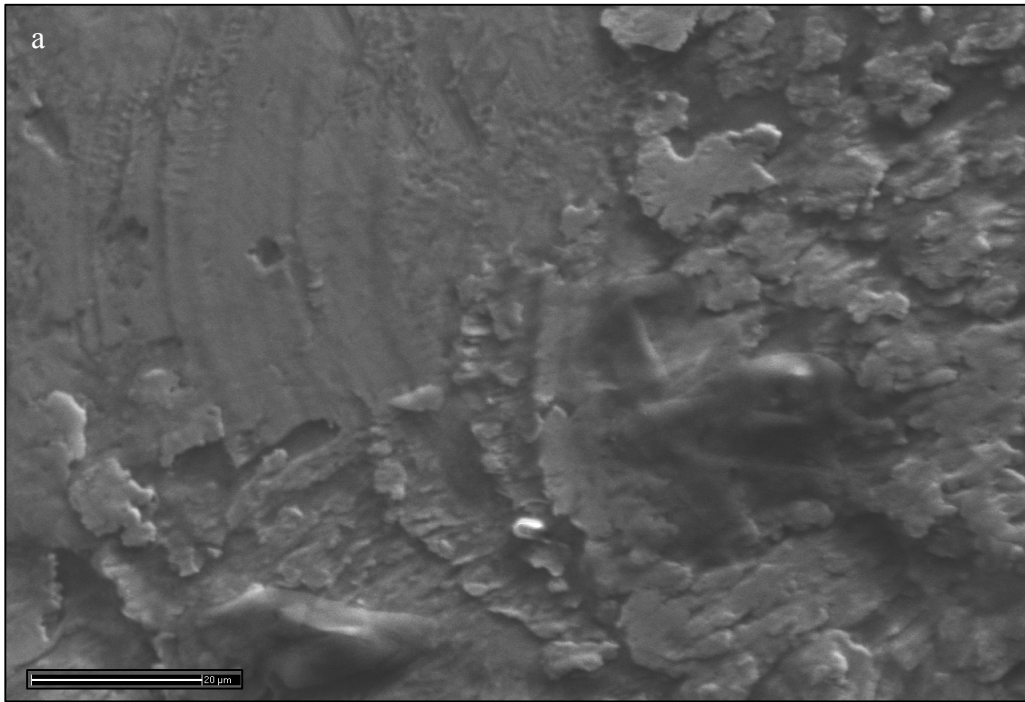


Abbildung 18 a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O3, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O7, 1000X

Unter 1000-facher Vergrößerung sind auch Krater (siehe Pfeil) zu erkennen.

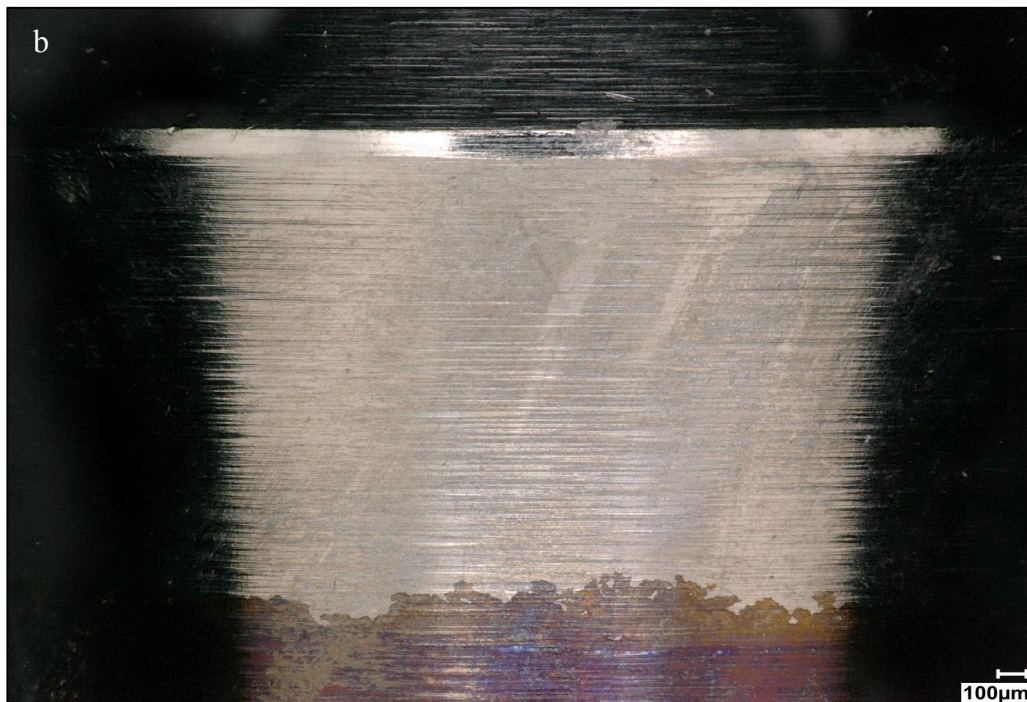
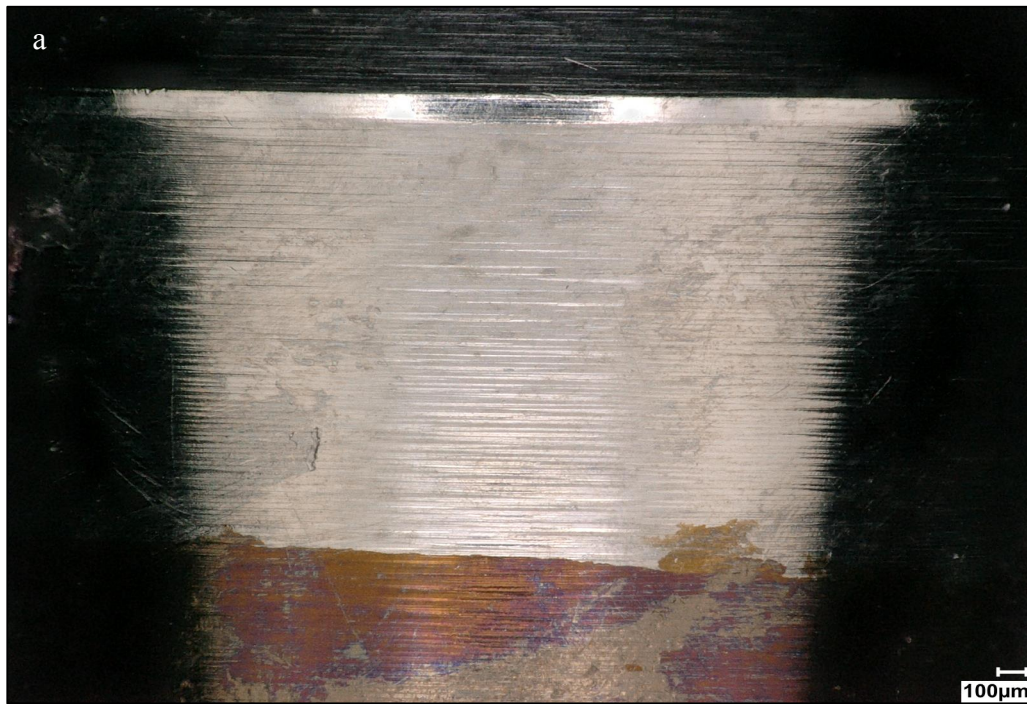


Abbildung 19 a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O4, Keyence, 100X,  
Bearbeitung mit Airflow

Zu sehen ist die bukkale und approximale Fläche der Probe aus der Versuchsreihe O4. Das Implantat wurde hier mit dem PerioMate Airflow unter Verwendung von Glycinpulver abgestrahlt. Eine Beschädigung der Oberfläche im eigentlich Sinne lässt sich nicht erkennen. Lediglich die Beschichtung dieser Demoimplantate am Beginn der Schraubenwindungen ist von dem Abstrahlvorgang etwas abgeplatzt.

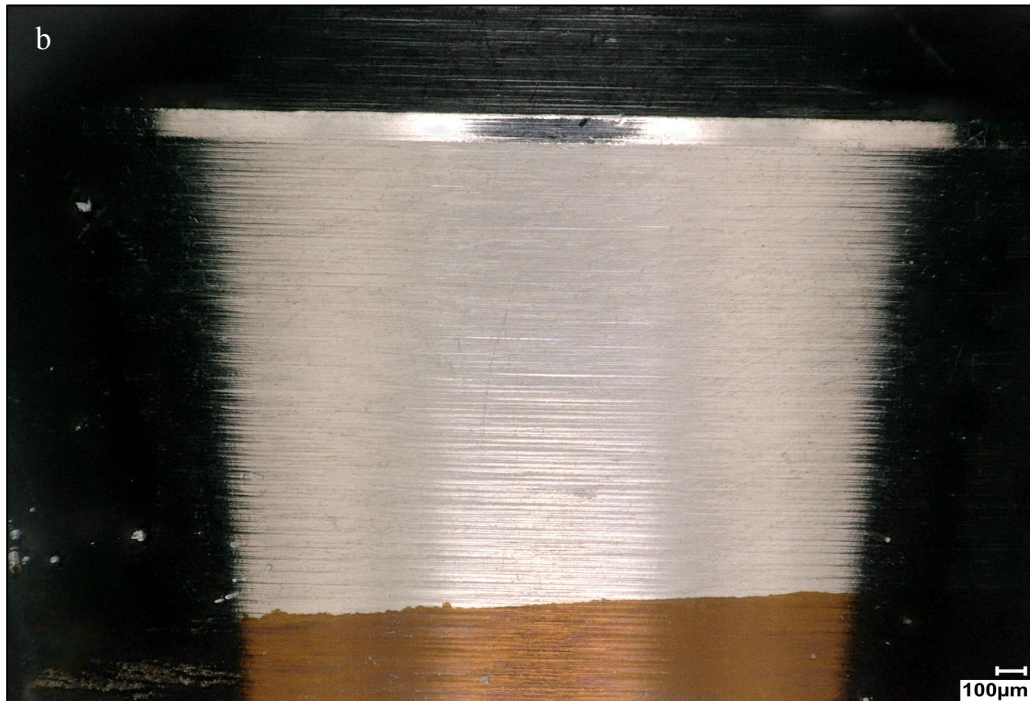
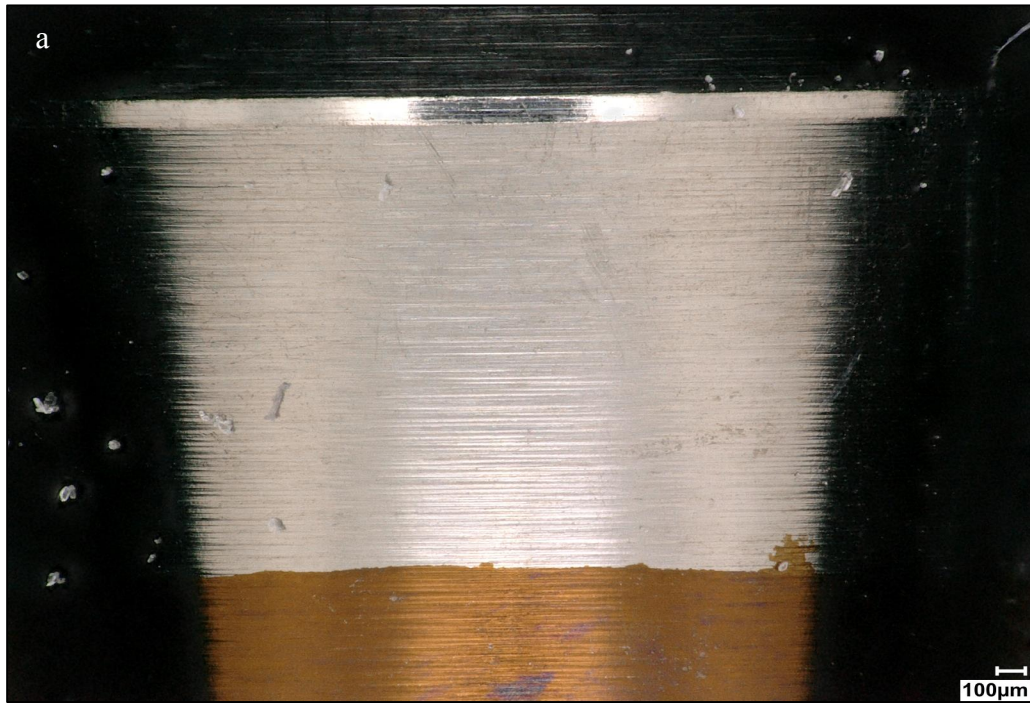


Abbildung 20 a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O8, Keyence, 100X,  
Bearbeitung mit Airflow

Die Probe aus der Versuchsreihe O8 zeigt ein ähnliches Bild wie in O4. Eine Beschädigung der Oberfläche kann bei dieser Vergrößerung nicht festgestellt werden.

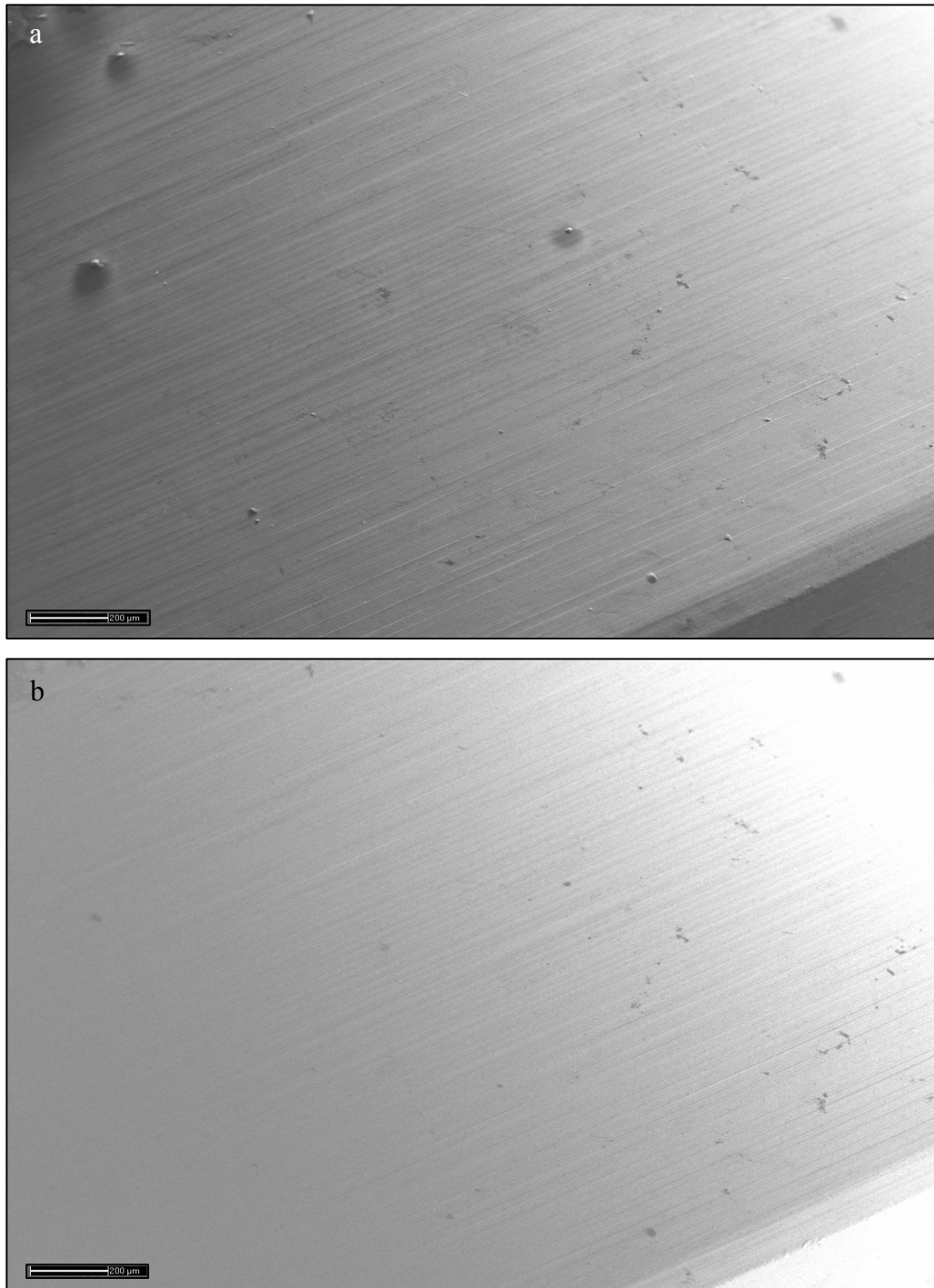


Abbildung 21 a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O4, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O8, 50X

Unter 50-facher Vergrößerung lassen im REM auf den Proben aus O4 und O8 keine Anzeichen für eine Veränderung, bzw. Beschädigung der Oberfläche erkennen. Die Implantate stellen sich wie weiter oben auf den Ausgangsbildern beschrieben dar. Lediglich Schmutzpartikel sind auszumachen.

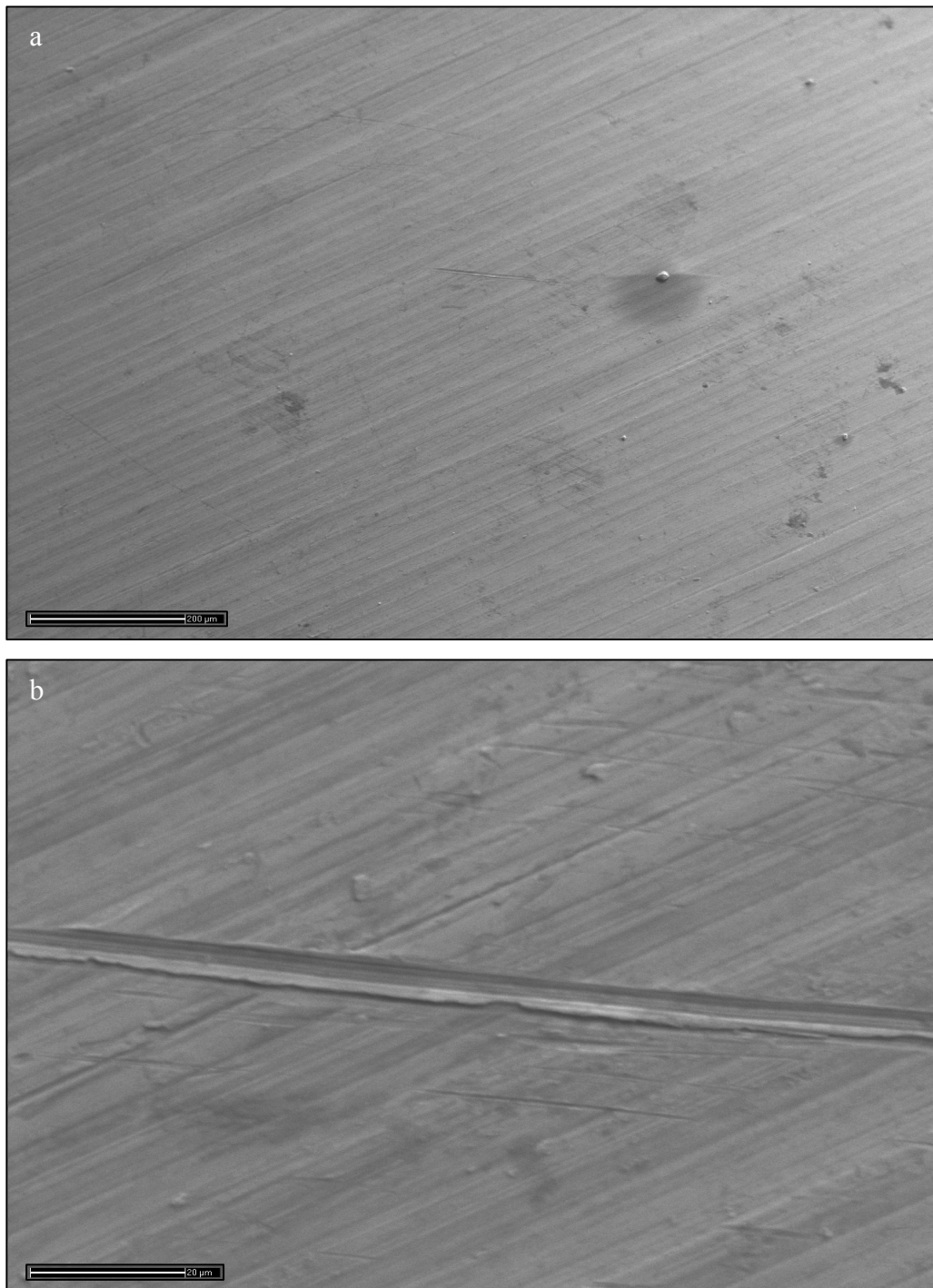


Abbildung 22 a Versuchsreihe O4 SEI-Aufnahme 100X, b SEI-Aufnahme 1000X

Vergrößert man jedoch einzelne Bereiche weiter auf 100-fache und 1000-fache Vergrößerung so lassen sich auch hier Beschädigungen darstellen. Jedoch lassen sich solche Spuren auch auf einem absolut unbehandelten und neuen Implantat frisch aus der Verpackung finden. Vergleiche hierzu Abbildung 23.

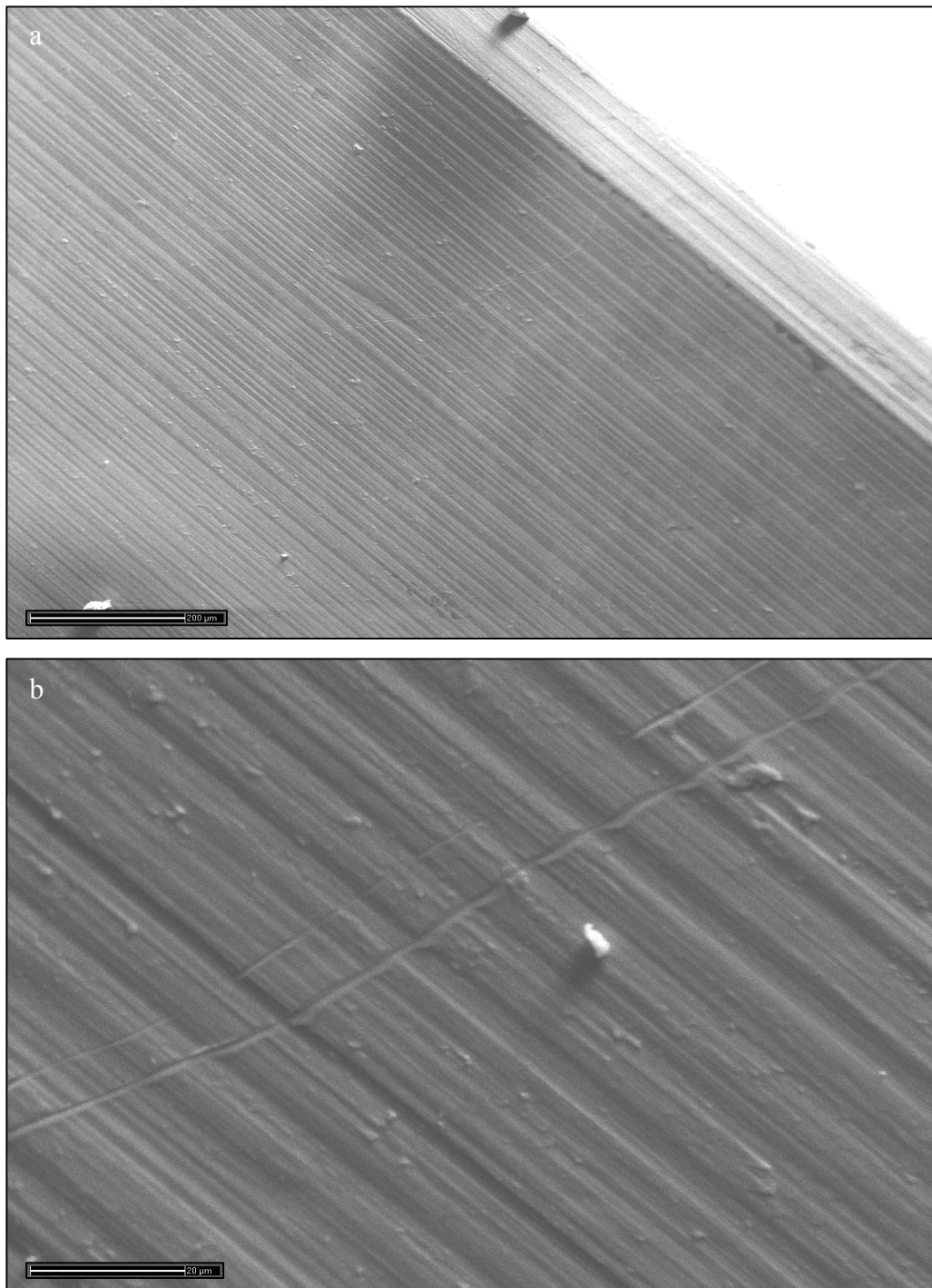


Abbildung 23 a unbehandeltes Implantat SEI-Aufnahme 100X, b SEI-Aufnahme 1000X

Zu sehen ist eine Furche auf einem unbehandelten Implantat. Nachdem dieses Implantat keinerlei Manipulation erfahren hat, muss davon ausgegangen werden, dass solche Beschädigungen Teil des Herstellungsprozesses sind. Die Größe und Konfiguration der Riefen ist mit denen gefunden auf den Proben aus O4 und O8 vergleichbar.

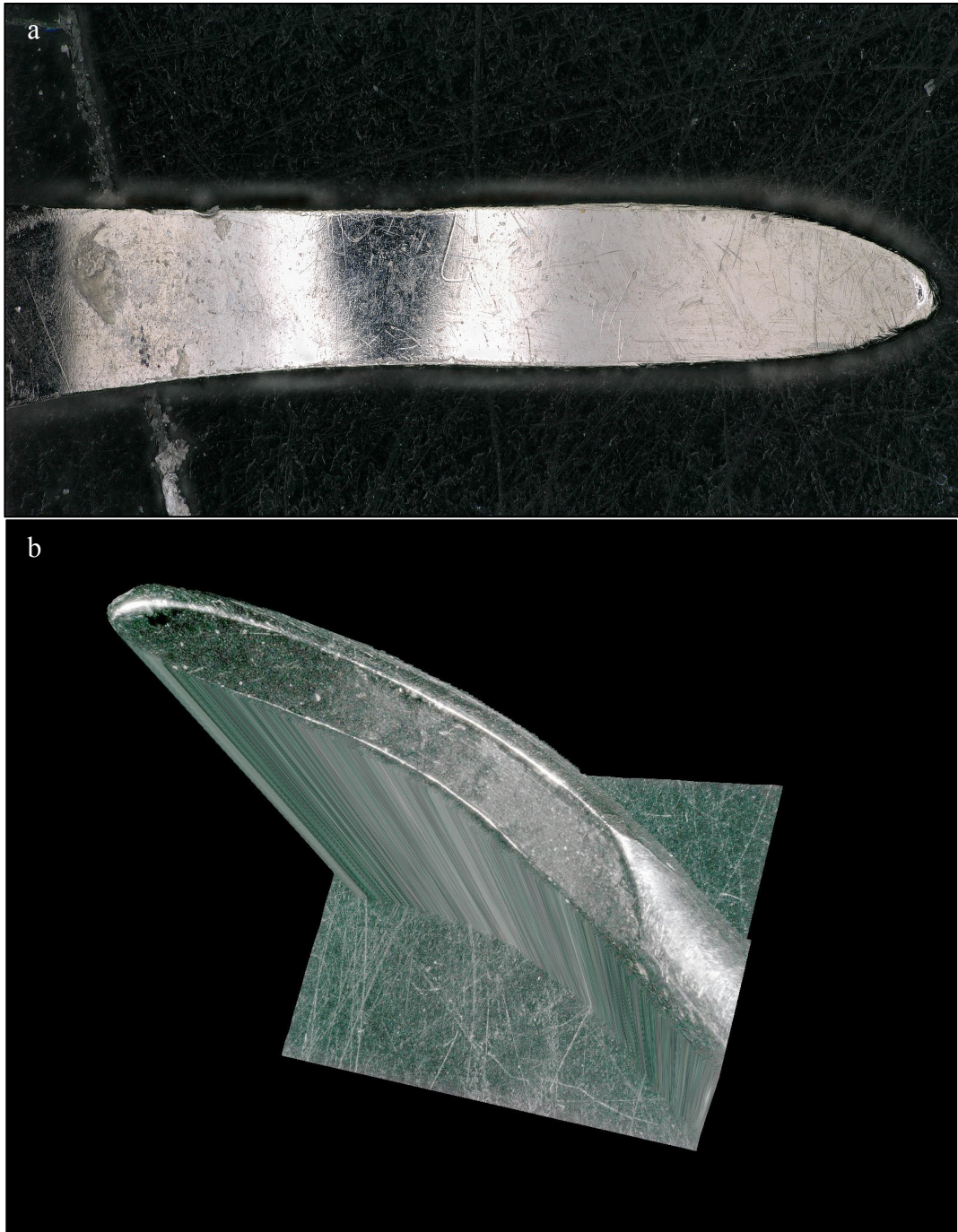


Abbildung 24 a Keyence, Edelstahlkürette 150X, b Keyence Edelstahlkürette 50X 3D

Dargestellt sind Aufnahmen der verwendeten Edelstahlkürette aus den Versuchsreihen. Deutlich wird hier der Aufbau des Instrumentes. Die Fazialfläche, im oberen Bild in der Aufsicht zu erkennen, geht zur Seite über die scharfe Kante in die Lateralfläche über. Als dentale Kürette besitzt dieses Instrument eine abgerundete Arbeitsspitze. Erkennen lässt sich weiterhin, dass auch das Instrument durch die Reinigungsvorgänge Schaden nimmt. Kratzer und Riefen lassen sich feststellen.



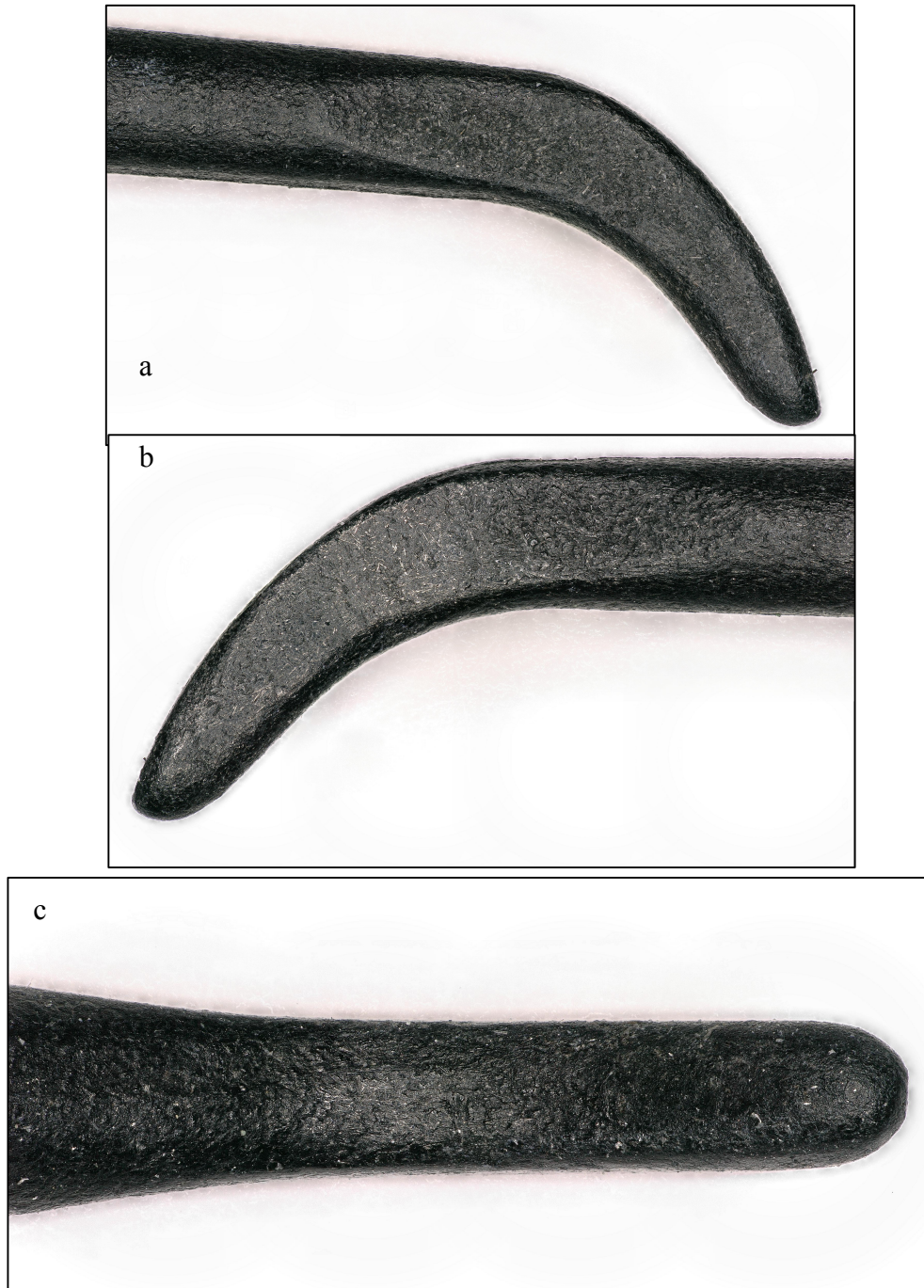


Abbildung 25 a und b Implant Deplaquer seitlich, Keyence, 150X, c Implant Deplaquer  
Fazialfläche, Keyence, 150X

Die verwendeten Kerr Dental Implant Deplaquers Kunststoffküretten weisen im Vergleich zu den Edelmetallinstrumenten deutlich weniger scharfe Kanten auf. Das Design ist geprägt von Rundungen. Zu erkennen sind die beiden Lateralflächen sowie unten die Fazialfläche der Kürette.

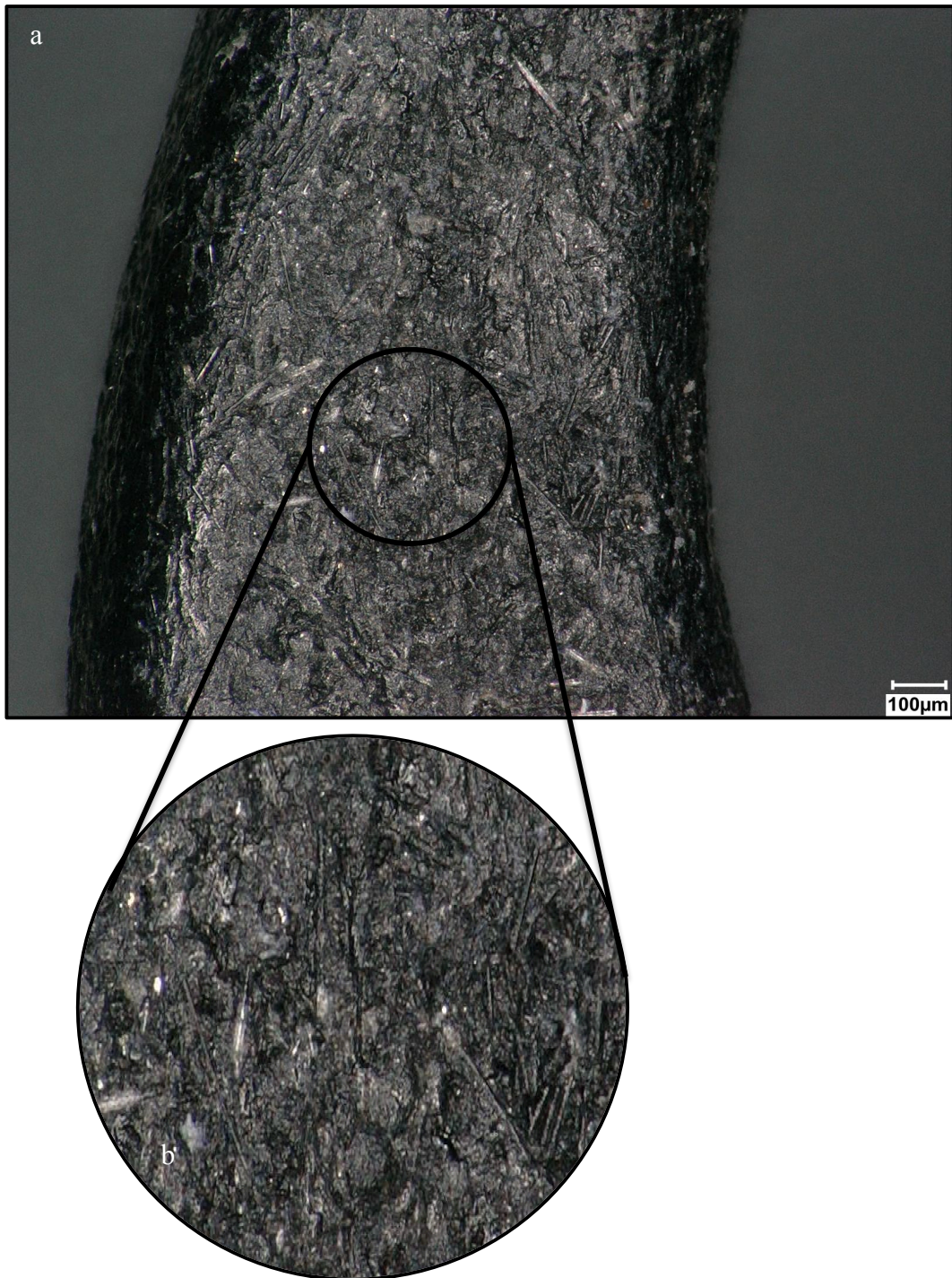


Abbildung 26 a Kohlefasern, Keyence, 200X, b Kohlefasern, Keyence, 400X

Die Kunststoffküretten bestehen aus einem Spezialkunststoff mit Kohlefaserverstärkung. Diese Fasern sind in den gezeigten Aufnahmen dargestellt. Unter 200-facher Vergrößerung lassen sich die Fasern bereits erkennen. Sie durchsetzen die Struktur des Kunststoffes vollständig. Durch optischen Zoom auf ca. 400-fache Vergrößerung sind die Fasern noch deutlicher zu erkennen.

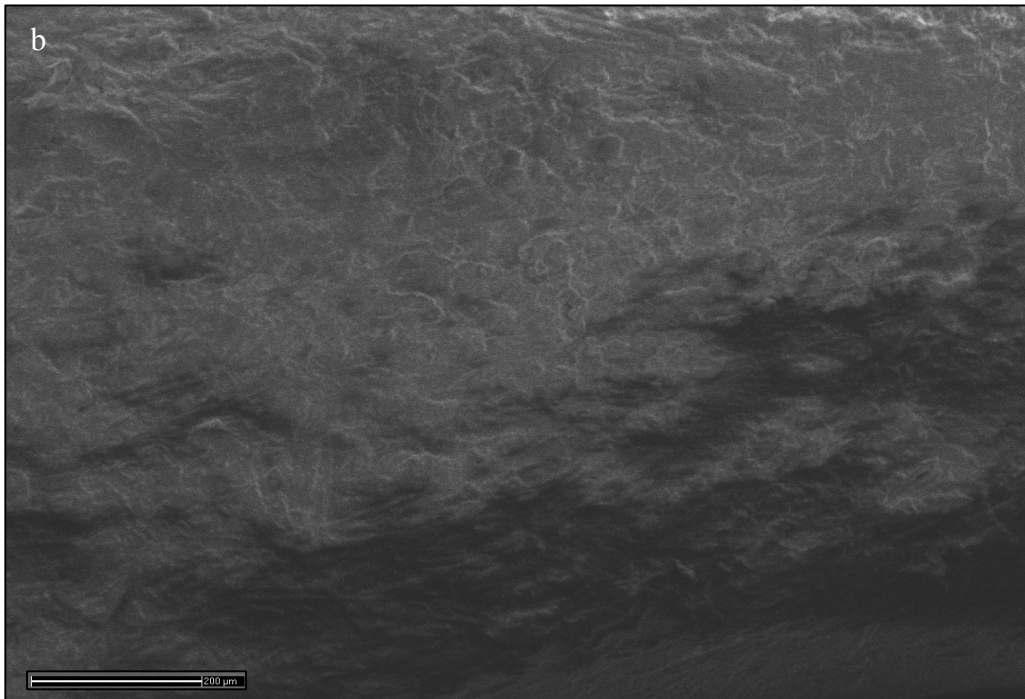
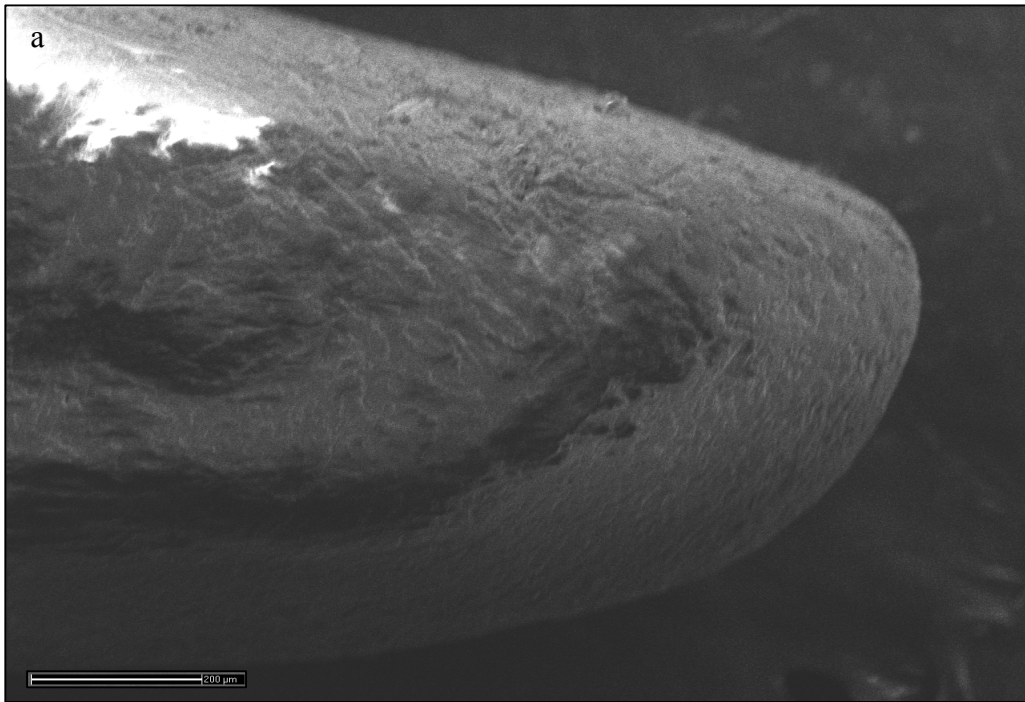


Abbildung 27 a Implant Deplaquer Spitze, SEI-Aufnahme, 100X, b Implant Deplaquer Schaft, SEI-Aufnahme, 100X

Unter dem Rasterelektronenmikroskop lässt sich die Oberflächenstruktur der Kunststoffküretten erkennen. Die Struktur des Kunststoffes ist nicht glatt, sondern durchsetzt von kleinen Fissuren. Es lassen sich allerdings keine scharfen Kanten erkennen.

### 5.3 Analytik

Die statistische Auswertung der Datensätze durch einen two sample T-test mit gesetztem Alpha von 0,05 brachte folgende Ergebnisse:

Der Vergleich von Konfiguration A (beste Voraussetzungen) zu B (schlechteste Voraussetzungen) brachte sogar einen hochsignifikanten ( $P(t) < 0,01$ ) Unterschied des bewerteten Reinigungserfolgs. Der Vergleich des Reinigungserfolgs bei subgingivaler (C) zu mindestens isogingivaler (D) Kronenrandlage, sowie der Vergleich von Glasionomerezement (E) und Resinzement (G) zeigte sich als nicht signifikant. Signifikanten Unterschied findet man jedoch beim Vergleich von Zinkoxidphosphatzement (F) und Glasionomerezement (E) sowie mit Resinzement (G).

	Konfig. A	Konfig. B
Mittelwert	1,2766	2,4333
Varianz	0,1837	0,3106
t Stat		-4,0295
P(T<=t)		0,0014

	Konfig. C	Konfig. D
Mittelwert	2,3229	1,8589
Varianz	0,3115	0,2122
t Stat		1,5701
P(T<=t)		0,0737

	Konfig. F	Konfig. E
Mittelwert	1,6052	2,4487
Varianz	0,2113	0,3725
t Stat		-2,7036
P(T<=t)		0,0121

	Konfig. F	Konfig. G
Mittelwert	1,6052	2,3000
Varianz	0,2113	0,2240
t Stat		-2,5791
P(T<=t)		0,0137

	Konfig. E	Konfig. G
Mittelwert	2,4487	2,3000
Varianz	0,3725	0,2240
t Stat		0,4716
P(T<=t)		0,3242

Tabelle 4 Statistische Analyse

## **6 Diskussion**

### **6.1 Gesamtergebnis**

Das erfolgreiche und vollständige Entfernen von Zementüberschüssen an Kronen auf Implantaten erweist sich als techniksensitives Verfahren. Unter Betrachtung aller oben dargestellter Ergebnisse lässt sich sagen, dass für den Seitenzahnbereich die beste Reinigung mit dem Einsatz von Zinkoxidphosphatzement und Edelstahlküretten bei vestibulär supragingival befestigten Suprakonstruktionen gemäß Konfiguration A (Versuchsreihen mit supragingivaler Kronenrandlage, Befestigungswerkstoff Zinkoxidphosphatzement, Reinigungsinstrument Edelstahlkürette) mit einer Bewertungsnote von 1,278 erzielt wird. Nach den zuvor überlegten Erwartungen sollte diese Konfiguration die gründlichste Reinigung erlauben, was auch bestätigt wurde. Grundsätzlich geht hervor, dass gut einsehbare Bereiche (direkt oder über den Spiegel), also vestibuläre und orale Flächen der Zahnkrone und des Implantats unabhängig von der Kronenrandlage stets besser zu reinigen sind als die wenig einsehbaren Approximalbereiche. Hinzu kommt, dass sich auch bei einer vestibulär ca. 1 mm supragingival gelegenen Kronenrandlage sich aufgrund des girlandenförmigen Zahnfleischverlaufs approximal nur eine leicht subgingivale Lage des Kronenrandes ergibt. Hierfür wird auf Diagramm 2 verwiesen. Beim Betrachten der Ausdehnung der Graphen sollte man sich eine Sichtweise von oben auf das Implantat integriert im Zahnbogen vorstellen. Die approximalen sowie die bukkalen und oralen Flächen stehen sich gegenüber. Die Ergebnisse dieser Arbeit spiegeln die Situation in der Praxis wieder. Zahnärzte haben in der Regel einen direkten visuellen Zugang zu den bukkalen Flächen. Orale Flächen lassen sich über einen Spiegel beurteilen. Approximalbereiche sind von direkter oder indirekter Einsicht ausgenommen. Hier muss primär tastend gearbeitet werden. Deutlich wird die Relevanz der Kronenrandlage, wenn man sich folgende Daten ansieht: Wenn mindestens auf isogingivaler Höhe zementiert wird, lässt sich aus den durchgeführten Versuchen eine komplette Reinigung in 40,9% der Fälle erreichen. Subgingival sind es lediglich 15,8%. Ein Unterschied von 25,1%. Es sind also subgingival anders gesehen in 84,2% der Fälle Zementreste zu finden. Das Design der in dieser Arbeit untersuchten Tissue-level-Implantate vernachlässigt den girlandenförmigen Verlauf des Zahnfleisches. Die Abutmentgrenze verläuft zirkulär auf der gleichen Ebene. Somit ergibt sich auch bei einer vestibulär und oral ca. 1 mm supragingival gelegenen Lage des Abutment- und damit Kronenrandes approximal generell trotzdem noch eine leicht subgingivale Lage des Randes. Im Seitenzahnbereich lässt sich ein Hervorscheinen des Metallrandes mit den ästhetischen Anforderungen vereinbaren. Vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass hier die effektivste Entfernung der Zementüberschüsse zirkulär um das Implantat, also auch approximal, gelingt. Somit ist das Risiko für eine Periimplantitis bezogen auf den

Einflussfaktor Zementüberschuss als am geringsten einzustufen. Im Frontzahnbereich ist die Anfertigung von individuellen zahnfarbenen Abutments aus Zirkonoxid oder BioHPP unumgänglich, um eine leicht supragingivale Lage der Abutmentschulter zu ermöglichen, da hier höhere ästhetische Anforderungen als im Seitenzahnbereich gelten und ein sichtbarer Metallrand nicht mit diesen vereinbar wäre.

Glasionomer- und Resinzement haben sich im Vergleichstest als deutlich schwieriger zu entfernen herausgestellt. Aufgrund ihrer Festigkeit und Beschaffenheit hatten diese Befestigungswerkstoffe die schlechteste Prognose für eine gründliche Reinigung. Auch der Einsatz von Kunststoffküretten konnte den Reinigungserfolg nicht verbessern. Im Gegenteil. Aufgrund der Flexibilität und Nachgiebigkeit des Kunststoffes konnten Zementreste nur ungenügend entfernt werden.

Als Signifikanztest wurde der Zweistichproben-t-Test für unterschiedliche Varianzen aus der mathematischen Statistik verwendet. Dieser prüft anhand der Mittelwerte zweier unabhängiger Stichproben, ob die Werte zweier Grundgesamtheiten gleich oder verschieden voneinander sind. Die Stichprobenumfänge sind jeweils gleich. Dies schafft gute Voraussetzungen für korrekte Interpretation der errechneten Werte. Dieser Test wurde auch verwendet, da grundsätzlich für diesen gilt, dass er auch bei Verletzung der Voraussetzungen relativ robust ist. Verglichen wurde Konfiguration A mit B, um zu prüfen ob sich das Reinigungsergebnis bei den zuvor überlegten besten und schlechtesten Voraussetzungen signifikant unterscheidet. Tatsächlich erwies sich der Unterschied sogar als hochsignifikant. Konfiguration C (sub) wurde mit D (iso und supra) verglichen, da in diesen der Einfluss der Kronenrandlage beurteilt und verglichen wird. Zusätzlich hierzu wurden Konfiguration E (GIZ), F (ZPZ) und G (Resin) miteinander verglichen. Untersucht wurde hier der Einfluss der Zementart auf den Reinigungserfolg. Der Unterschied der Messwerte von subgingivaler zu mindestens isogingivaler Lage zeigte sich als nicht signifikant. Das Legen des Kronenrandes in sichtbare Bereiche bringt demnach keinen statistisch untermauerten Vorteil. Dennoch ist die Reinigung als effektiver anzusehen. Der Unterschied des Reinigungserfolges durch Zementierung mit ZPZ verglichen mit GIZ und Resinzement stellte sich als signifikant heraus. Dies entspricht den Erwartungen. ZPZ zeigt ausreichende Retention bei gleichzeitig geringen adhäsiven Eigenschaften. Der Vergleich von GIZ und Resinzement untereinander zeigte sich als nicht signifikant. Daraus kann geschlossen werden, dass sich diese beiden Zementarten annähernd gleich schlechter entfernen lassen.

Zum Langzeiterfolg eines Implantats gehört allerdings nicht nur die effiziente Entfernung der Zementüberschüsse, sondern auch eine möglichst unversehrte und intakte Implantatoberfläche nach der Reinigung [2]. Der nicht mit dem Knochen verbundene Anteil des Implantatkörpers

eines Tissue-level-Implantats ist auf Hochglanz vom Werk poliert. Durch die Verwendung des Edelstahls 316LVM, wie er für medizinische Produkte, darunter auch dentale Instrumente, gebraucht wird, entstehen beim Reinigungsprozess Schäden an der Titanoberfläche der Implantate in Form von Riefen und Kratzern. Dieser Stahl zeichnet sich durch seine hohe Korrosionsbeständigkeit und Oberflächengüte aus. Der Härtegrad nach Vickers (HV 10) wird hierfür mit 300 bis 360 angegeben [89]. Die in dieser Studie verwendeten Implantate gehören zur Titanmaterialgruppe vier. Dieser Typ weist einen Härtegrad nach Vickers (HV 10) von ca. 250 auf [88]. Durch die Beschädigung der Oberfläche steigt die Rauigkeit, damit vergrößert sich auch die Fläche und neue Anheftungsstellen für Bakterien werden geschaffen. Tiefe Fissuren, Grübchen und Approximalkontakte des Zahnes stellen natürliche Prädilektionsstellen dar. Eine Verletzung der Implantatoberfläche führt dann zu künstlichen Prädilektionsstellen. Eine außergewöhnlich hohe Oberflächenbeschädigung wurde bei der Anwendung von Ultraschallscalern gefunden. Küretten aus Kunststoff sollen eine gründliche Entfernung von Auflagerungen und Zementresten durch ausreichende Materialfestigkeit garantieren ohne dabei die Implantatoberfläche nennenswert zu verändern. Die mikroskopische Analyse zeigte hier eine deutlich geringe Beschädigung der Implantatoberfläche unter Verwendung von Kunststoffinstrumenten. Aus den Ergebnissen dieser Arbeit geht also hervor, dass die Verwendung von Tissue-level-Implantaten mit standardisierten Abutments grundsätzlich ein Kompromiss zwischen Ästhetik (Lage der Abutmentschulter) und Effektivität der Zementüberschussentfernung darstellt.

## **6.2 Klinische Relevanz von In-vitro-Studien**

Studien werden durchgeführt, um Zusammenhänge zwischen Exposition (z. B. Risikofaktor) und Ereignis (z. B. Auftreten einer Krankheit) zu untersuchen und aufzudecken. Verschiedene Studientypen unterscheiden sich hinsichtlich der Durchführung und damit auch in der Ergebnisqualität. Um die Qualität und Aussagekraft weiter zu steigern, müssen zusätzliche Störfaktoren (z. B. Selektion einer nicht repräsentativen Stichprobe, welche das Studienergebnis beeinflussen könnte) erkannt und eliminiert werden. Eine Einteilung erfolgt in vier Klassen. Die höchste Evidenz (Klasse Ia) wird durch eine Übersichtsarbeit (Meta-Analyse) aus randomisierten kontrollierten Studien gegeben. In Klasse Ib findet sich eine randomisierte kontrollierte Studie hoher gesicherter Qualität. Klasse IIa ergibt Evidenz aufgrund einer nicht-randomisierten kontrollierten Studie hoher gesicherter Qualität. In Klasse IIb finden sich experimentelle Studien oder Kohortenstudien. In Klasse III und IV finden sich deskriptive Studien und Expertenmeinungen, sowie Erfahrungen und Berichte [6].

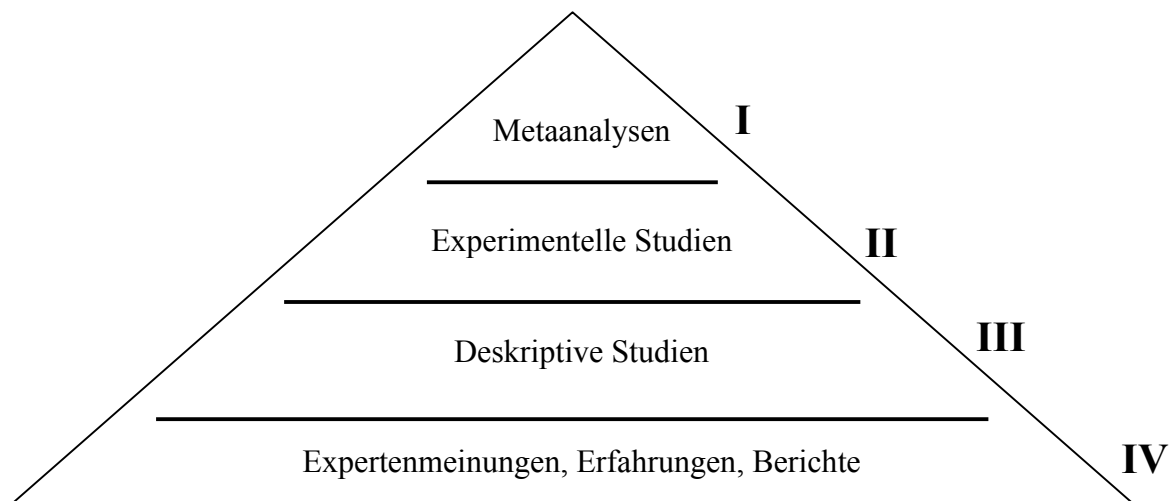


Abbildung 28 Evidenzpyramide

Als Studie auf der Basis von Experimenten ist die vorliegende Arbeit der Evidenzklasse IIb zuzuordnen. Grundsätzlich gilt allerdings, dass durch In-vitro-Studien die klinische Situation niemals vollständig realistisch wiedergegeben und simuliert werden kann, wodurch die Notwendigkeit auftritt, In-vitro-Studienergebnisse durch entsprechende In-vivo-Studien zu bekräftigen oder zu widerlegen. Deshalb ist die vorliegende Arbeit als qualitative Studie im Sinne einer Pilotstudie zu sehen, um die Effektivität einer Methode zu testen, da weitere Punkte wie z. B. die mögliche Behandlerabhängigkeit zunächst nicht erfasst wurden.

### 6.3 Herstellung der Prüfkörper und Modelldesign

In der vorliegenden Arbeit erwies sich die Verwendung von Frasacomodellen, Gingivamasken und Phantomeinheiten als kliniknächste Methode, um die In-vitro-Simulation zu gestalten. Die Fixierung der Implantate im Modell erfolgte durch Hartwachs, was eine einfache, reproduzierbare und gleichzeitig ausreichend starre Methode darstellte. Zur Herstellung der Suprakonstruktionen (Kronen) genügten allgemein etablierte Verfahren zur Provisorienherstellung, da nicht der Randschluss, sondern der Reinigungserfolg untersucht wurde. Alle drei Zementarten wurden nach den jeweiligen vorgeschriebenen Anwendungsrichtlinien verwendet. Jeweils die gesamte Innenfläche der Kronen wurden mit einem dünnen Film vor der Zementierung so bestrichen, dass ein gleichmäßiger Überschuss zirkumferent zustande kam.

Im Modelldesign zur Untersuchung dieses Reinigungserfolgs unterscheidet sich vorliegende Arbeit von anderen. Agar et. al. haben 1997 in vitro die Zemententfernung mit simulierten Gingivarändern untersucht. Hierbei wurden allerdings drei nebeneinander lokalisierte Implantate



in einem Acrylblock ausschließlich subgingival befestigt und keine morphologisch korrekten Zahnkronen hergestellt. Hierdurch konnte also die erschwerte Zugänglichkeit am vollbezahnten Patienten nicht simuliert werden, was für die vorliegende Studie jedoch ein gewünschter Faktor war. Durch die jeweils individuell hergestellte künstliche Gingiva aus Polyvinylsiloxan konnte im Vergleich zur aktuellen Studie (vorgegebene Gingivamanschette des Frasacomodells) allerdings ein besseres Emergenzprofil um die Implantate simuliert werden [2]. Einen ähnlichen und erweiterten Aufbau zeigte die Arbeitsgruppe um Linkevicius 2011 durch die Verwendung von Gipsmodellen. Allerdings konnte auch hier keine Kieferrelation und Patientensituation wie in vorliegender Studie simuliert werden [52]. Ein weiterer Unterschied zu vorliegender Arbeit ist ferner, dass jeweils individuell hergestellte Abutments für die Versuche verwendet wurden, um unterschiedliche Kronenrandlokalisationen von -3 bis +1 mm zu realisieren. Die Einstellung durch die unterschiedlich hohe Fixierung der Implantate in der Frasacomodell-Alveole durch Wachs erwies sich als reproduzierbar, sicher und ausreichend, sodass auf das aufwendigere Verfahren verzichtet wurde. Zur Untersuchung der Oberflächenbeschädigung durch den Reinigungsvorgang mit verschiedenen Instrumenten wurde ein zweites Modelldesign konzipiert. Die Implantate wurden hier ähnlich wie bei Linkevicius durch einen flexiblen Zahnfleischmaskenkunststoff in einem Gipsmodell eines simulierten vollbezahnten Patienten fixiert. Somit konnten kliniknahe Gingivaverhältnisse geschaffen werden. Eine Integration des Modells in eine Phantomeinheit wurde vernachlässigt, da hier nicht der Reinigungserfolg Ziel der Untersuchung war. Jeweils ein Implantat inklusive Suprakonstruktion wurde an Position 16 und 21 des Zahnbogens durch Edelstahlküretten, Kunststoffküretten, einem Ultraschallscaler sowie einem Pulverstrahlgerät mit Glycinpulver bearbeitet und instrumentiert. Die entstandenen Schäden an der Titanoberfläche wurden durch REM-Aufnahmen dokumentiert, ausgewertet und verglichen.

Die vorliegende Studie weist Limitierungen auf. So wurden in den Experimenten die verschiedenen Implantatdurchmesser, sowie die Verwendung von jeweils individuell hergestellten Abutments mit entsprechend geringen Unterschnitten und angepassten Randverlauf vernachlässigt. Weiterhin wurde die Applikationsart und Menge des verwendeten Zementes nicht berücksichtigt, was die Ergebnisse beeinflusst haben könnte, jedoch hat man sich bemüht möglichst gleiche Bedingungen für jede Versuchsreihe zu schaffen. Sämtliche Suprakonstruktionen wurden ausreichend voll mit Zement für die Fixierung bestrichen. Hier sei auf andere Studien verwiesen, welche entsprechenden Parameter untersuchten (Vindasiute et. al. [90]). Vorliegende Studie hatte jedoch das Ziel zu evaluieren, welches Zusammenspiel aus

Zementart, Instrumentarium und Positionierung der Implantatschulter unter möglichst patientennaher In-vitro Simulation die gründlichste Reinigung erlaubt.

#### **6.4 Bewertung des Reinigungserfolgs**

Um Aussagen über den Erfolg bzw. Misserfolg für die Entfernung von Zementresten treffen zu können, wurde obig beschriebenes selbst entwickeltes Bewertungssystem angewendet. Kliniker verlassen sich am Patienten ebenfalls nur auf ihr visuelles und taktiles Können, um eine möglichst vollständige Reinigung zu garantieren, weshalb ein entsprechend visuell aufgebautes Bewertungssystem nahelag. Andere Autoren haben ebenfalls auf visuelle Methoden zurückgegriffen. So auch Agar et. al. 1997 [2] und Linkevicius et. al. 2011 [52] in ihren Untersuchungen. Hierbei wurden Lichtmikroskopaufnahmen angefertigt und durch ein Computerprogramm (Image-Pro Plus, Media Cybernetics, Silver Spring) die Fläche berechnet, welche durch die noch vorhandenen Zementreste eingenommen wurde und anschließend zur Gesamtfläche ins Verhältnis gesetzt. Entsprechende Lichtmikroskopaufnahmen wurden in vorliegender Arbeit ebenfalls erstellt, allerdings um die Oberflächenbeschädigung der Implantate nach dem Reinigungsvorgang zu begutachten und nicht zur quantitativen Analyse der Zementreste. Für eine noch genauere Darstellung von Oberflächenbeschädigungen wurden zusätzlich REM-Aufnahmen angefertigt. In der Literatur findet sich eine weitere Methode. Zur Quantifizierung verwendete Linkevicius et. al. hochsensitive Waagen. Sie sammelten die verbliebenen Zementreste und wogen den Überschuss für jede Versuchsreihe, um fundierte Aussagen treffen zu können. Für die vorliegende Studie erwies sich allerdings ein visuelles Bewertungssystem als geeigneter, um die untersuchten Kriterien und Faktoren bewerten und vergleichen zu können. Der Fokus dieser Arbeit lag nämlich nicht auf der genauen Quantifizierung der Zementreste, sondern darauf einen Vergleich der Parameter zu bekommen und Aussagen bzw. Empfehlungen für die beste, aber eventuell nicht perfekte Reinigung zu geben.

#### **6.5 Auswertung der Datensätze und Analytik**

Über 16 Versuchsreihen hinweg ergaben sich 42 untersuchte Prüfkörper. An diesen wurde an jeweils sechs Untersuchungsstellen der Reinigungserfolg bewertet und analysiert (Vergleiche hierzu 12. Anhang). Somit ergaben sich insgesamt 252 Einzelmesswerte, welche zwar einen Trend erkennen lassen, jedoch keine fundierten Aussagen gewähren. Deshalb wurden im Rahmen von beschreibenden deskriptiven Statistiken sieben Konfigurationen erstellt, welche jeweils bestimmte Parameter berücksichtigen (Vergleiche hierzu Tabelle 3). So wurde es

möglich, alle Faktoren miteinander zu vergleichen und die Datensätze auszuwerten. Ein Säulendiagramm und Netzdiagramm wurde hieraus zur graphischen Darstellung erstellt, um Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit zu schaffen. Die Untersuchung einer supragingivalen Kronenrandlage im Frontzahnbereich wurde vernachlässigt, da dies sich nicht mit den ästhetischen Anforderungen der modernen Zahnheilkunde vereinbaren lassen würde, solange metallische Materialien verwendet werden. Alternativ lassen sich hier Abutments aus Zirkonoxidkeramik verarbeiten, um eine supragingivale Restorationsrandlage ermöglichen zu können, ohne ästhetische Kompromisse eingehen zu müssen. Solche wurden jedoch in vorliegender Arbeit nicht verwendet. Lediglich im Seitenzahnbereich würde eine vestibulär sichtbare Implantatschulter auch aus Metall vereinbar sein, weshalb dies Gegenstand der Untersuchung war. Da zur Beschreibung des Reinigungserfolgs Mittelwerte aus den Messwerten gebildet wurden, lag es nahe für die statistische Analyse und Auswertung auf einen mathematischen Hypothesentest, dem Zweistichproben t-Test zurückzugreifen. Dieser prüft wie sich zwei Mittelwerte unabhängiger Stichproben zueinander verhalten und erlaubt daraus Schlüsse auf Signifikanz. Das P-Niveau wurde auf 5% festgelegt. Dies wurde auch von Linkevicius et. al. 2013 in ihrer Untersuchung so angewandt, da es ein gängiges Niveau für wissenschaftliche Analysen ist.

## **6.6 Diskussion der Ergebnisse**

Vorliegende Studie hat den Fokus auf der qualitativen Aussage und ist als Pilotstudie zu verstehen, welche die Umsetzbarkeit und Aussagekraft der hier dargestellten Methoden überprüft oder mögliche Effekte und Zusammenhänge findet, die in einer Folgestudie überprüft oder verwendet werden sollen. Demnach lässt sich zusammenfassend und unter Berücksichtigung der Limitierungen dieser Studie erschließen, dass es schwierig bis nahezu unmöglich ist alle Zementreste bei subgingival liegenden Kronenrändern zu entfernen. Die Nullhypothese hat sich jedoch bestätigt. Die gründlichste Reinigung der Implantatoberfläche gelingt bei vestibulär supragingival liegenden Kronenrändern, mit dem Verwenden von Zinkoxidphosphatzement zur Befestigung der Restauration und mit durchgeführter Reinigung durch Edelmetallinstrumente. Die Literatur beschreibt, dass selbst nach sorgfältigstem Entfernen des Zementüberschusses, trotzdem einige Zementpartikel im periimplantären Sulcus zurückbleiben (Chaar et. al. [23]), (Sailer et. al. [79]). Ob in der prothetischen Versorgung von Implantaten schrauben-, oder zementfixierte Suprakonstruktionen bessere mechanische und biologische Ergebnisse liefern und daher überlegen sind, ist nach wie vor umstritten, nachdem Vor- und Nachteile beider Seiten identifiziert wurden (Wittneben et. al. [101]). Viele Autoren

haben sich bereits mit der Problematik der zurückbleibenden Zementreste befasst und Untersuchungen durchgeführt. Eine vollständige Reinigung ist nur unter voller optischer Kontrolle und visueller Zugänglichkeit möglich, was allerdings in Konflikt mit den ästhetischen Anforderungen von prothetischen Restaurationen vor allem in Frontzahnbereich steht. Zu diesem Schluss kamen bereits 1997 Agar et. al. in einer ähnlich aufgebauten Studie. Hierbei untersuchten sechs unterschiedlich erfahrene Kliniker den Reinigungserfolg unter Verwendung drei verschiedener Zementarten und Küretten. Die Ergebnisse dieser Studie waren eindeutig. Unabhängig von der Erfahrung waren Proben mit Resinzement mit Abstand am schlechtesten zu reinigen als solche befestigt mit Glasionomer-, oder Zinkoxidphosphatzement ( $1,1 \text{ mm}^2$  Remnants pro Quadrant zu  $0,2 \text{ mm}^2$ ). Das ist eine Verringerung der durch Zementreste bedeckten Fläche von 81,8%. R. Agar betont hier deutlich, dass Zahnärzte, welche Kronen mit subgingivalen Rändern zementieren, keinerlei Möglichkeit haben, die Zementreste und Rauigkeit die sie verursachen zu bewerten und zu entdecken [2]. Desweiteren wurde auch hier gezeigt, dass sich unter Verwendung von zum Titan vergleichsweise harten Edelstahlküretten ausgeprägte Oberflächenbeschädigungen zwangsläufig ergeben, die abhängig vom Behandler auch extreme Ausmaße annehmen können, jedoch hinterlässt auch der Gebrauch von Kunststoffküretten keine unbeschädigte Oberfläche [2]. Linkevicius und seine Arbeitsgruppe zeigten einen signifikanten Anstieg der unbemerkten Zementmenge bei tiefer subgingival liegenden Restaurationsrändern. In fünf Gruppen (Gruppe 1 – Kontrolle 1 mm supragingival / Gruppe 2 – isogingival / Gruppe 3 – 1 mm subgingival / Gruppe 4 – 2 mm subgingival / Gruppe 5 – 3 mm subgingival) wurden individuelle prothetische Abutments hergestellt und in einem Gipsmodell und künstlicher flexibler Gingiva befestigt. Die Restaurationen wurden durch resin-modifizierten Glasionomerzement (Fuji Plus) zementiert. Edelstahlküretten wurden für die Reinigung verwendet. Die größte Menge wurde bei den Gruppen 4 und 5 gefunden (0,0051 g und 0,0063 g), am wenigsten bei Gruppe 1 (0,0003 g) [52]. Diese Ergebnisse decken sich mit denen der vorliegenden. Auch hier stieg die Menge zurückbleibenden Zements mit tiefer liegenden Restaurationsrändern. In einer klinischen Studie von Linkevicius et. al. wurden die gewonnenen In-vitro-Ergebnisse überprüft. Hierbei wurden 53 mit Metallkeramikrestaurationen versorgte Einzelimplantate untersucht. Die subgingivale Restaurationsrandlage wurde jeweils an vier Stellen gemessen und die Daten in vier Gruppen aufgeteilt. Gruppe 1 – isogingival (14), Gruppe 2 – 1mm subgingival (56), Gruppe 3 – 2mm subgingival (74), Gruppe 4 – 3mm subgingival (68). Auch in dieser In-vivo-Überprüfungsstudie wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den Probengruppen festgestellt. Je weiter subgingival die Zementierungsfuge gesetzt wird, desto mehr bleiben nichtentfernte Zementreste zurück (0,055

zu 0,002). Auch können durch radiologische Kontrolle Überschüsse mesial und distal kenntlich gemacht werden, jedoch gibt der Autor hier an, dass Zahnrontgenaufnahmen nicht unbedingt als zuverlässige Methode für das Aufspüren von verbliebenen Zement angesehen werden sollte [53]. Durch den vestibuloralen Strahlengang und damit einhergehender Überlagerung der Strukturen auf dem Röntgenbild lassen sich vestibuläre und orale Anteile der Implantat-Aufbau-Konstruktion nicht beurteilen. Behr et. al bestätigten in ihrer Studie, dass eine nahezu vollständige Entfernung an Zementüberschüssen nur unter Verwendung von Zinkoxidphosphatzement möglich ist (Behr et. al. [9]). Wasiluk und seine Arbeitsgruppe untersuchten in einer klinischen Studie die Häufigkeit der zurückbleibenden Zementreste an monolithischen Zirkonoxidkronen auf individualisierten Titanabutments. Klinisch unentdeckter Zement war bei 44 von 60 (73,3%) Restaurationen sichtbar. Die Mehrheit der Zementreste konnte an distalen (17,9%) und mesialen (15%) Flächen ausgemacht werden. Auch fand die vorliegende Studie die größten Rückstände in allen Versuchsreihen jeweils in den approximalen Bereichen. Unterschiede der gefundenen Menge an Zement fanden sich auch bei der Implantatposition. An 61,1% der Implantate im Prämolarenbereich und an 75,8% der Implantate im Molarenbereich fanden sich Überschüsse. Hieraus wurde geschlossen, dass die Verwendung von individuellen Abutments Vorteile in Sachen Entfernung überschüssigen Zements mit sich bringen, jedoch nicht garantieren sämtliche Überschüsse entfernt zu bekommen (Wasiluk et. al. [94]). Canullo und seine Arbeitsgruppe zeigten in ihrer In-vivo-Studie überraschend niedrige Anteile an zurückbleibenden Zementresten, im Vergleich zu den Daten, welche sonst in der Literatur zu diesem Thema verfügbar sind. Über alle Versuchsreihen gemittelt ergab sich eine bedeckte Fläche der Implantate von 0,25 mm<sup>2</sup>. Dies liegt jedoch wahrscheinlich an der modifizierten Zementierungstechnik, die in dieser Studie angewandt wurde. In der Untersuchungsgruppe „externe Zementierung“ wurde ein Polyurethan Kunststoffnachbau der Abutments angefertigt. Nach Auftragen eines dünnen Films an eugenol-freiem Zinkoxidzement wurden die Suprakonstruktionen auf den Abutmentnachbau bis zur Endposition aufgesteckt und sofort wieder abgenommen. Überschüssiger Zement wurde vor der Zementierung auf den klinisch inserierten Titanabutments extraoral entfernt. Somit konnte sichergestellt werden, dass ein minimaler aber ausreichender Film an Zement verwendet wird und Zementüberschuss minimiert wurde [21]. Die vorliegende Studie hat auf dieses aufwändigere Zementierungsprotokoll verzichtet, da Möglichkeiten der Reinigung durch unterschiedliche Instrumente und Zemente im Vordergrund standen. Konfiguration B der vorliegenden Studie wurde ermittelt, um den Reinigungserfolg einer normalen Restauration im Seitenzahnbereich mit subgingival liegenden Restaurationsrändern zu ermitteln. Die Befestigung durch Resinzement

und Reinigung durch implant Deplaquers Kunststoffküretten entspricht einem durchaus gängigen Behandlungsprotokoll für eine Implantatversorgung in der zahnärztlichen Praxis. Das Reinigungsergebnis mit einer Bewertungsnote von 2,433 zeigt, dass eine vollständige Reinigung hier nicht möglich war. Es kann also geschlossen werden, dass vielleicht erfahrenere Kliniker mehr zurückbleibende Zementreste entfernt bekommen, jedoch die rückstandslose Reinigung für dieses Behandlungsprotokoll schwierig ist. Bertoldi et. al. untersuchten die Oberflächenbeschädigung von Titanimplantaten durch low-vacuum scanning electron microscopy (LV-SEM) und fanden heraus, dass die Verwendung von Titan-Küretten im Vergleich zu Edelstahl- oder Kunststoffküretten eine nur minimale Veränderung der Oberfläche bewirkt (Roughness parameters: S – stainless steel 0,160 / T – titanium 0,102 / P – plastic tip 0,149) und damit die Anheftung von Biofilmen erschwert, bzw. die Integrität des Implantats bewahren kann [12], denn Gruben und Furchen fördern die bakterielle Besiedelung und die Oberflächenrauigkeit spielt eine besonders wichtige Rolle bei der De-Novo Biofilmbildung [87]. Auch die vorliegende Studie fand signifikanten Unterschied zwischen Kunststoff- und Edelstahlinstrumenten nach REM-Analyse. Die entstandenen Kratzer unterschieden sich in Quantität und Qualität. Die Titanstruktur weist im Vergleich zum medizinischen Edelstahl geringere Härtegrade auf (HV 10 von ca. 250 für Titan zu über 300 für Edelstahl). Somit entsteht eine Ritzbarkeit der Oberfläche. Die entstehenden Oberflächenschäden sind sehr ausgeprägt. Kunststoffküretten hinterlassen zwar durchaus Spuren auf der Implantatoberfläche, jedoch sind diese nicht so deutlich wie bei der Verwendung von Edelstahlinstrumenten. Die Hersteller versprechen hier mit kohlefaserverstärkten Kunststoffen ausreichende Stabilität und Festigkeit der Instrumente zur Zemententfernung bei gleichzeitiger minimaler Veränderung von Metalloberflächen. Vorliegende Studie konnte zeigen, dass derartige Kunststoffinstrumente zwar die Metalloberfläche verändern und Spuren hinterlassen, diese jedoch als klein zu bewerten sind. Die Entfernung des Zementüberschusses hingegen ist als ungenügend zu betrachten, vor allem beim Gebrauch von adhäsiven Zementen. Am ausgeprägtesten ist jedoch die Beschädigung der Oberfläche durch maschinelle Instrumente wie Ultraschallscaler. Durch ihre schwingenden Arbeitsspitzen entsteht ein großer Wirkungsgrad, was eine zügige und effektive Entfernung von Zementresten und Auflagerungen erlaubt, jedoch eine deutliche Oberflächenbeschädigung auf Titan mit sich bringt, währenddessen auf natürlicher Zahnhartsubstanz ein eher glättender Effekt entsteht [35]. Auf den untersuchten Proben vorliegender Studie kann man durchaus von einer massiven Veränderung der Implantatoberfläche sprechen. Die Integrität der Titanstruktur wird an den touchierten Bereichen vollständig zerstört. Im direkten Vergleich der Lichtmikroskop- und REM-Aufnahmen aus den Versuchsreihen O1 bis O8 vorliegender Studie sind die

Unterschiede zu erkennen. Gehrke et. al. untersuchten 2018 ebenfalls in einer in-vitro-Studie die Auswirkungen auf die Integrität mit Titan beschichteter CAD/CAM Abutments durch verschiedene Reinigungsinstrumente. Gemessen wurde die Oberflächenrauigkeit. Verwendet wurden hier eine Kunststoffkürette, eine Titankürette sowie ebenfalls ein Ultrasonic Scaler mit Edelstahlspitze. Die Manipulation der Oberfläche durch den US-Scaler resultierte auch hier in einer signifikanten Erhöhung der Rauigkeit. Teilweise wurden auch Abplatzungen der Titanbeschichtung beobachtet. Gehrke empfiehlt strikt die Anwendung maschineller Instrumente bei der Reinigung von Titanoberflächen zu unterlassen [34]. Schmidt und seine Arbeitsgruppe fanden in ihrer In-vitro-Studie ein ähnliches Ergebnis. Untersucht wurde die Oberflächenrauigkeit auf Titanimplantaten nach Bearbeitung durch unterschiedliche Reinigungsinstrumente, darunter auch die in der vorliegenden Studie, und damit einhergehender Biofilmformation. Die größte Rauigkeit und Beschädigung der Oberfläche fand sich beim Anwenden von Edelstahlinstrumenten im Vergleich zu solchen mit Arbeitsenden aus Kunststoff. Bei diesen Versuchsreihen ergab sich auch signifikanter Unterschied in der Biofilmformation im Vergleich zur unbehandelten Titanoberfläche. Jedoch fand sich kein signifikanter Unterschied in der Biofilmformation zwischen instrumentierter und Kontrolloberfläche in den Versuchsreihen mit Arbeitsenden aus Kunststoff [83]. Eine andere Arbeitsgruppe fand in ihrer In-vitro-Untersuchung ähnliche Ergebnisse [78]. Die Integrität der Implantatoberfläche hängt grundsätzlich davon ab, welches Instrument zur Reinigung bzw. Bearbeitung verwendet wird [46]. Dentalküretten aus Edelstahl zeigen deutlich größere Oberflächenveränderungen und Beschädigungen an Implantaten als solche mit Arbeitsenden aus Kunststoff [31]. Auch das Anwenden von Pulverstrahlgeräten mit Glycinpulver zeigt sich unbedenklich [77], [61]. Auch vorliegende Studie konnte keine signifikanten Veränderungen der Implantatoberfläche nach der Behandlung im Vergleich zu unbehandelten Proben feststellen. Außerdem zeigen sich diese als sehr effektiv in der Entfernung des Biofilms ähnlich wie die Anwendung von Ultraschallscalern mit Kunststoffarbeitsspitzen [15], [42], [36]. In klinischer Studie zeigte sich eine Behandlung von an periimplantärer Mukositis erkrankten Patienten durch Pulverstrahler als angemessen, um Implantate gesund zu erhalten [56]. Die Instrumentierung der Titanoberfläche durch Nicht-Edelstahlinstrumente resultiert zwar in einer Oberflächenbeschädigung, diese ist jedoch nicht ausgeprägt genug, um signifikanten Unterschied in der Plaqueanlagerung und Biofilmformation zu verursachen [55]. In einer klinischen Kontrollstudie von Al Ghazal et. al. wurden 20 Patienten (25 Implantate) über einen Zeitraum von 12 Monaten in ein Implantatnachsorgeprogramm aufgenommen. Untersucht wurde die Effektivität der Reinigung durch EMS Airflow Pulverstrahler mit Glycinpulver und die Instrumentierung durch Titanküretten. Die

Konzentration an Interleukin im periimplantären Sulkus sowie der klinische Parameter BOP (englisch: Bleeding on probing, deutsch: Blutung auf Sondieren), wurden für die Ermittlung des Entzündungsgrades und damit dem Reinigungserfolg herangezogen. Nach Auswertung der Daten ergab sich kein signifikanter Unterschied in der Reduktion des BOP (40,04% zu 39,93%). Beide Methoden zeigten sich in der Reduzierung der periimplantären Entzündung als effektiv [4]. Diese Ergebnisse decken sich mit denen von Schmidt und Louropoulou. Die Instrumentierung mit Nicht-Edelstahlinstrumenten erhält die Integrität der Implantate bei gleichzeitig ausreichendem Reinigungserfolg.



## 7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Auch wenn die Ergebnisse von In-vitro-Untersuchungen nur mit Einschränkungen auf den klinischen Bereich übertragbar sind, wird aus der vorliegenden Studie deutlich und ist zu empfehlen, dass eine Reinigung zunächst möglichst vollständig mit Kunststoffküretten und anschließend falls nötig mit Edelstahlküretten lokalisiert durchzuführen ist, um eine möglichst unversehrte Implantatoberfläche und damit die Integrität dieser zu erhalten. Maschinell betriebene Instrumente wie Ultraschallscaler mit Edelstahlsitzen sollten nicht zum Einsatz kommen. Die Suprakonstruktionen sollten mit Zinkoxidphosphatzement befestigt werden. Dieser zeigt ausreichende Retention bei gleichzeitig geringer adhäsiver Eigenschaften, was im Vergleich zu Glasionomer- und Kompositzementen die vollständigste Reinigung erlaubt. Im Seitenzahnbereich sollte die Implantatschulter vestibulär und oral sichtbar und im Frontzahnbereich unter Berücksichtigung der ästhetischen Anforderungen maximal marginal positioniert werden oder auf zahnfarbene Alternativen zurückgegriffen werden. Unter dem Aspekt der kontrollierbaren Lage des Kronenrandes sollte die Verwendung von Standard-Abutments unterlassen werden, und möglichst auf individuell hergestellte Abutments zurückgegriffen werden, da hier der Rand dem Verlauf der Gingiva und dem Emergenzprofil des Implantates angepasst werden kann und somit möglichst geringe Unterschnitte erzeugt werden, welche das Entfernen der Zementreste weiter erschweren würden. Individuell gefräste Titanabutments, durch BioHPP® überpresste Titgrundgerüste, oder Zirkonoxidabutments zeigen sich hier als geeignet um den Restaurationsrand zirkulär in einen vertretbaren Bereich zu legen. Die Anfertigung eines Röntgenbildes nach dem Einsetzen ist zu empfehlen, um gerade approximal verbliebene Überschüsse zu entdecken und entfernen zu können. Allerdings müssen entsprechende Aufnahmen immer kritisch hinterfragt werden, da es naturgegeben unmöglich ist, vestibuläre und orale Flächen auf Zahnfilmen zu beurteilen, aufgrund von Überlagerungen mit dem Implantat-Abutment Komplex. Alternativ können hier dental-endoskopische Untersuchungsmethoden zum Einsatz kommen. Darüber hinaus sind engmaschige Recall-Termine anzusetzen, um das periimplantäre Gewebe zu beobachten und frühzeitig eventuell erforderliche Maßnahmen zu ergreifen. Der sulcus bleeding index (SBI), die Sondierungstiefe in Millimeter und das bleeding on probing (BOP) sind Indikatoren für periimplantäre Krankheitsbilder [26]. Bei Anzeichen von periimplantärer Entzündung haben sich für die Gesunderhaltung der Gewebe das Anwenden von Ultraschallscälern mit Plastikaufsätzen sowie von Pulverstrahlern mit Glycinpulver im Recall als effektiv in der Biofilmentfernung erwiesen. Weitere Studien sind erforderlich, um festzustellen, ob sich das Ergebnis der aktuellen In-vitro-Untersuchung in klinischer Situation wiederholt.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] **Adell R.**, Lekholm U., Rockler B., Branemark P.I., Jemt T. (1990) Long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*: **5**; 347
- [2] **Agar R.**, Cameron S., Hughbanks C., Parker M. (1997) Cement removal from restorations luted to titanium abutments with simulated subgingival margins. *The Journal of Prosthetic Dentistry*: **78/1**; 43-47
- [3] **Albrektsson T.**, Chrcanovic B., Östman P., Sennerby L. (2017) Initial and long-term crestal bone response to modern dental implants. *Periodontology 2000*: **73**; 41-50
- [4] **Al Ghazal L.**, O'Sullivan J., Claffey N., Polyzois I. (2017) Comparison of two different techniques used for the maintenance of peri-implant soft tissue health: a pilot randomized clinical trial. *Acta Odontologica Scandinavica*: **75 (7)**; 542-549
- [5] **Al-Nawas B.**, Grötz K. A., Wahlamann U., Wegener J., Müller F., Wagner W. (2013) Rekonstruktion knöcherner und weichteiliger Implantatlagerdefekte nach Verlust von Extensionsimplantaten. *Zahnärztliche Implantologie*: **16**; 185
- [6] **Amboss** Miamed (2017)  
[https://amboss.miamed.de/wissen/Epidemiologische\\_Studientypen](https://amboss.miamed.de/wissen/Epidemiologische_Studientypen)
- [7] **Andreoni C.**, Meier T., Camin M., Hari M. (1992) Die Versorgung von Oberkiefer-Frontzahnücken mit dem Branemark-Implantatsystem - zwei Fallberichte. *Implantologie*: **3**; 239
- [8] **Atieh M.A.**, Alsabeeha N., Duncan W.J. (2018) Stability of tapered and parallel-walled dental implants: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Implant Dentistry & Related Research*: May 15
- [9] **Behr M.**, Spitzer A., Preis V., Weng D., Gosau M., Rosentritt M. (2014) The extent of luting agent remnants on titanium and zirconia abutment analogs after scaling. *International Journal of Oral Maxillofacial Implants*: **29**; 1185-1192
- [10] **Bencharit S.**, Staffen A., Yeung M., Whitley D. 3rd, Laskin D.M., Deeb G.R. (2018) In Vivo Tooth-Supported Implant Surgical Guides Fabricated With Desktop Stereolithographic Printers: Fully Guided Surgery Is More Accurate Than Partially Guided Surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*: **DOI**: 10.1016
- [11] **Berberi A.**, Le Breton G., Mani J., Woimant H., Nasseh I. (1993) Lingual paresthesia following surgical placement of implants: report of a case. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*: **8**; 580

- [12] **Bertoldi C.**, Lusuardi D., Battarra F., Sassatelli P., Spinato S., Zaffe D. (2017) The maintenance of inserted titanium implants: in-vitro evaluation of exposed surfaces cleaned with three different instruments. *Clinical Oral Implants Research*: **28**; 57-63
- [13] **Beuer F.**, Beuer S., Schaller P., Schweiger J., Stimmelmayer M. (2015) Verschrauben oder Zementieren? Eine praktische Entscheidung! *Implantologie - Die Zeitschrift für die Praxis*: **23/2**; 131-137
- [14] **Blanes R.J.**, Bernard J.P., Blanes Z.M., Belser U.C. (2007) A 10-year prospective study of ITI dental implants placed in the posterior region. II: influence of the crown-to-implant ratio and different prosthetic treatment modalities on crestal bone loss. *Clinical Oral Implants Research*: **18**; 707-714
- [15] **Blasi A.**, Iorio-Siciliano V., Pacenza C., Pomingi F., Matarasso S., Rasperini G. (2016) Biofilm removal from implants supported restoration using different instruments: a 6-month comparative multicenter clinical study. *Clinical Oral Implant Research*: **27 (2)**; 68-73
- [16] **Bosshardt D.**, Chappuis V., Buser D. (2017) Osseointegration of titanium, titanium alloy and zirconia dental implants: current knowledge and open questions. *Periodontology 2000*: **73**; 22-40
- [17] **Bredent Group** (2017) BioHPP elegance Hybridabutments. [www.bredent.com](http://www.bredent.com)
- [18] **Buchs A.U.**, Levine L., Moy P. (2001) Preliminary report of immediately loaded alviva natural tooth replacement dental implants. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*: **3**; 97-106
- [19] **Busscher H.J.**, Rinastiti M., Siswomihardjo, W., van der Mei, H.C. (2010) Biofilm formation on dental restorative and implant materials. *Journal of Dental Research*: **89**; 657-665
- [20] **Cacaci C.**, Neugebauer J., Schlegel A., Seidel F. (2006) Orale Implantologie, Kapitel 3 Indikation und Kontraindikation in der Implantologie. *Georg Thieme Verlag*: **p 25-40**
- [21] **Canullo L.**, Cocchetto R., Marinotti F., Penarrocha Oltra D., Penarrocha Diago M., Loi I. (2016) Clinical evaluation of an improved cementation technique for implant-supported restorations: a randomized controlled trial. *Clinical Oral Implant Research*: **27**; 1492-1499
- [22] **Caricasulo R.**, Malchiodi L., Ghensi P., Fantozzi G., Cucchi A. (2018) The influence of implant-abutment connection to peri-implant bone loss: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Implant Dentistry & Related Research*: May 15

- [23] **Chaar M.S.**, Att W., Strub J.R. (2011) Prosthetic outcome of cement-retained implant-supported fixed dental restorations: a systematic review. *Journal of Oral Rehabilitation*: **38**; 697-711
- [24] **Cochran D.L.**, Hermann J.S., Schenk R.K., Higginbottom F.L., Buser D. (1997) Biologic width around titanium implants. A histometric analysis of the implanto-gingival junction around unloaded and loaded nonsubmerged implants in the canine mandible. *Journal of Periodontology*: **68**; 186-198
- [25] **Cook S. D.**, Weinstein A. M., Klawitter J. J. (1982) Parameters affecting the stress distribution around LTI carbon and aluminiumoxide implants. *Journal of Biomedical Materials Research*: **16**; 875
- [26] **Dalago H. R.**, Filho G. S., Pessoa Rodrigues M. A., Renvert S., Bianchini M. A. (2017) Risk indicators for Peri-implantitis. A cross-sectional study with 916 implants. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*: **28**; 144-150
- [27] **Donath K.**, Laaß M., Günzl H.-J. (1992) The histopathology of different foreign-body reactions in oral soft tissue and bone tissue. *Virchows Archiv A Pathological Anatomy and Histopathology*: **420**; 131
- [28] **Ekkfeldt A.**, Carlsson G.E., Börjesson G. (1994) Clinical evaluation of single-tooth restorations supported by osseointegrated implants: a retrospective study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*: **9**; 179
- [29] **Ekkfeldt A.** Fürst B., Carlsson G.E. (2017) Zirconia abutments for single-tooth implant restorations: a 10- to 11-year follow-up study. *Clinical Oral Implant Research*: **28 (10)**; 1303-1308
- [30] **Ericsson I.**, Lindhe J. (1993) Probing depth at implants and teeth. An experimental study in the dog. *Journal of Clinical Periodontology*: **20**; 623-627
- [31] **Espedito Di Lauro A.**, Morgese F., Squillace A., Ramaglia L. (2003) In vitro effects on rough implant surfaces of different instrumentations used in the surgical therapy of peri-implantitis. *Minerva Stomatologica*: **52 (1-2)**; 1-7
- [32] **Garg P.**, Gupta G., Prithviraj D.R., Pujari M. (2013) Retentiveness of various luting agents used with implant-supported prostheses: a preliminary in vitro study. *International Journal of Prosthodontics*: **26**; 82-84
- [33] **Gargiulo A.**, Wentz F., Orban B. (1961) Dimensions and relations of the dentogingival junction in humans. *Journal of Periodontology*: **32**; 261

- [34] **Gehrke P.**, Spanos E., Fischer C., Storck H., Tebbel F., Duddeck D. (2018) Influence of scaling procedures on the integrity of titanium nitride coated CAD/CAM abutments. *Journal of Adv. Prosthodontics*: **10 (3)**; 197-204
- [35] **Graetz C.**, Plaumann A., Wittich R., Springer C., Kahl M., Dörfer C.E., El-Sayed K.F. (2017) Removal of simulated biofilm: an evaluation of the effect on root surfaces roughness after scaling. *Clinical Oral Investigation*: **21 (4)**; 1021-1028
- [36] **Hakki S.S.**, Tatar G., Dundar N., Demiralp B. (2017) The effect of different cleaning methods on the surface and temperature of failed titanium implants: an in vitro study. *Journal of Lasers in Medical Science*: **32 (3)**; 563-571
- [37] **Hermann J.S.**, Buser D., Schenk R.K., Schoolfield J.D., Cochran D.L. (2001) Biologic Width around one- and two-piece titanium implants. *Clinical Oral Implants Research*: **12**; 559
- [38] **H&H Innovation** (2018) Materialdatenblatt Edelstahl 316L. [https://www.huh.de/fileadmin/dateien/pdfs/Materialdatenblaetter/huh\\_Materialdatenblatt\\_Edelstahl.pdf](https://www.huh.de/fileadmin/dateien/pdfs/Materialdatenblaetter/huh_Materialdatenblatt_Edelstahl.pdf)
- [39] **Higuchi K.W.**, Folmer T., Kultje C. (1995) Implant survival Rates in partially edentulous Patients: A 3-year prospective multicenter study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*: **53**; 264-268
- [40] **Ivanovski S.**, Lee R. (2018) Comparison of peri-implant and periodontal marginal soft tissues in health and disease. *Periodontology 2000*: **76 (1)**; 116-130
- [41] **Javed F.**, Almas K., Crespi R., Romanos G.E. (2011) Implant surface morphology and primary stability: is there a connection? *International Journal of Implant Dentistry*: **20**; 40-46
- [42] **Ji Y.J.**, Tang Z.H., Wang R., Cao J., Cao C.F., Jin L.J. (2014) Effect of glycine powder air-polishing as an adjunct in the treatment of peri-implant mucositis: a pilot clinical trial. *Clinical Oral Implant Research*: **25 (6)**; 683-689
- [43] **Keith S.E.**, Miller B.H., Woody R.D., Higginbottom F.L. (1999) Marginal discrepancy of screw-retained and cemented metal-ceramic crowns on implant abutments. *The International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*: **14**; 369
- [44] **Keller W.**, Bragger U., Mombelli A. (1998) Periimplant microflora of implants with cemented and screw retained suprastructures. *Clinical Oral Implants Research*: **9**; 209-217
- [45] **Khoury F.** (1994) Zur Problematik der Nervverletzungen bei implantologischen Maßnahmen im Unterkiefer. *Zahnärztliche Implantologie*: **10**; 183

- [46] **Kister F.**, Specht O., Warkentin M., Geis-Gerstorfer J., Rupp F. (2017) Peri-implantitis cleaning instrumentation influences the integrity of photoactive nanocoatings. *Dental Materials*: **33 (2)**; 69-78
- [47] **Koeck B.**, Wagner W. (2004) Implantologie, Kapitel 1.4 Einteilung der Implantate. *Studienausgabe der 2. Auflage 2004 Elsevier GmbH, München, Urban und Fischer Verlag*: p 4-5
- [48] **Korsch M.**, Obst U., Walther W (2014) cement-associated peri-implantitis: a retrospective clinical observational study of fixed implant-supported restorations using a methacrylate cement. *Clinical Oral Implant Research*: **25**; 797-802
- [49] **Korsch M.**, Robra B.P., Walther W. (2015) Zementassoziierter Attachmentverlust, Retrospektive Analyse von Weichgewebereaktionen nach Zementierung. *Implantologie - Die Zeitschrift für die Praxis*: **23/2**; 187-194
- [50] **Korsch M.**, Marten S.M., Dötsch A., Jauregui R., Pieper D., Obst U. (2016) Effect of dental cements on peri- implant microbial community: comparison of the microbial communities inhabiting the peri-implant tissue when using different luting cements. *Clinical Oral Implant Research*: **27**; 161-166
- [51] **Lang N.P.**, Berglundh T. (2011) Peri-implant diseases: where are we now? Consensus of the seventh European Workshop on Periodontology. *Journal of Clinical Periodontology*: **38**; 178-181
- [52] **Linkevicius T.**, Vindasiute E., Puisys A., Peciuliene V. (2011) The influence of margin location on the amount of undetected cement excess after delivery of cement-retained implant restorations. *Clinical Oral Implants Research*: **22**; 1379-1384
- [53] **Linkevicius T.**, Vindasiute E., Puisys A., Linkeviciene L., Maslova N., Puriene A. (2013) The influence of the cementation margin position on the amount of undetected cement. A prospective clinical study. *Clinical Oral Implants Research*: **24**; 71-76
- [54] **Linkevicius T.**, Puisys A., Vindasiute E., Linkeviciene L., Apse P. (2013) Does residual cement around implant-supported restorations cause peri-implant disease? A retrospective case analysis. *Clinical Oral Implant Research*: **24**; 1179-1184
- [55] **Louropoulou A.**, Slot D.E., Van der Weijden F. (2015) Influence of mechanical instruments on the biocompatibility of titanium dental implants surfaces: a systematic review. *Clinical Oral Implant Research*: **26 (7)**; 841-850
- [56] **Lupi S.M.**, Granati M., Butera A., Collesano V, Rodriguez Y., Baena R. (2017) Air-abrasive debridement with glycine powder versus manual debridement and chlorhexidine

- administration for the maintenance of peri-implant health status: a six-month randomized clinical trial. *International Journal of Dental Hygiene*: **15 (4)**; 287-294
- [57] **Marxkors R.**, Meiners H., Geis-Gerstorfer J. (2008) Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde – Kapitel 4.1 Befestigungszemente. *Deutscher Zahnärzte Verlag*: p **57-61**
- [58] **Marxkors R.**, Meiners H., Geis-Gerstorfer J. (2008) Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde – Kapitel X, 32 Glasionomer-Zemente. *Deutscher Zahnärzte Verlag*: p **239**
- [59] **Marxkors R.**, Meiners H., Geis-Gerstorfer J. (2008) Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde – Kapitel X, 27 Komposite. *Deutscher Zahnärzte Verlag*: p **239**
- [60] **Marxkors R.**, Meiners H., Geis-Gerstorfer J. (2008) Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde – Kapitel Anhang. *Deutscher Zahnärzte Verlag*: p **321-330**
- [61] **Mengel R.**, Buns. C.E., Mengel C., Flores-de-Jacoby L. (1998) An in vitro study of the treatment of implant surfaces with different instruments. *International Journal of Maxillofacial Implants*: **13 (1)**; 91-96
- [62] **Möllersten L.**, Lockowandt P., Linden L.A. (1997) Comparison of strength and failure mode of seven implant systems. *Journal of Prosthetic Dentistry*: **78**; 582
- [63] **Nedir R.**, Bischof M., Szmukler-Moncler S., Belser U.C., Samson J. (2006) Prosthetic complications with dental implants: from an up-to-8-year experience in private practice. *The International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*: **21**; 919-928
- [64] **Nematollahi F.**, Beyabanaki E., Alikhasi M. (2016) Cement Selection for Cement-Retained Implant-Supported Prosthesis: A Literature Review. *Journal of Prosthodontics*: **25**; 599-606
- [65] **Nentwig G.H.** (2004) Zahnärztliche Implantologie heute - am Beispiel des Ankylos Systems. *Zahnarzt Magazin*: p **28**
- [66] **Nordahl N.**, Vult von Steyern P., Larsson C. (2015) Fracture strength of ceramic monolithic crown systems of different thickness. *Journal of Oral Scientifics*: **57 (3)**; 255-261
- [67] **Norton M.R.** (1997) An in vitro evaluation of the strength on an internal conical interface compared to a butt joint interface in implant design. *Clinical Oral Implants Research*: **8**; 290
- [68] **Obst U.**, Marten S.M., Niessner C., Hartwig E., Korsch M., Walther W. (2012) Diversity of patients microflora on orthopaedic and dental implants. *The International Journal of Artificial Organs*: **35**; 727-734

- [69] **Papavasileiou D.**, Behr M., Gosau M., Gerlach T., Buegers R. (2015) Peri-implant Biofilm Formation on Luting Agents Used for Cementing Implant-Supported Fixed Restorations: A Preliminary In Vivo Study. *International Journal of Prosthodontics*: **28**; 371-373
- [70] **Pauletto N.**, Lahiffe B.J., Walton J.N. (1999) Complications associated with excess cement around crowns on osseointegrated implants: a clinical report. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*: **14**; 865
- [71] **Raval N.C.**, Wadhvani, C.P., Jain, S., Darveau, R.P. (2014) The interaction of implant luting cements and oral bacteria linked to peri-implant disease: an in vitro analysis of planktonic and biofilm growth - a preliminary study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*: **17**; 1029-1035
- [72] **Renvert S.**, Polyzois I. (2018) Treatment of pathologic peri-implant pockets. *Periodontology 2000*: **76 (1)**; 180-190
- [73] **Renvert S.**, Quirynen M. (2015) Risk indicators for peri-implantitis. A narrative review. *Clinical Oral Implant Research*: **26**; 15-44
- [74] **Richter E.J.** (2004) Implantologie, Kapitel 4.2 Allgemeines zur Konzeption von Implantatsystemen. *Studienausgabe der 2. Auflage 2004 Elsevier GmbH, München, Urban und Fischer Verlag*: p **48-50**
- [75] **Richter E.J.** (2004) Implantologie, Kapitel 4.3 Festigkeit und Stabilität. *Studienausgabe der 2. Auflage 2004 Elsevier GmbH, München, Urban und Fischer Verlag*: p **48-50**
- [76] **Richter E.J.** (2004) Implantologie, Kapitel 9.6 Festsitzender Zahnersatz: Verschrauben oder Zementieren? *Studienausgabe der 2. Auflage 2004 Elsevier GmbH, München, Urban und Fischer Verlag*
- [77] **Ronay V.**, Merlini A., Attin T., Schmidlin P.R., Sahrman P. (2017) In vitro cleaning potential of three implant debridement methods. Simulation of the non-surgical approach. *Clinical Oral Implant Research*: **28 (2)**; 151-155
- [78] **Sahrman P.**, Ronay V., Hofer D., Attin T., Jung R.E., Schmidlin P.R. (2015) In vitro cleaning potential of three different implant debridement methods. *Clinical Oral Implant Research*: **26 (3)**; 314-319
- [79] **Sailer, I.**, Mühlemann, S., Zwahlen, M., Hämmerle, C.H., Schneider, D. (2012) Cemented and screw-retained implant reconstructions: a systematic review of the survival and complication rates. *Clinical Oral Implant Research*: **23**; 163-201
- [80] **Sancho-Puchades M.**, Cramer D., Özcan M., Sailer I., Jung R.E., Hämmerle C.H.F., Thoma D.S. (2017) The influence of the emergence profile on the amount of undetected



- cement excess after delivery of cement-retained implant reconstructions. *Clinical Oral Implant Research*: **28**; 1515-1522
- [81] **Schedle A.**, Franz A., Rausch-Fan X., Spittler A., Lucas T., Samorapoompichit P., Sperr W., Boltz-Nitulescu G. (1998) Cytotoxic effects of dental composites, adhesive substances, compomers and cements. *Journal of Dental Materials*: **14**; 429-440
- [82] **Schlagenhauf U.**, Jakob L., Eigenthaler M., Segerer S., Jockel-Schneider Y., Rehn M. (2016) Regular consumption of Lactobacillus reuteri-containing lozenges reduces pregnancy gingivitis: an RCT. *Journal of Clinical Periodontology*: **43 (11)**; 948-954
- [83] **Schmidt K.E.**, Ausschill T.M., Heumann C., Frankenberger R., Eick S., Sculean A., Arweiler N.B. (2017) Influence of different instrumentation modalities on the surface characteristics and biofilm formation on dental implant neck, in vitro. *Clinical Oral Implant Research*: **28 (4)**; 483-490
- [84] **Tan B.**, Gillam D.G., Mordan N.J., Galgut P.N. (2004) A preliminary investigation into the ultrastructure of dental calculus and associated bacteria. *Journal of Clinical Periodontology*: **31**; 364-369
- [85] **Tarnow D.P.**, Cho S.C., Wallace S.S. (2000) The effect of inter-implant distance on the height of inter-implant bone crest. *Journal of Periodontology*: **71**; 546
- [86] **Tetsch P.** (1991) Enossale Implantation in der Zahnheilkunde. *Hanser Verlag 2. Auflage*
- [87] **Teughels W.**, Van Assche N., Sliepen I., Quirynen M. (2006) Effect of material characteristics and/or surface topography on biofilm development. *Clinical Oral Implants Research*: **17**; 68-81
- [88] **Thyssenkrupp Materials Service Schweiz** (2018) Titangrad 4. [http://www.thyssenkrupp.ch/documents/Titan\\_Grade\\_4\\_A.pdf](http://www.thyssenkrupp.ch/documents/Titan_Grade_4_A.pdf)
- [89] **Thyssenkrupp Materials Service** (2018) Edelstahl 316LVM 1.4542. [http://www.thyssenkrupp.ch/documents/4542\\_4548\\_17\\_4ph.pdf](http://www.thyssenkrupp.ch/documents/4542_4548_17_4ph.pdf)
- [90] **Vindasiute E.**, Puisys A., Maslova N., Linkeviciene L., Peciuliene V., Linkevicius T. (2015) Clinical Factors Influencing Removal of the Cement Excess in Implant-Supported Restorations. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*: **17**; 771-778
- [91] **Wadhvani C.**, Rapoport D., La Rosa S., Hess T., Kretschmar S. (2012) Radiographic detection and characteristic patterns of residual excess cement associated with cement-retained implant restorations: A clinical report. *The Journal of Prosthetic Dentistry, University of Washington*: **107/3**; 151-157

- [92] **Wagner W., Al Nawas B.** (2004) Implantologie, Kapitel 5.5 Konstruktionsprinzipien der Implantate am Durchtritt durch die Weichgewebe. *Studienausgabe der 2. Auflage 2004 Elsevier GmbH, München, Urban und Fischer Verlag: p 72-78*
- [93] **Wagner W., Al Nawas B.** (2004) Implantologie, Kapitel 5.4 Konstruktionsprinzipien im enossalen Anteil. *Studienausgabe der 2. Auflage 2004 Elsevier GmbH, München, Urban und Fischer Verlag: p 72-78*
- [94] **Wasiluk G., Chomik E., Gehrke P., Pietruska M., Skurska A., Pietruski J.** (2016) Incidence of undetected cement on CAD/CAM monolithic zirconia crowns and customized CAD/CAM implant abutments. A prospective case series. *Clinical Oral Implant Research: 00*; 1-5
- [95] **Weibrich G., Buch R.S., Wegener J., Wagner W.** (2001) Five year prospective Follow-up Report of the Astra Tech Standard Dental Implant in Clinical Treatment. *Journal of Oral and Maxillofacial Implants: 16/4*; 557-562
- [96] **Weibrich G., Wagner W.** (2004) Implantologie, Kapitel 6.5 Operatives Vorgehen: Implantation. *Studienausgabe der 2. Auflage 2004 Elsevier GmbH, München, Urban und Fischer Verlag*
- [97] **Weibrich G., Wagner W.** (2004) Implantologie, Kapitel 6.8 Perioperative Komplikationen. *Studienausgabe der 2. Auflage 2004 Elsevier GmbH, München, Urban und Fischer Verlag*
- [98] **White D.J.** (1997) Dental calculus: recent insights into occurrence, formation, prevention, removal and oral health effects of supragingival and subgingival deposits. *European Journal of Oral Sciences: 105*; 508-522
- [99] **Wilson T.G. Jr.** (2009) The positive relationship between excess cement and peri-implant disease: a prospective clinical endoscopic study. *Journal of Clinical Periodontology: 80*; 1388-1392
- [100] **Winkler S., Morris H.F., Ochi S.** (2000) Implant survival to 36 months as related to length and diameter. *Journal of Periodontology Online – Annals of Periodontology: 5*; 22-31
- [101] **Wittneben, J.G., Millen, C., Brägger, U.** (2014) Clinical performance of screw- versus cement- retained fixed implant-supported reconstructions– a systematic review. *International Journal of Oral Maxillofacial Implants: 29*; 84-98
- [102] **Wolfart S., Kern M.** (2015) Zementieren von implantatgetragenen Restaurationen. *Implantologie - Die Zeitschrift für die Praxis: 23/2*; 161-172

- [103] **Younes F.**, Cosyn J., De Bruyckere T., Cleymaet R., Bouckaert E., Eghbali A. (2018) A randomized controlled study on the accuracy of free-handed, pilot-drill guided and fully guided implant surgery in partially edentulous patients. *Journal of Clinical Periodontology*: **DOI**: 10.1111
- [104] **Zeza B.**, Pilloni A. (2012) Peri-implant mucositis treatments in humans: a systematic review. *Annali di Stomatologia (Roma)*: **3**; 83-89
- [105] **Zoidis P.**, Papathanasiou I. (2016) Modified PEEK resin-bonded fixed dental prosthesis as an interim restoration after implant placement. *Journal of Prosthetic Dentistry*: **116 (5)**; 637-641

## 9      **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1 <i>Skizzen zum periimplantären Gewebe</i> .....	19
Abbildung 2 <i>Schema Kürette und Scaler</i> .....	23
Abbildung 3 <i>Versuchsskizze Reinigungserfolg</i> .....	24
Abbildung 4 <i>Versuchsaufbau zur Darstellung der Oberflächenbeschädigung</i> .....	25
Abbildung 5 <i>a Scaler, b Implant Deplaquer, c Micron Air-Scaler, d Pulverstrahler</i> ....	27
Abbildung 6 <i>a unbehandeltes Implantat Keyence-Aufnahme, b REM-Aufnahme BEI</i> ...	36
Abbildung 7 <i>a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O1, Keyence, 100X, Bearbeitung mit Edelmetallkürette</i> .....	37
Abbildung 8 <i>a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O5, Keyence, 100X, Bearbeitung mit Edelmetallkürette</i> .....	38
Abbildung 9 <i>a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O1, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O5, 50X</i> .....	39
Abbildung 10 <i>a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O1, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O5, 100X</i> .....	40
Abbildung 11 <i>a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O2, Keyence, 100X, Bearbeitung mit Implant Deplaquers</i> .....	41
Abbildung 12 <i>a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O6, Keyence, 100X, Bearbeitung mit Implant Deplaquers</i> .....	42
Abbildung 13 <i>a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O2, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O6, 50X</i> .....	43
Abbildung 14 <i>a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O2, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O6, 100X</i> .....	44
Abbildung 15 <i>a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O3, Keyence, 100X, Bearbeitung mit Cumdente US-Scaler</i> .....	45
Abbildung 16 <i>a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O7, Keyence, 100X, Bearbeitung mit Cumdente US-Scaler</i> .....	46
Abbildung 17 <i>a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O3, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O7, 100X</i> .....	47
Abbildung 18 <i>a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O3, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O7, 1000X</i> .....	48
Abbildung 19 <i>a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O4, Keyence, 100X, Bearbeitung mit Airflow</i> .....	49
Abbildung 20 <i>a bukkale Fläche und b approximale Fläche Versuchsreihe O8,</i>	

<i>Keyence, 100X, Bearbeitung mit Airflow .....</i>	50
<i>Abbildung 21 a SEI-Aufnahme Versuchsreihe O4, b BEI-Aufnahme Versuchsreihe O8, 50X .....</i>	51
<i>Abbildung 22 a Versuchsreihe O4 SEI-Aufnahme 100X, b SEI-Aufnahme 1000X .....</i>	52
<i>Abbildung 23 a unbehandeltes Implantat SEI-Aufnahme 100X, b SEI-Aufnahme 1000X .....</i>	53
<i>Abbildung 24 a Keyence, Edelstahlkürette 150X, b Keyence Edelstahlkürette 50X 3D .....</i>	54
<i>Abbildung 25 a und b Implant Deplaquer seitlich, Keyence, 150X, c Implant Deplaquer Fazialfläche, Keyence, 150X .....</i>	55
<i>Abbildung 26 a Kohlefasern, Keyence, 200X, b Kohlefasern, Keyence, 400X .....</i>	56
<i>Abbildung 27 a Implant Deplaquer Spitze, SEI-Aufnahme, 100X, b Implant Deplaquer Schaft, SEI-Aufnahme, 100X .....</i>	57
<i>Abbildung 28 Evidenzpyramide .....</i>	62
<b>10 Tabellenverzeichnis</b>	
<i>Tabelle 1 Versuchsreihenaufbau .....</i>	29
<i>Tabelle 2 Einteilung der Bewertungskriterien .....</i>	30
<i>Tabelle 3 Errechnete Durchschnittswerte der Konfigurationen A bis G .....</i>	32
<i>Tabelle 4 Statistische Analyse .....</i>	58
<i>Tabelle 5 Einzelergebnisse der Untersuchungen zum Reinigungserfolg .....</i>	84
<i>Tabelle 6 Materialliste .....</i>	85
<b>11 Diagrammverzeichnis</b>	
<i>Diagramm 1 Auswertung Säulendiagramm .....</i>	34
<i>Diagramm 2 Auswertung Netzdiagramm .....</i>	35

## 12 Anhang

Tabelle 5 Einzelergebnisse der Untersuchungen zum Reinigungserfolg

	Zahn	app. mesial	app. distal	mesiobukkal	distobukkal	mesiooral	distooral
<b>R1</b>	16	4	3	1	2	2	2
	15	2	3	1	2	4	3
	14	2	2	1	1	4	4
<b>R2</b>	16	3	3	1	1	1	2
	15	2	2	1	1	2	2
	14	2	2	1	1	2	2
<b>R3</b>	16	2	2	1	1	1	1
	15	2	2	1	1	1	1
	14	1	1	1	1	1	1
<b>R4</b>	26	4	5	2	3	2	2
	25	3	4	2	1	2	2
	24	2	3	2	2	2	3
<b>R5</b>	26	3	3	2	2	1	2
	25	2	3	2	2	1	2
	24	2	2	2	2	1	1
<b>R 6</b>	26	2	2	1	1	1	1
	25	2	2	1	1	1	1
	24	2	2	1	1	1	1
<b>R7</b>	23	3	3	3	2	2	2
	21	3	2	2	1	1	3
<b>R8</b>	23	2	2	1	2	2	1
	21	2	1	1	1	2	2
<b>R 9</b>	23	3	3	2	2	3	3
	21	3	2	2	2	4	3
<b>R10</b>	13	3	3	2	3	3	3
	21	3	2	2	1	1	2
<b>R11</b>	13	1	2	1	1	1	1
	21	2	2	1	1	2	2
<b>R 12</b>	23	2	3	2	2	2	2
	21	2	2	1	2	2	2
<b>R13</b>	16	4	4	2	2	2	3
	26	4	4	2	2	2	2
	21	3	3	1	1	3	3
<b>R14</b>	16	3	3	1	1	1	1
	26	3	3	2	1	1	1
	21	3	3	1	1	3	3
<b>R 15</b>	16	3	3	2	2	2	2
	15	3	3	2	1	2	2
	14	3	3	2	2	2	2
<b>R 16</b>	26	4	3	2	2	2	2
	25	3	3	2	2	2	2
	24	3	3	1	1	2	2

Tabelle 6 Materialliste

STRAUMANN Standard Plus Demo-Implantate Ø4,1mm RN Titan Grad 4 10mm REF: 433.562V5 LOT: LE232 Qty.: 5 Institut Straumann AG.CH-4002 Basel-Schweiz
STRAUMANN RN Solid Demo-Abutment 6° grau H 5,5mm Titan Grad 4, REF: 148.541V5 LOT: FK306 Qty.: 5 Institut Straumann AG.CH-4002 Basel-Schweiz
FRASACO AG-3 Arbeitsmodell-Permanentgebiss mit Zahnfleischmaske
FRASACO AG-3 Z Zahn-Satz mit 32 gnathologisch geformten Frasaco-Zähnen mit Schrauben
FRASACO Gesichtsmaske zur Nachahmung von Wangen und Lippen
Klinische Phantomeinheit
Modellierwachs
OMIDENT Silikon Knetmasse (Kondensationsvernetzend) mit Härterpaste
3M ESPE Provisorien Kunststoff Protemp™ 4 BIS-Acrylat-Composite mit neuer Generation hochentwickelter Nanofüller
3M ESPE Glasionomer-Befestigungszement Ketac™ Cem
HARVARD Zinkoxidphosphatzement normal härtend
KURARAY Panavia F2.0 Complete Kit Resin-Zement
Zahnärztlicher Mundspiegel
Zahnärztliche Pinzette
HU-FRIEDY Scaler gewinkelt SM 236 und CVW/8
HU-FRIEDY Universalkürette SC2R/2L6 und SC4R/4L6
KERR DENTAL Implant Deplaquers
Zementanmischspatel
Heidemannspatel
KOMET Fränsenset
ORASCOPTIC Lupenbrille mit 2,5x Vergrößerung
VHX-5000 Digital Mikroskop Multiscan Keyence Corporation
CAM SCAN Maxim MKS Instruments Rasterelektronenmikroskop mit Bruker Nano X-Flash Detektor 6/30
DREWE Gumquick flexibles Zahnfleischmaskenmaterial
ULTRASONIC Air-Scaler Micron SSS der Firma Cumdente mit P1 Paro-Kürettenaufsatz
PERIOMATE Pulverstrahler der Firma NSK REF: Y1002655
PERIOMATE Glycinpulver

### **13 Eidesstattliche Versicherung**

„Ich, Maximilian Hackhofer, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema „In-Vitro-Untersuchung zum Reinigungserfolg zementierter Suprakonstruktionen auf Tissue-Level-Implantaten unter besonderer Berücksichtigung der Kronenrandlage“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

---

Ort, Datum

---

Unterschrift



## **14 Lebenslauf**

*Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.*

*Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.*

## **15 Danksagung**

Herrn Prof. Dr. med. dent. Peter R. Pospiech möchte ich herzlich für die freundliche Überlassung des Themas, die immer fachkundige und wertvolle Betreuung, Zusammenarbeit und Unterstützung an der Charité - Universitätsmedizin Berlin in der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre, sowie der Zahnklinik Würzburg bedanken.

Herzlich danken möchte ich auch Vorklinikleiter Dr. med. dent. Julian Boldt der Zahnklinik Würzburg und Zahntechnikmeister Herrn Thomas Riedner für die Bereitstellung geeigneter Laborplätze und -räume, sowie für die ihre wissenschaftliche Beratung und Unterstützung zur Versuchsdurchführung.

Der Straumann GmbH, sowie dem Fachbereich Prothetik der Zahnklinik Würzburg möchte ich danken für die Bereitstellung der Implantate und Abutments, sowie der Dentalzemente zur Durchführung der Versuchsreihen.

Aus dem Bereich Werkstoffanalyse danke ich Herrn Prof. Dr. rer. nat. Wolf-Dieter Müller, Leiter des Bereichs zahnärztliche Werkstoffkunde und Biomaterialforschung an der Charité – Universitätsmedizin Berlin und seinen Mitarbeitern für die Bereitstellung des Licht- und Rasterelektronenmikroskops und die immer freundliche Hilfestellung bei der Durchführung.

Meinen Eltern danke ich herzlich für ihre liebevolle Unterstützung, die weit über den Rahmen dieser Doktorarbeit hinausreicht. Ich möchte ihnen daher diese Arbeit widmen.