

Aus der Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde,
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

Direktor: Prof. Dr. Matthias Karl

Klinisch anwendbare Reinigungsverfahren für Implantat-Abutment-Verbindungen

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät der
UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2024

vorgelegt von:

Lilly Katharina Lang

geboren am: 29.07.2000 in Neunkirchen (Saar)

Tag der Promotion: 04.11.2024

Dekan: Prof. Dr. Matthias Hannig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Matthias Karl

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Matthias Hannig

Für meine Eltern und meine Großeltern

Inhaltsverzeichnis

1 ZUSAMMENFASSUNG	1
1.1 Zusammenfassung.....	1
1.2 Summary	3
2 EINLEITUNG	5
2.1 Literaturübersicht	5
2.2 Ziel der Arbeit	9
3 MATERIAL UND METHODE	10
3.1 Vorbereitende Arbeiten.....	10
3.2 Untersuchung an halbierten Implantaten	16
3.3 Untersuchung an intakten Implantaten.....	19
4 ERGEBNISSE	21
4.1 Ergebnisse der halbierten Implantate	21
4.2 Ergebnisse der intakten Implantate	26
5 DISKUSSION	29
6 LITERATURVERZEICHNIS	35
7 PUBLIKATION	43
8 DANKSAGUNG	52
9 LEBENSLAUF	53
10 ANHANG	54

Abkürzungsverzeichnis

IAC = Implant-Abutment-Connection

CAD/CAM = Computer-aided-design/Computer-aided manufacturing

UCLA = University of California, Los Angeles

ROI = Region of interest

CHX = Chlorhexamed = Chlorhexidin

PEEK = Polyetheretherketon

EDDY = Eigenname für schallaktivierbare Spülspitze aus Polyamid

REM = Rasterelektronenmikroskop

1 Zusammenfassung

1.1 Zusammenfassung

In der zahnärztlichen Implantologie gehören technische Komplikationen wie Frakturen von Abutments zur klinischen Realität. Nach der Entfernung gebrochener Komponenten wird die Wiederherstellung einer neuen Implantat-Abutment-Verbindung erforderlich. Dabei gilt es, Materialrückstände wie Titanabrieb im Implantat zu entfernen, um eine passgenaue neue Verbindung zu erhalten. Jedoch liegt bislang keine verlässliche Methode vor, die eine sichere und schonende Reinigung des Implantats für die Aufnahme eines neuen Abutments gewährleistet.

Ziel dieser In-vitro-Studie war es, verschiedene klinische Reinigungsmethoden zur Entfernung von Titanpulver aus der Implantat-Abutment-Verbindung zu evaluieren. Ferner sollten das damit verbundenen Risiko einer Beschädigung des Implantat-Innengewindes beurteilt sowie auf die Perspektive einer weiteren Nutzung des Implantats mit einem neuen Abutment eingegangen werden.

Es wurden spezielle Prüfkörper aus halbierten Implantaten hergestellt und durch Einbringen von Titanpulver in die Implantat-Abutment-Verbindung kontaminiert bzw. verunreinigt. Sieben Reinigungsmethoden mit jeweils fünf Prüfkörpern kamen zur Anwendung: 1-Ultraschallscaler, 2-Aktivierte Spülung mit Chlorhexamed und Endospülspitzen (EDDY), 3-Airflow mit Natriumbicarbonat, 4-Airflow und Chlorhexamed-Spülung, 5-Airflow mit Natriumbicarbonat und EDDY, 6-Airflow mit Glycin-Pulver und 7-Airflow mit Erythritol-Pulver. Nach den Reinigungsdurchgängen wurden beide Seiten der Implantat-Prüfkörper lichtmikroskopisch anhand einer 4-Grade-Bewertung auf Verunreinigung und Beschädigung beurteilt.

Um eine Prognose hinsichtlich einer erfolgreichen klinischen Weiterverwendung abgeben zu können, führte man an Originalimplantaten weitere mechanische Untersuchungen durch. Vor Kontamination sowie nach Kontamination und erfolgter Reinigung mit den drei auffälligsten Reinigungsmethoden der ersten Versuchsreihe (1-Ultraschallscaler, 2-Airflow mit Natriumbicarbonat und 5-Airflow mit Natriumbicarbonat und EDDY) wurden Abutments in die Implantate eingedreht und simultan Drehmomentverläufe aufgezeichnet. Die Abutment-Stabilität erfasste man mittels Periotestmessungen.

Die statistische Auswertung der visuellen Bewertungen basierte auf Kruskal-Wallis-Tests und dem Nemenyi-All-Pairs-Test mit einstufiger P-Wert-Korrektur, während die Stabilität und das Drehmoment der Abutments mittels Varianzanalyse und Tukey-HSD-Tests ($\alpha = 0,05$) analysiert wurden.

Die Ergebnisse der Bewertungskategorie Verunreinigung zeigen, dass bei Methode 1-Ultraschallscaler eine signifikant geringere Kontamination der Implantat-Abutment-Verbindung vorlag als bei 7-Airflow mit Erythritol-Pulver ($p = 0,002$). Dies gilt auch für den Vergleich von 7-Airflow/Erythritol-Pulver mit 2-aktivierter Spülung mit EDDY ($p = 0,021$), mit 3-Airflow/Natriumbicarbonat in Kombination mit Chlorhexamed ($p = 0,002$) sowie mit 5-aktivierter Spülung (Natriumbicarbonat und EDDY; $p = 0,007$).

Nach Airflowanwendung (Methode 3) führte die Chlorhexamed-Spülung (Methode 4) zu einer signifikanten Reduzierung der Kontamination ($p = 0,010$); das Gleiche gilt für Airflowanwendung im Vergleich zu Airflow plus aktiviertes Spülen/EDDY (Methode 5; $p = 0,029$). Erhebliche Beschädigungen wurden bei 7-Airflow mit Erythritol-Pulver aufgrund von Ansammlungen des Strahlmediums beobachtet; nach der Anwendung des 1-Ultraschallscalers waren deutliche Kratzspuren zu sehen. 5-Airflow mit Natriumbicarbonat in Kombination mit aktivierter Spülung zeigten die geringste Beschädigung im Vergleich zu 1-Ultraschallscaler ($p = 0,030$).

Hinsichtlich der perspektivischen Wiederverwendbarkeit eines Implantates mit neuem Abutment führte die Verwendung des 1-Ultraschallscalers zu einer signifikanten Abnahme der Abutmentstabilität ($p = 0,048$; Periotestmessungen), während 2-aktivierte Spülung mit EDDY und die Kombination aus Airflow und aktivierter Spülung (Methode 5) die Abutmentstabilität nicht signifikant beeinflussten. Die durchgeführten Drehmomentuntersuchungen zeigten, dass bei Implantaten, die nach Kontamination mittels aktivierter Spülung (Methode 5) gereinigt wurden, das Eindrehen der Abutments ein signifikant höheres Drehmoment ($p = 0,009$) erforderte als dies beim Eindrehen vor der Verunreinigung der Fall war.

Aus den vorliegenden Untersuchungen lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass hinsichtlich der Bewertungskriterien Verunreinigung, Beschädigung, Abutmentstabilität und Eindrehmoment das aktivierte Spülen der Implantat-Abutment-Verbindung eine zweckmäßige Reinigungsmethode darstellt. Durch eine vorausgehende Anwendung von Airflow mit Natriumbicarbonat als Strahlmedium lässt sich die Reinigungseffizienz erhöhen, um eine sichere Weiterverwendung des Implantates zu gewährleisten.

1.2 Summary

In dental implantology, technical complications such as fractures of abutments are a clinical reality. After removal of broken components, restoration of a new implant-abutment-connection becomes necessary. It is important to remove material residues such as titanium abrasion in the implant in order to obtain a precisely fitting new connection. However, there is currently no reliable method that ensures safe and gentle cleaning of the implant to accommodate a new abutment.

The aim of this in vitro study was to evaluate different clinical cleaning methods for removing titanium powder from the implant-abutment connection. Furthermore, the associated risk of damage to the implant internal thread should be assessed and the prospect of continued use of the implant with a new abutment should be considered.

Special test specimens were made from halved implants and contaminated by introducing titanium powder into the implant-abutment-connection. Seven cleaning methods with five test specimens each were used: 1-Ultrasound scaler, 2-Activated irrigation with chlorhexidine and Endo Irrigation Tip (EDDY), 3-Airflow with sodium bicarbonate, 4-Airflow and chlorhexidine irrigation, 5-Airflow with sodium bicarbonate and EDDY, 6-Airflow with glycine powder and 7-Airflow with erythritol powder. After the cleaning cycles, both sides of the implant test specimens were assessed for contamination and damage using a light microscope and a 4-grade assessment scale.

In order to be able to make a prognosis regarding successful continuing clinical use, further mechanical tests were carried out on pristine implants. Before contamination and after contamination and cleaning with the three most noticeable cleaning methods from the first series of tests (1-Ultrasonic scaler, 2-Airflow with sodium bicarbonate and 5-Airflow with sodium bicarbonate and EDDY), abutments were screwed into the implants and torque curves were recorded simultaneously. The abutment stability was recorded using Periotest measurement.

Statistical analysis of the visual assessments was based on Kruskal-Wallis tests and the Nemenyi All Pairs test with single step P value correction, while the stability and torque of the abutments were determined using analysis of variance and Tukey HSD tests ($\alpha = 0.05$).

Contamination results show that method 1-Ultrasonic scaler had significantly less contamination of the implant-abutment connection than method 7-Airflow with erythritol powder ($p = 0.002$). This also applies to the comparison of 7-Airflow/erythritol powder with

method 2-Activated rinse/EDDY ($p = 0.021$), with 3-Airflow/sodium bicarbonate in combination with chlorhexidine ($p = 0.002$) and with 5-Activated rinse (sodium bicarbonate and EDDY; $p = 0.007$).

After airflow application (method 3), chlorhexidine irrigation (method 4) resulted in a significant reduction in contamination ($p = 0.010$). The same applies to airflow application compared to airflow plus activated rinsing/EDDY (Method 5; $p = 0.029$). Significant damage was observed on 7-Airflow with erythritol powder due to buildup of the blasting medium. After using the 1-Ultrasound scaler, clear scratch marks could be seen. 5-Airflow with sodium bicarbonate combined with activated irrigation (EDDY) showed the least damage compared to 1-Ultrasound scaler ($p = 0.030$).

With regard to the prospective reusability of the implant with a new abutment, the application of the 1-Ultrasound scaler led to a significant decrease in abutment stability ($p = 0.048$; Periotest measurements), while the 2-Activated irrigation with EDDY and the combination of airflow and activated irrigation (method 5) did not significantly influence abutment stability. The torque studies carried out revealed that for implants that were cleaned after contamination using activated irrigation (Method 5), screwing in the abutments required a significantly higher torque ($p = 0.009$) than was the case when screwing in before contamination.

The present investigations allow the conclusion that activated rinsing of the implant-abutment connection represents an appropriate cleaning method with regard to the evaluation criteria of contamination, damage, abutment stability and insertion torque. By previously using airflow with sodium bicarbonate as a blasting medium, the cleaning efficiency can be increased to ensure safe continued use of the implant.

2 Einleitung

2.1 Literaturübersicht

Die Nutzung von *osseointegrierten* Implantaten weist gute Langzeitergebnisse im Hinblick auf Überlebens- und Erfolgsrate auf (KATSAVOCHRISTOU, KOUMOULIS, 2019) und gilt als vorhersagbar. Zahnärztliche Implantate können umfassend in prothetischen Versorgungskonzepten eingesetzt werden (GUPTA *et al.*, 2024). Sie haben ihre Indikation als Einzelzahnersatz (MAYER *et al.*, 2002), Brückenkonstruktionen (MAYER *et al.*, 2002), zur Verankerung herausnehmbarer Prothesen (GRAY, PATEL, 2021; MIZUMOTO *et al.*, 2018) bis hin zu Hybridprothesen im Sinne des All-on-four-Konzeptes (SOTO-PENALOZA *et al.*, 2017).

Dabei kommen überwiegend zweiteilige Implantate zum Einsatz. Diese bestehen aus dem osseointegrierten Implantatkörper und dem durch die Gingiva reichenden Abutment, das durch eine Schraube im Innengewinde des Implantates eine Verbindung bildet (GUPTA *et al.*, 2024). Diese wird, aus dem Englischen abgeleitet, als Implant-Abutment-Connection (= IAC) bezeichnet.

Trotz der guten Langzeiterfolge von Implantaten kommt es immer wieder zu mechanischen Komplikationen (JÖRN *et al.*, 2014; KATSAVOCHRISTOU, KOUMOULIS, 2019). Diese bestanden in 11% der Fälle aus einer Lockerung der Abutmentschraube und in 0,6% bis 8% aus einer Schraubenfraktur (KATSAVOCHRISTOU, KOUMOULIS, 2019; YI *et al.*, 2021). Diese wurden besonders im Bereich der ersten Molaren und der mittleren Inzisiven des Oberkiefers beschrieben (KATSAVOCHRISTOU, KOUMOULIS, 2019), wobei es zum Verbleiben von Fragmenten in der IAC kam (LEE *et al.*, 2015b).

In Verbindung mit wiederholter Trennung und Neuverbindung des Abutments im Rahmen der prothetischen Phase kann es zur Veränderung der Weichgewebsstruktur aufgrund von bakterieller Kontamination und mechanischem Trauma kommen (SANCHEZ-PEREZ *et al.*, 2020). Dies kann langfristig eine Periimplantitis begünstigen (HARREL *et al.*, 2019).

Darüber hinaus findet man in der Literatur, dass durch Mikrospalten (ALQUTAIBI, ABOALREJAL, 2018), die fertigungsbedingt aufgrund der Toleranzen zwischen unterschiedlichen Chargen entstehen (RAMALHO *et al.*, 2020b) sich das marginale Knochenniveau an der IAC verringert (ALQUTAIBI, ABOALREJAL, 2018; HURSON, 2018). Gleiches gilt auch für Schraubenlockerung (ALQUTAIBI, ABOALREJAL, 2018) und Abrieb

(HURSON, 2018), sowie Mikrobewegungen (ALQUTAIBI, ABOALREJAL, 2018). Dieser marginale Knochenverlust (ALQUTAIBI, ABOALREJAL, 2018; HURSON, 2018; TAHERI et al., 2020) kann langfristig zum Verlust des Implantats führen (LEE, 2014) und kompromittiert sowohl das funktionelle als auch das ästhetische Ergebnis.

Im Zusammenhang mit Mikrospalten wurde in vorherigen Arbeiten auch von relativen Bewegungen in der IAC berichtet (GROBECKER-KARL, KARL, 2017). Da diese unter Kaubelastung stärker ausfielen (KARL, TAYLOR, 2016), wurden sie als kritisch für den klinischen Erfolg angesehen. Die durch funktionelle Kräfte induzierten Mikrobewegungen im Bereich der IAC beeinflussen die Vorspannung der Abutmentschraube (KARL, TAYLOR, 2016; REZAYANI et al., 2020), was zu häufigeren Schraubenlockerungen oder zum Schraubenbruch unter mechanischer Belastung führen kann und damit zu weiteren Komplikationen und Knochenverlust (REZAYANI *et al.*, 2020).

Ebenso beeinflussen die Bedingungen, ob ein Abutment im trockenen oder feuchten Milieu eingedreht wurde, die initiale Vorspannung der Abutmentschraube und damit die Stabilität des Abutments (NIGRO et al., 2010; TZENAKIS et al., 2002). Die durch klinische Bedingungen verursachte Kontamination mit Flüssigkeit wie zum Beispiel Speichel, Blut oder Chlorhexamed (= CHX/Chlorhexidin) während des Eindrehens der Abutmentschraube (GUMUS *et al.*, 2014), beeinflusst die Abutmentstabilität positiv (NIGRO *et al.*, 2010). Trotz der initial besseren Vorspannung (NIGRO et al., 2010; TZENAKIS et al., 2002) kann sie aber zusammen mit dem Phänomen des Abutment-Settling im Zusammenhang mit Kaubelastungen zur bakteriellen Besiedelung der IAC führen (KARL, IRASTORZA-LANDA, 2018) und dennoch eine Schraubenlockerung begünstigen (GUMUS et al., 2014; KOOSHA et al., 2020).

RAMALHO *et al.* beschreiben, dass Titan-Abutments und die UCLA-Abutments, Originalteile des Herstellers, eine bessere Passgenauigkeit aufweisen als individuell mittels CAD/CAM im Dentallabor gefertigte Abutments (RAMALHO *et al.*, 2020a). Eine schlechtere Passgenauigkeit kann neben vielen weiteren Faktoren die Qualität des krestalen Knochens beeinflussen (RAMALHO *et al.*, 2020a). Dazu zählen auch die verwendeten Materialien und ihr Zusammenspiel (HURSON, 2018). IACs sind schwierig zu beurteilen, da unterschiedliche Materialkombinationen vorliegen können (KARL, TAYLOR, 2014). So fand HURSON, 2018, heraus, dass ein Kontakt zwischen Zirkon und Titan sowie zwischen Gold und Keramik an der IAC zur Reduktion des Knochenniveaus führt (HURSON, 2018). Darüber hinaus wird berichtet, dass verschiedene Materialkombinationen unterschiedlich stark die

Abutmentstabilität verändern und es keine optimale Materialkombination in Hinblick auf die Mikrobewegungen gibt (KARL, TAYLOR, 2014).

Des Weiteren wurde beschrieben, dass Bewegungen in der IAC zu Titan-Abrasionen und daraus resultierend durch Partikeleinlagerung zu einer gingivalen Tätowierung führen (TAYLOR *et al.*, 2014). Ursache sind die durch Reibung zwischen den unterschiedlich harten Materialien entstehenden Abriebpartikel, die Schraubenlockerungen und Frakturen der Implantatbestandteile begünstigen (KLOTZ *et al.*, 2011).

Trotz präoperativer Reinigungsmaßnahmen können Mikropartikel wie Schmierstoffe und Titan, die beispielsweise durch die Fertigung entstanden sind, an der Abutmentoberfläche zurückbleiben (CANULLO *et al.*, 2013). Dies kann die Abutmentstabilität, das umgebende Weichgewebe und den Knochenverlust um das Implantat beeinflussen (ALQUTAIBI, ABOALREJAL, 2018; HURSON, 2018). Die Verunreinigung der IAC mit Nanopartikeln verringert zudem die Vorspannung der Abutmentschraube (LEE *et al.*, 2015a), was Instabilitäten zur Folge haben kann. Daher wurde auch die Möglichkeit einer weiteren Versorgung mit selbstschneidenden kürzeren Abutmentschrauben mit bewusst verbleibenden Fragmenten erwogen, ohne weitere Folgen wie zum Beispiel Schraubenlockerungen, Mikrospalten oder periimplantären Knochenverlust zu ermitteln (HANSEN, SALINAS, 2018; YI *et al.*, 2021). Eine weitere Möglichkeit einer Implantat-Weiterverwendung ist in speziellen Reparaturkits zu sehen. Diese sind zwar als risikoreich beschrieben worden (IGARASHI *et al.*, 2019), haben sich andererseits aber auch als recht erfolgreich erwiesen (MIZUMOTO *et al.*, 2018). Hierbei wird mittels des Sets ein neues Innengewinde geschnitten, in das dann ein neues, passendes Abutment eingedreht werden kann (IGARASHI *et al.*, 2019).

All diese Komplikationsmöglichkeiten können auf Dauer zum Verlust des Implantates mit weiterem Knochenverlust führen (MIZUMOTO *et al.*, 2018) und danach neue Versorgungen erschweren (YI *et al.*, 2021). Deshalb ist es erstrebenswert, nach mechanischen Komplikationen das vorhandene Implantat zu reinigen und mit einem neuen Abutment und einer neuen Schraube zu versorgen, so dass wieder eine intakte IAC entsteht (YI *et al.*, 2021). Dies soll durch Reinigungsverfahren erzielt werden. Diese umfassen unterschiedliche Methoden vor der Auslieferung der Abutments variierend vom Wischen bis hin zur Reinigung im Ultraschallbad (WIEDENMANN *et al.*, 2019; YIN *et al.*, 2022) sowie die Reinigung der IAC mittels einer Bürste und unterschiedlichen Spüllösungen (JERVØE-STORM *et al.*, 2021).

Das Reinigen der Abutmentoberfläche und die Entfernung der Partikel wurde zu einem wichtigen Prozedere, um bestehende prothetische Versorgungen mit Schraubenlockerungen

und Frakturen zu erhalten (CARNEIRO TDE *et al.*, 2016). Eine Reinigung der IAC gestaltet sich bei Implantaten besonders schwierig, da die klinische Situation meist nur einen limitierten Zugang und Einsehbarkeit der IAC zulässt, was besonders für Bone Level Implantaten gilt (LEE *et al.*, 2015b). Der Behandler kann während der Reinigung der IAC nur schwer beurteilen, ob diese optimal gereinigt wurde und ob Schäden an der IAC vorliegen (IGARASHI, AFRASHTEHFAR, 2018).

Es fehlen klare Empfehlungen, welche Reinigungsmethode für die IAC außer dem einfachen Spülen mit Chlorhexamed, Wasserstoffperoxid oder Alkohol angewendet werden soll (JERVØE-STORM *et al.*, 2021). Bisher wurden in vorherigen Arbeiten einzelne Reinigungsverfahren auf ihre Eignung getestet, aber nicht vergleichend gegenübergestellt.

HARREL *et al.* beschreiben mikroskopische Veränderungen an der Implantatoberfläche durch Ultraschallinstrumente aus Metall (HARREL *et al.*, 2019). Dabei bestimmen das Material der Instrumentenspitze sowie die Belastung und Kraftapplikation während der Behandlung das Ausmaß der Oberflächenveränderung (MANN *et al.*, 2012). Harz- oder Carbon-Spitzen verursachen geringere Veränderungen auf der zu bearbeitenden Oberfläche (SAHRMANN *et al.*, 2021), Kunststoffspitzen hingegen hinterlassen Materialabrieb in der IAC (CHA *et al.*, 2019; MANN *et al.*, 2012).

In weiteren Veröffentlichungen findet man, dass Polyetheretherketon-Spitzen (= PEEK-Spitzen) Zementrückstände, die durch das Befestigen der Krone nach apikal gelangt sind, entfernen und die Implantatschulter effektiv reinigen können (KOYUNCUOGLU *et al.*, 2020) aber dabei auch Abrieb hinterlassen (CHA *et al.*, 2019). Alternativ wurde Airflow mit verschiedenen Strahlmedien benutzt. Traditionell verwendetes Natriumbicarbonat-Pulver führt zu einer erhöhten Oberflächenrauheit im Vergleich zu Glycin-Pulver (COCHIS *et al.*, 2013), während Erythritol-Pulver nur eine minimale Oberflächenveränderung verursacht (CHEW *et al.*, 2018).

2.2 Ziel der Arbeit

Ziel dieser In-vitro-Studie war es, verschiedene klinisch anwendbare Reinigungsmethoden zur Entfernung von Titanpulver aus der IAC auf ihre Wirksamkeit zu prüfen. Dabei war auch das damit verbundene Risiko einer Schädigung kritischer Grenzflächen im Implantatinnengewinde zu beurteilen. Dadurch sollte es möglich sein, Empfehlungen bezüglich einer möglichen Weiternutzung des Implantates mit einem neuen Abutment abgeben zu können (LANG *et al.*, 2023).

Die Nullhypothese bestand darin, dass keine Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Reinigungsmethoden bestehen und alle gleich effektiv sind und die IAC gleichstark beeinflussen.

3 Material und Methode

3.1 Vorbereitende Arbeiten

Anfertigung der Implantat-Aufhängung

Im ersten Schritt wurde eine Positionierungsvorrichtung für einen Implantat-Abformpfosten aus Technovit®4004 Kunststoff (Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland) angefertigt. Hierbei wurde nach oben ein Stift eingebettet, der senkrecht aus einem Parallelometer in den Kunststoff reichte und nach unten der zu den Implantaten (Ø4.2mm, L11,5mm, AlfaGate, Bonn, Deutschland) passende Abformpfosten (Abb. 1). Hierbei war auf senkrechte Positionierung zu achten, um eine Parallelität zum später verwendeten Sägeblatt zu gewährleisten.

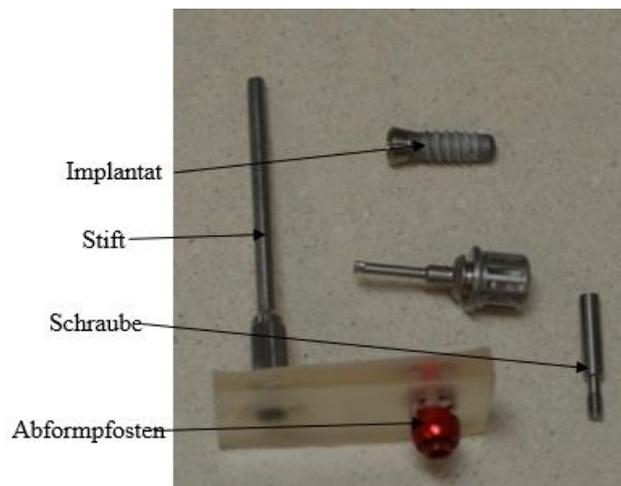


Abb. 1: Aufhänger für Abformpfosten zur genauen Einbettung eines Implantates in Kunststoff

Anfertigung Silikonform

Es wurde eine Form (Abb. 2) mit 9 mm x 35 mm x 7 mm aus Dubliersilikon (Adisil blau 9:1, SILADENT Dr. Böhme & Schöps GmbH, Goslar, Deutschland) unter Zuhilfenahme eines Vakuummischgerätes und einer Präzisionswaage hergestellt.



Abb. 2: Dubliersilikon und Silikonform zur Herstellung identischer Kunststoffblöcke

Anfertigung von Kunststoffblöcken

Die Implantate wurden an die im Parallelometer befestigte Positioniervorrichtung geschraubt und mittig in die vorgefertigte Silikonform positioniert (Abb. 3), um sie dann in autopolymerisierendem Kunststoff Technovit® 4004 einzubetten. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die Implantate auf den Boden der Form stießen und der Kunststoff bis an die Implantatschulter floss.

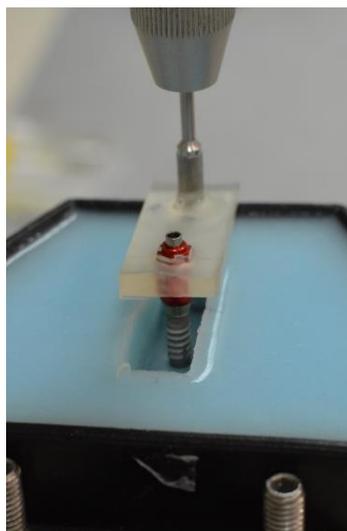


Abb. 3: Das Implantat wird mittels Parallelometer in der Silikonform immer an derselben Stelle positioniert, damit die späteren Implantathälften im Kunststoff identische Position aufweisen.

Befestigung der Kunststoffblöcke auf Objektträgern

Um die Implantate parallel zum Sägeblatt positionieren zu können, wurde nach dem Aushärten des Kunststoffes die Flächen des Prüfkörper mittels einer Schleif- und Poliermaschine (EXAKT 300, EXAKT Advanced Technologies GmbH, Norderstedt, Deutschland, Wasserkühlung 150 ml/10 s, 300 UpM) und eines Schleifpapiers (Körnung P320) geglättet und mittels einer Wasserwaage auf Parallelität und Lot überprüft. Anschließend wurden die Prüfkörper mit Hilfe des Präzisionsklebers Technovit 7210 (Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland) und einer UV-Lampe (EXAKT Advanced Technologies GmbH, Norderstedt, Deutschland) auf zwei Objektträger (75 mm x 25 mm) geklebt (Abb. 4 und 5).

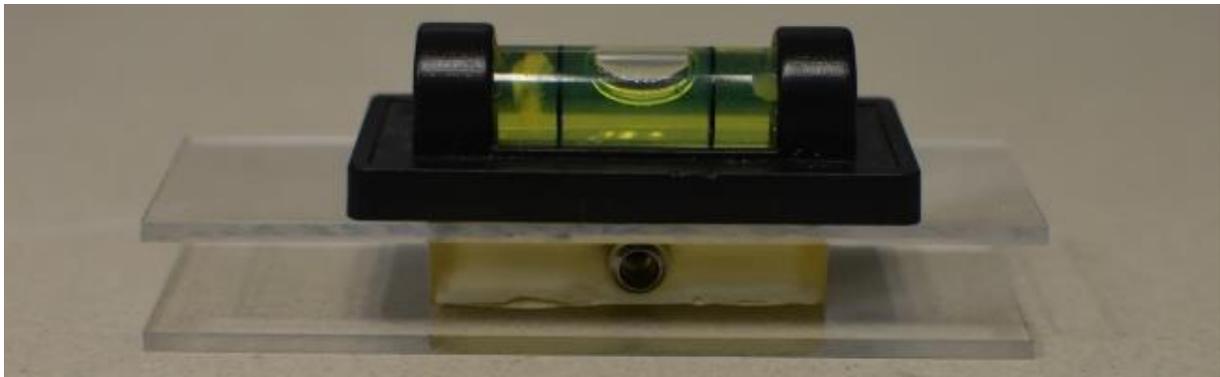


Abb. 4: Kunststoffblock mit Implantat, der mit einer Wasserwaage immer im Lot auf Objektträger positioniert wurde.

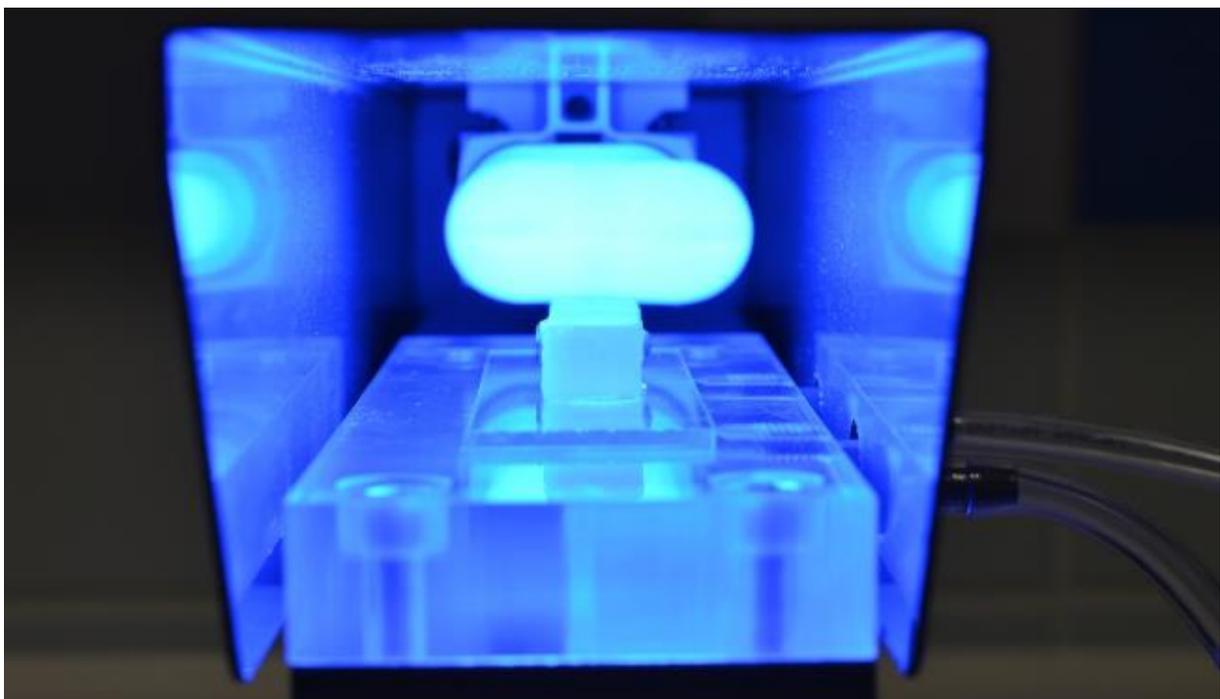


Abb. 5: Kunststoffblock und Objektträger in UV-Lampe während der Aushärtung des Präzisionsklebers

Schneiden der Implantate

Die Implantatblöcke wurden durch Ansaugen des Objektträgers durch eine Vakuumpumpe (KNF DAC GmbH c/o WeWork Companies Inc., Hamburg, Deutschland) in der Präzisionssäge (EXAKT 300, EXAKT Advanced Technologies GmbH, Norderstedt, Deutschland, Sägeblattstärke 0,39 mm) positioniert. Die Mitte der Implantate wurde mittels eines Spiegels über die Abdrehsstelle am apikalen Ende, welche durch die Fertigung der Implantate durch das CAD/CAM-Verfahren entsteht, in der Säge positioniert (Abb. 6). Damit eine Implantathälfte genau 50% des ursprünglichen Implantats betrug, musste die Breite des Sägeblattverlustes berücksichtigt werden. Bei der Positionierung der Prüfkörper war darauf zu achten, dass das Sägeblatt um die Breite des Sägeblattverlustes versetzt von der Mitte weg fixiert wurde, um so einen Prüfkörper mit genau 50% des intakten Implantates zu erhalten. Die Säge wurde unter Wasserkühlung und Verwendung eines Kühlschmierstoffes (COOL Bio 422, Optimal Products Lukas Steinmann e.K., Bad Oeynhausen, Deutschland) zur Reibungsreduktion (Sägegeschwindigkeit 9 von 10, Wiege 50 Kippungen/min) betrieben. Ein Schnittvorgang dauerte durchschnittlich 20 min. Nach dem Schneiden wurden die Objektträger wieder von den Kunststoffblöcken entfernt.

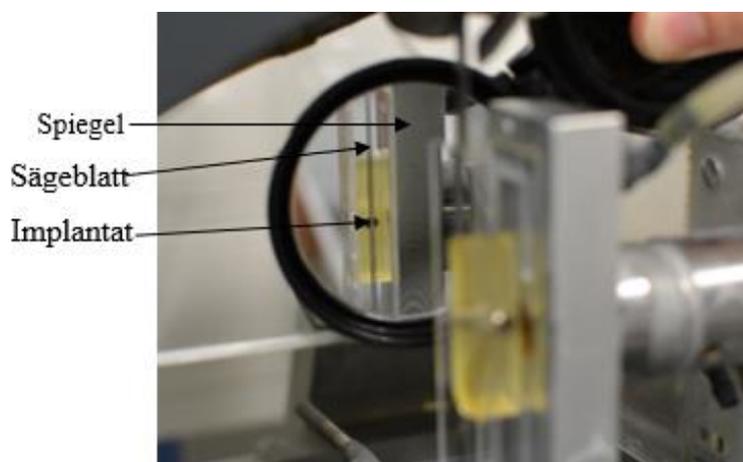


Abb. 6: Positionierung des Implantats in der Präzisionssäge. Es wurde darauf geachtet den Sägeblattverlust an einer Hälfte abzutragen, so dass die andere Hälfte vollständig 50% ausmachte

Zusammensetzen der Implantate

Die nach dem Schneiden entstandenen zu 50% erhalten Teile (Abb. 7A) wurden nun mittels eines Abformpfostens neu zugeordnet. Sie wurden durch zwei Schraubchen (M3, 10 mm) und den dazugehörigen Muttern, die rechts und links neben dem Implantat durch den Kunststoff führten, fixiert (Abb. 7B).

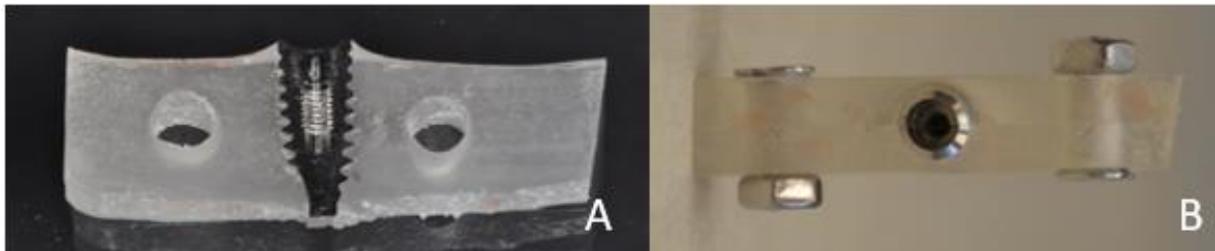


Abb. 7: A) Eine Hälfte des geschnittenen Implantats B) Neu zusammengesetztes und mit Schrauben fixiertes Implantat

Dokumentation der Implantate vor und nach der Reinigung

Nach eindeutiger Zuordnung der Implantat-Hälften wurde durch ein Lichtmikroskop (LEICA DM4B, Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Deutschland), der dazu gehörigen Kamera (LEICA DFC320, Leica Microsystems GmbH) und dem passenden Computer-Programm LAS Steel Expert V4.12 (Leica Microsystems GmbH) der Ausgangszustand dokumentiert. Dazu wurden alle Implantat-Hälften nacheinander unter das Stereomikroskop gelegt, von unten durch das Stereomikroskop beleuchtet und von oben durch Fluoreszenz (Leica Microsystems GmbH) mit maximaler Intensität und durch die Taschenlampe des Samsung Galaxy S10 (Samsung Electronics GmbH, Samsung House, Schwalbach, Deutschland) auf Stufe 5 beleuchtet. Es wurden vier Untersuchungsstellen (ROI = region of interest) definiert und in den Aufnahmen dokumentiert (Tabelle 1 und Abb. 8).

Tabelle 1: Region of interest	
1	Das Hexagon des Implantates in 2,5-facher Vergrößerung
2	Das Innengewinde des Implantates in 2,5-facher Vergrößerung
3	Der linke Abschnitt des Innengewindes in 10-facher Vergrößerung im obersten Anteil des Gewindes
4	Der rechte Abschnitt des Innengewindes in 10-facher Vergrößerung im obersten Anteil des Gewindes

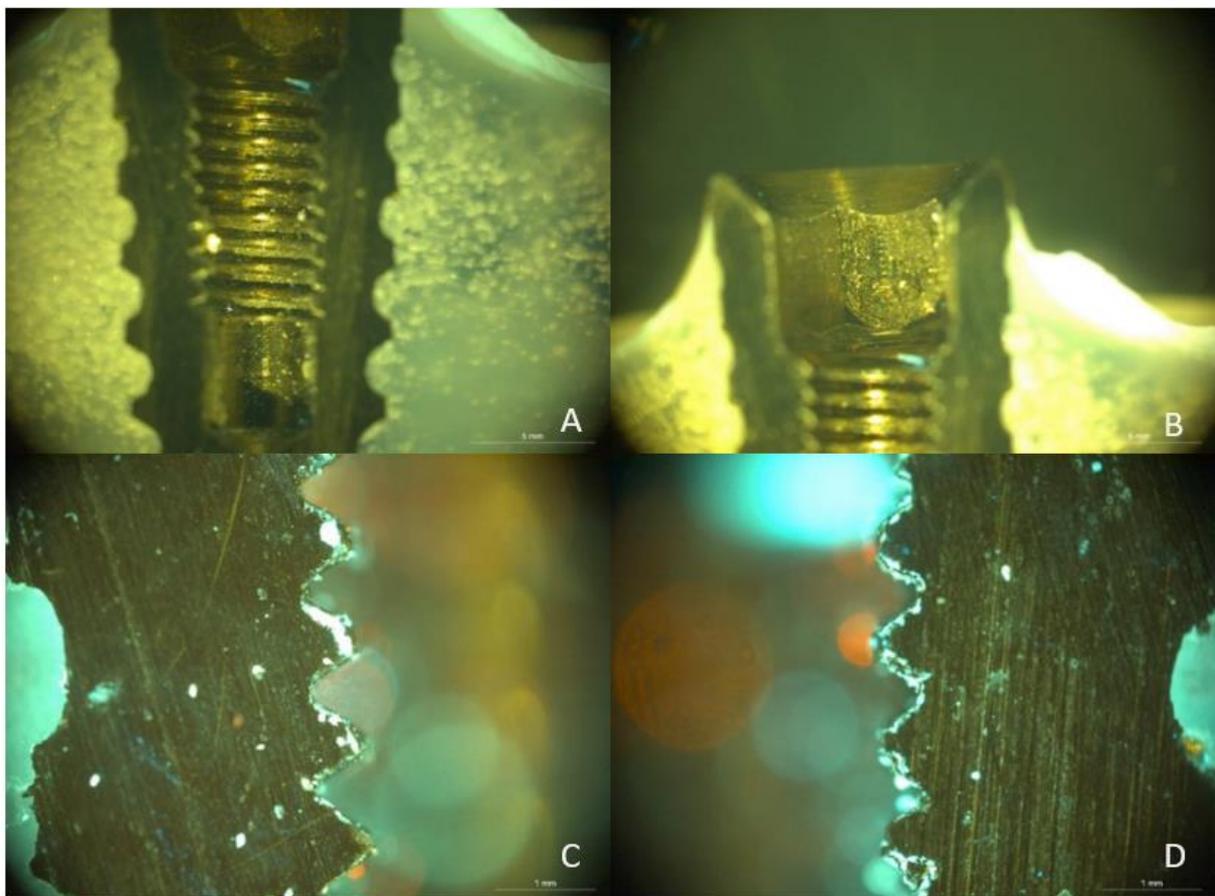


Abb. 8: A) Innengewinde des Implantates in 2,5-facher Vergrößerung B) Hexagon des Implantates in 2,5-facher Vergrößerung C) Der linke Abschnitt des Innengewindes in 10-facher Vergrößerung im obersten Anteil des Gewindes D) Der rechte Abschnitt des Innengewindes in 10-facher Vergrößerung im obersten Anteil des Gewindes

3.2 Untersuchung an halbierten Implantaten

Jeweils fünf Implantate wurden randomisiert (Anhang 1) den sieben Reinigungsverfahren zugeteilt. Jedes Implantat wurde durch Einbringen von 0,03 g Titanpulver (Werth-Metall, Erfurt, Deutschland, 0-100 µm, Reinheit: >98,50% CAS-Nr.:7440-32-6, UN-Nr.: UN-2878) in die IAC verunreinigt (Abb. 9A). Anschließend wurden sieben Reinigungsmethoden an jeweils fünf Prüfkörpern pro Versuchsgruppe durchgeführt.

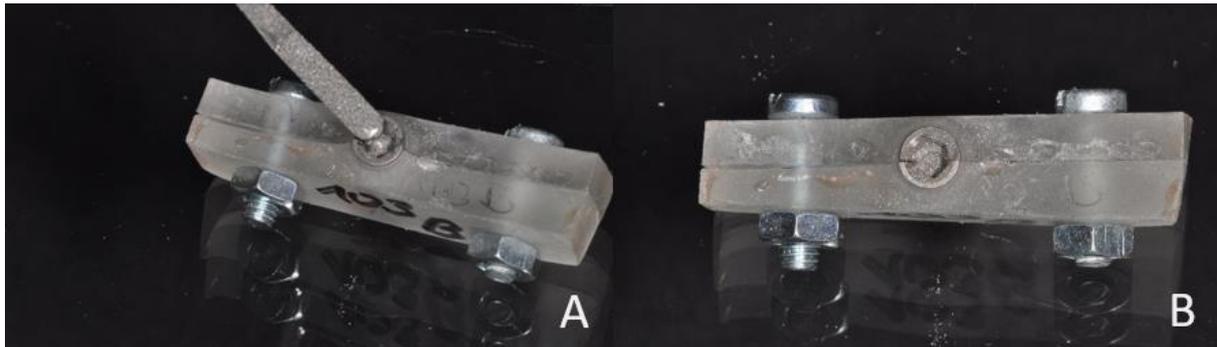


Abb. 9: A) Befüllen des Implantats mit 0,03g Titanpulver B) Verschmutztes Implantat

1. In der ersten Versuchsgruppe wurden die Implantate 30 s mit dem **Ultraschallscaler** (Sonicflex, KaVoDental GmbH, Biberach, Deutschland) in der Stärke 3 gereinigt.
2. In Gruppe 2 bestand die Reinigung aus 30 s **aktivierter Spülung (= EDDY)** (EDDY Endo Irrigation Tip, VDW GmbH München, Deutschland) unter Spülung von 2 ml Chlorhexamed 0,2% (GlaxoSmithKline Consumer Healthcare, München, Deutschland) gereinigt. Für jedes Implantat wurde ein neuer Aufsatz verwendet.
3. 30 s **Airflow mit Natriumbicarbonat** (E.M.S., Electro Medical Systems S.A., Nyon, Schweiz) in der Intensität 7 und Pulverstärke 7 stellte die dritte Reinigungsmethode dar.
4. Reinigungsmethode 4 bestand aus 30 s **Airflow mit Natriumbicarbonat** in der Intensität 7 und der Pulverstärke 7 und einer anschließender Spülung mit **2 ml Chlorhexamed 0,2%**.
5. Die fünfte Reinigungsmethode bestand aus **30 s Airflow mit Natriumbicarbonat und weitere 30 s EDDY** unter Spülung von 2 ml Chlorhexamed 0,2%.
6. 30 s **Airflow mit Glycerin-Pulver** (E.M.S., Electro Medical Systems S.A.) wurde als sechste Reinigungsmethode angewendet.
7. Die siebte Reinigungsmethode bestand aus 30 s **Airflow mit Erythritol-Pulver** (E.M.S., Electro Medical Systems S.A.).

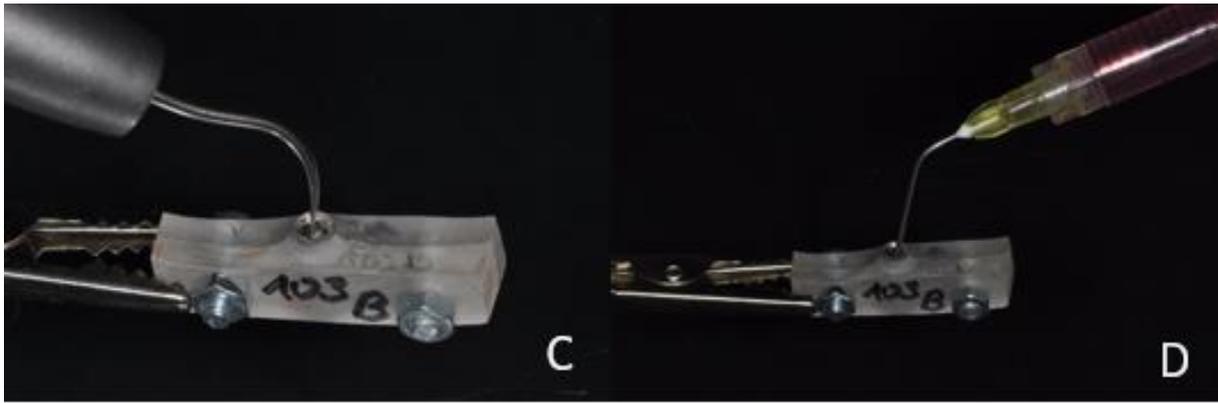


Abb. 10: C) Ultraschallscaler-Anwendung D) Spülung mit Chlorhexamed

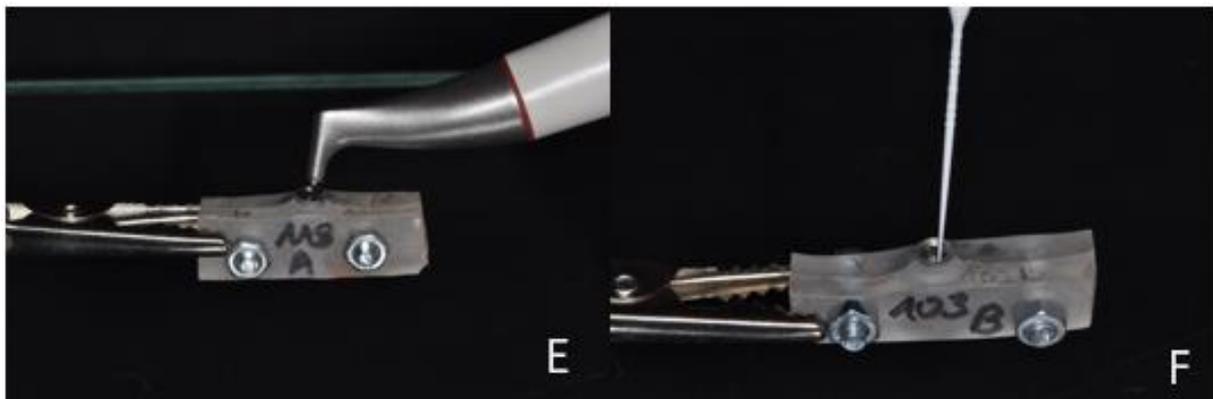


Abb. 11: E) Airflow-Anwendung mit unterschiedlichen Pulvern F) Aktivierte Spülung mit EDDY

Auswertung des Bildmaterials der halbierten Implantate

Zur Auswertung des Bildmaterials wurden die Aufnahmen der gleichen ROI jeweils vor und nach der Reinigung unter Verwendung von Microsoft PowerPoint (Microsoft Corporation, WA, USA) vergleichend gegenübergestellt. Durch diese Gegenüberstellung war die Beurteilung von Verschmutzungsgrad und Schädigung des Innengewinde möglich. Die zur Auswertung verwendeten ROI waren der Innensechskant und das Innengewinde des Implantates in 2,5-facher Vergrößerung (Abb. 8). Nach der ersten Sichtung wurde ein Schema zur subjektiven Bewertung entwickelt. Dabei wurden zunächst eine Maßeinheit für die Verschmutzung (Tabelle 2) bestimmt und anschließend jedes Bild händisch ausgewertet. Danach erfolgte das Festlegen einer geeigneten Maßeinheit für die Beschädigung der IAC (Tabelle 3). Dabei wurden durch den Ultraschallscaler erzeugte Kratzspuren mit verbliebenem Strahlungsmedium gleichgesetzt, um eine kategorische, statistische Auswertung zu ermöglichen.

Aus jeder Versuchsgruppe wurden exemplarische Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop (= REM) aufgenommen, aber nicht der Wertung zugeführt (Abb. 16-22).

Tabelle 2 Einteilung der Verschmutzung		
3	Stark verschmutzt	Das Innengewinde ist vollständig mit Titanpulver gefüllt oder Titanpulver befindet sich im Hexagons
2	Mittel verschmutzt	Das Innengewinde ist bis zu 2/3 mit Titanpulver gefüllt
1	Leicht verschmutzt	Das Innengewinde ist bis zu 1/3 mit Titanpulver gefüllt
0	Nicht verschmutzt	Das Innengewinde weist kein Titanpulver auf

Tabelle 3 Einteilung der Beschädigung		
3	Stark geschädigt	Das Reinigungsmaterial erreicht den Bereich des Hexagons oder das Gewinde ist lokal zerstört
2	Mittel geschädigt	Das Reinigungsmaterial füllt Innengewinde bis zu 2/3 oder es liegen konzentrierte Kratzspuren vor
1	Leicht geschädigt	Wenig Reinigungsmaterial bildet eine dünne Schicht oder es gibt vereinzelte Kratzspuren
0	Nicht geschädigt	Kein Verbleib von Reinigungsmaterial im Innengewinde oder keine Kratzspuren

3.3 Untersuchung an intakten Implantaten

Vorbereitung

Um im zweiten Teil der Untersuchung Abutments in gereinigte Implantate einbringen zu können, mussten ungeschnittene Implantate senkrecht in Superhartgips (Die Stone, ERNST HINRICHS Dental GmbH, Goslar, Deutschland, 100 g: 33 ml) eingebettet werden. Dafür wurden jeweils zehn Implantate auf zwei 18 cm lange Stangen mit Klebewachs fixiert und senkrecht in eine 35 cm x 15 cm x 2,5 cm große Form gehängt. Anschließend wurden die Implantate in Superhartgips eingebettet (Abb. 12).



Abb. 12: Intakte Originalimplantate in Gips eingebettet

Versuche

Die in Gips eingebetteten intakten Implantate wurden mit 0,03g Titanpulver verunreinigt und basierend auf den Ergebnissen von Teil 1 wurden folgende Reinigungsmethoden angewendet: a-Methode 1-Ultraschallscaler, b-Methode 2- aktivierte Spülung mit EDDY, c-Methode 5, Airflow mit Natriumbicarbonat und aktivierter Spülung. Anschließend erfolgten mechanische Prüfmethoden zur Beurteilung der Weiterverwendbarkeit durchgeführt.

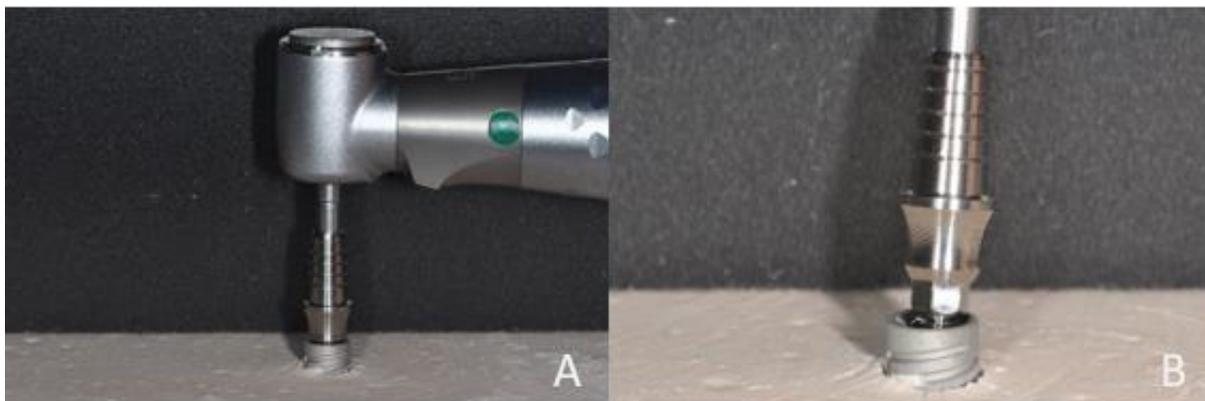


Abb. 13: Eindrehen der Abutments unter Drehmomentmessung

Auswertung

Zur Auswertung der Reinigungsverfahren wurden passende Abutments in die intakten und gereinigten Implantate mittels Chirurgiemotor (iChiropro 2, Bien-Air Dental SA, Bien-Air Medical Technologies, Schweiz, 25 Ncm) in Endposition eingedreht (Abb. 13). Dabei wurde das aufzuwendende Drehmoment und die Drehmomententwicklungen über die Zeit dokumentiert (Abb. 23). Um Aussagen zur Veränderung nach der Reinigung treffen zu können, wurden solche Drehmomentmessungen auch an unverschmutzten nicht gereinigten Implantaten durchgeführt. Nach dem Eindrehen der Abutments in Endposition wurde mittels Periotest (Medizintechnik Gulden e. K., Modautal/, Deutschland) die Stabilität der Abutments aus zwei verschiedenen Richtungen getestet, die im 90 °-Winkel zueinander angeordnet waren (Abb. 14).



Abb. 14: Periotest an Prüfkörper

Statistische Verfahren

Die Auswertung des Bildmaterials (Anhang 2) für Schäden und Verunreinigungen wurde basierend auf dem Kruskal-Wallis-Test auf vorhandene Unterschiede geprüft. Mit dem Paarvergleichen Nemenyi-All-Pairs-Test mit einer einstufigen P-Wert-Korrektur (Tabelle 4) wurde das Ausmaß der Unterschiede statistisch ausgewertet.

Der Vergleich der Drehmoment- und Periotest-Werte zur Abutmentstabilität wurde mittels des Shapiro-Wilk-Normalitätstest und des Levene-Test zur Varianzhomogenität und zur Varianzanalyse auf vorhandene statistische Unterschiede geprüft und mit dem Tukey-HSD-Test für Paarvergleiche ($\alpha = 0,05$ für alle statistischen Tests) statistisch beurteilt (Tabelle 5).

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der halbierten Implantate

Die Mittelwerte und Standardabweichungen für Beschädigung und Kontamination von IACs, anhand visueller Bewertungen ermittelt, sind in [Abb. 15](#) und die Ergebnisse der vergleichenden Statistik in [Tabelle 4](#) dargestellt.

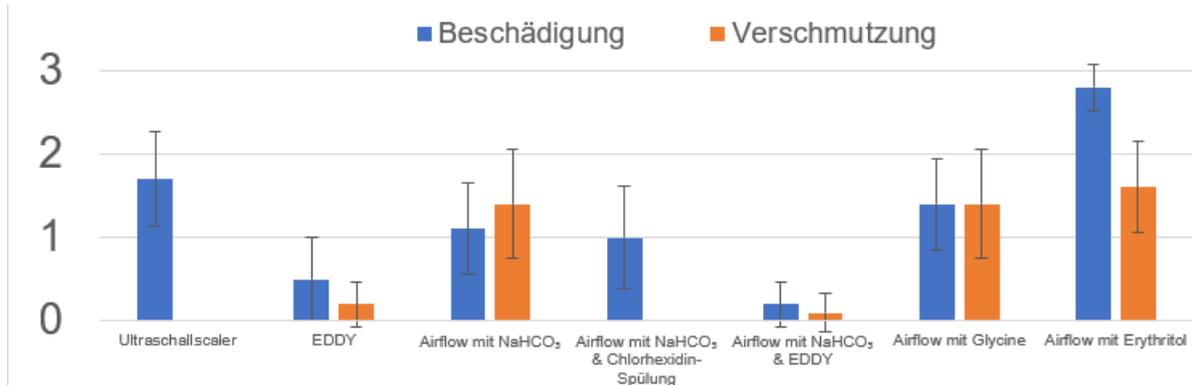


Abb. 15: Graphische Darstellung der statistischen Auswertung von Beschädigung und Verschmutzung anhand der Einteilung in Grade 0-3

Die schlechtesten Ergebnisse sowohl im Hinblick auf Beschädigung als auch auf Kontamination wurde bei Airflow unter Verwendung von Erythritol als Strahlmedium festgestellt. Dies führte zu einer deutlich höheren Kontamination im Vergleich zum Ultraschallscaler ($p = 0,002$), zu aktivierter Spülung ($p = 0,021$) sowie zu Airflow mit Natriumbicarbonat in Kombination mit Chlorhexamed-Spülung ($p = 0,002$) oder aktivierter Spülung ($p = 0,007$). Airflow als Einzelverfahren entweder mit Glycin ($p = 0,999$) oder Natriumbicarbonat ($p = 0,999$) führte zu vergleichbaren Kontaminationsgraden. Außerdem wurde kein signifikanter Unterschied zwischen Airflow mit Glycin und Natriumbicarbonat ($p > 0,999$) festgestellt. Bei Gebrauch von alleiniger Spülung ($p = 0,010$) oder aktivierter Spülung ($p = 0,029$) nach der Airflow Anwendung zeigte sich eine signifikante Verringerung der Verunreinigung verglichen mit der alleinigen Airflow-Anwendung. Der Gebrauch von Airflow mit Glycin-Pulver führt zu einer signifikant verstärkten Verschmutzung im Vergleich zum Ultraschallscaler ($p = 0,017$), wie auch zu der konventionellen Spülung nach Airflowanwendung ($p = 0,017$) und der aktivierten Spülung ($p = 0,046$). Unter der Betrachtung der Verunreinigung erzielte der Ultraschallscaler einen signifikanten Unterschied im Vergleich zur alleinigen Airflowanwendung ($p = 0,010$).

Ergebnisse

In Bezug auf die Schädigung führte Airflow mit Erythritol zu signifikant höheren Werten im Vergleich zur aktivierten Spülung ($p = 0,003$), Airflow mit konventioneller Spülung ($p = 0,037$) oder aktivierter Spülung ($p < 0,001$). Dies war auf eine Schicht von verbliebenem Strahlmedium aus Erythritol zurückzuführen, während Kratzer nach der Anwendung des Ultraschallscalers zu sehen waren. Airflow mit Natriumbicarbonat in Kombination mit aktivierter Spülung mit Chlorhexamed zeigte das geringste Schadensniveau mit signifikanten Unterschieden im Vergleich zum Ultraschallscaler ($p = 0,030$).

Tabelle 4: Ergebnisse der paarweisen Vergleiche, basierend auf Beschädigung und Verschmutzung (Nemenyi All Pairs Test mit einstufiger P-Wert-Korrektur; $\alpha = 0,05$)

	Beschädigung						
	Scaler	EDDY	Airflow	Airflow - CHX	Airflow - EDDY	Glycin	Erythritol
Scaler		0,204	0,944	0,868	0,030	0,999	0,631
EDDY	0,998		0,860	0,592	0,995	0,456	0,003
Airflow	0,010	0,073		0,999	0,436	0,996	0,074
Airflow – CHX	>0,999	0,998	0,010		0,592	0,981	0,037
Airflow – EDDY	>0,999	>0,999	0,029	1000		0,112	<0,001
Glycin	0,017	0,106	>0,999	0,017	0,046		0,341
Erythritol	0,002	0,021	0,999	0,002	0,007	0,999	
	Verschmutzung						

Exemplarische REM Aufnahmen der Innengewinde nach den Reinigungsmethoden

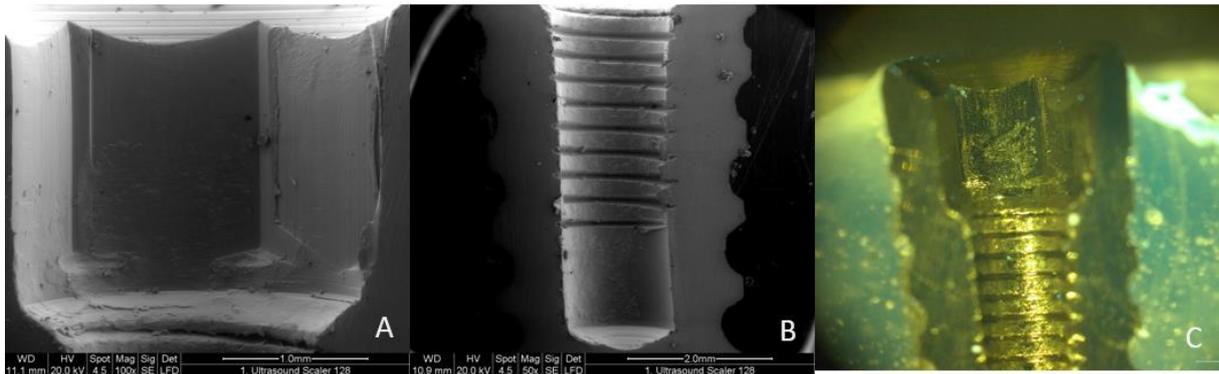


Abb. 16: 1-Ultraschallscaler A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit erkennbaren Kratzern B) Innengewinde in REM-Vergrößerung mit erkennbarem Verlust des Gewindeprofils C) Hexagon in 2,5-facher Vergrößerung mit sichtbaren Kratzern

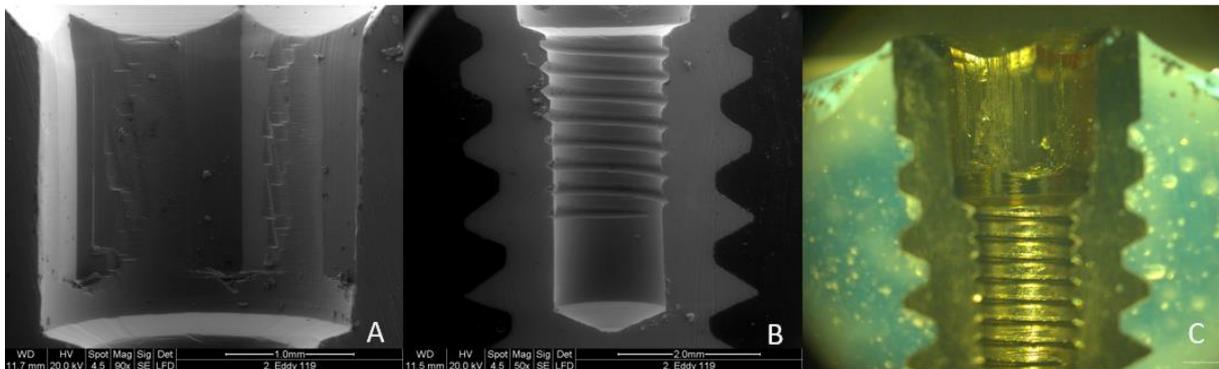


Abb. 17: 2-aktivierte Spülung mit EDDY A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit sichtbaren Kratzern B) Innengewinde in REM-Vergrößerung mit leichten Kratzern C) Hexagon in 2,5-facher Vergrößerung mit leichten sichtbaren Kratzern

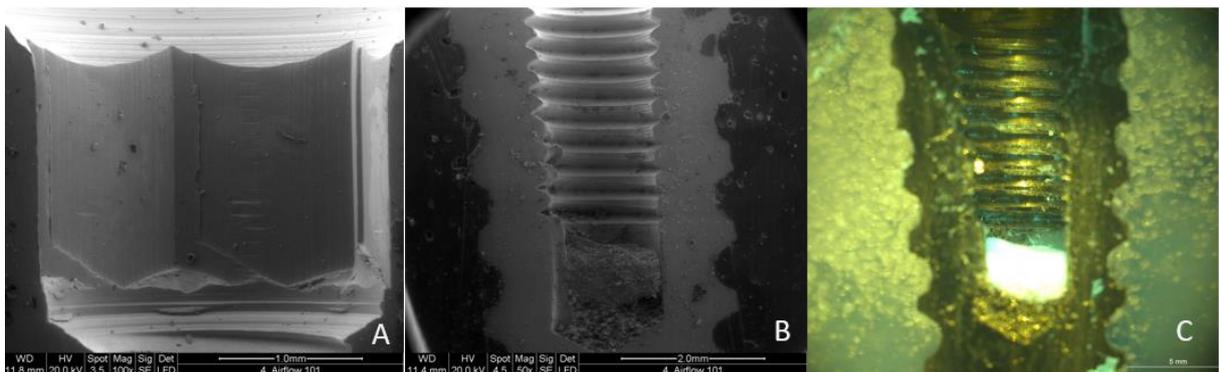


Abb. 18: 3-Airflow mit Natriumbicarbonat A) Hexagon REM-Vergrößerung ohne sichtbares Strahlmedium B) Innengewinde in REM-Vergrößerung mit erkennbarem Rückstand von Titanpulver und Strahlmedium C) Innengewinde in 2,5-facher Vergrößerung mit Titanpulverrückständen und Strahlmedium (weiß-leuchtend)

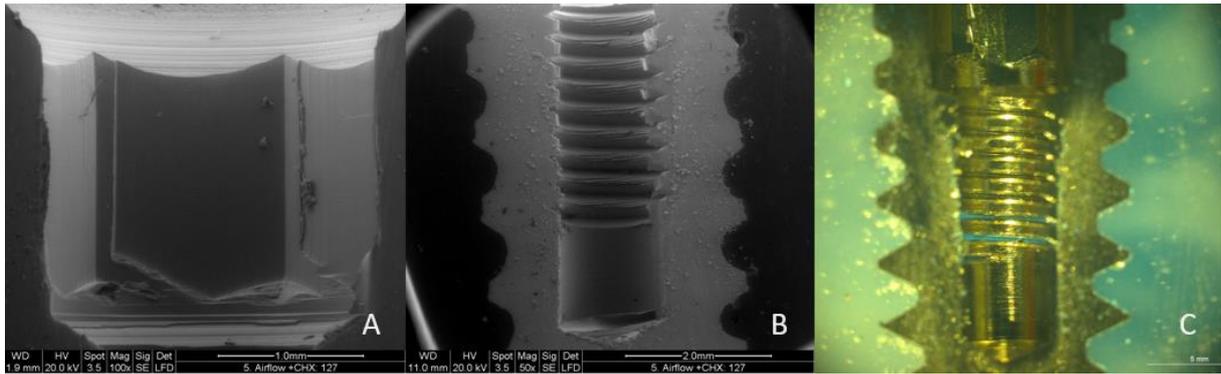


Abb. 19: 4-Airflow mit Natriumbicarbonat und Chlorhexamed A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit kaum Strahlmediumrückstand B) Innengewinde in REM-Vergrößerung ohne Rückstände C) Innengewinde in 2,5-facher Vergrößerung mit kaum erkennbarem Strahlmediumrückstand (bläulich-leuchtend)

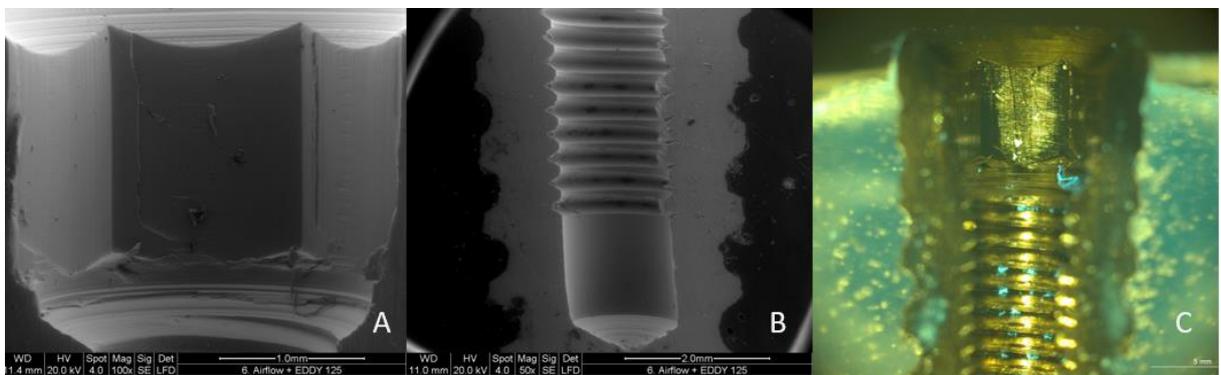


Abb. 20: 5-Airflow mit Natriumbicarbonat und EDDY A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit leichten Kratzern B) Innengewinde in REM-Vergrößerung ohne Beschädigung und Verschmutzung C) Innengewinde in 2,5-facher Vergrößerung und leichten Kratzern und Strahlungsmediumrückstand (bläulich-leuchtend)

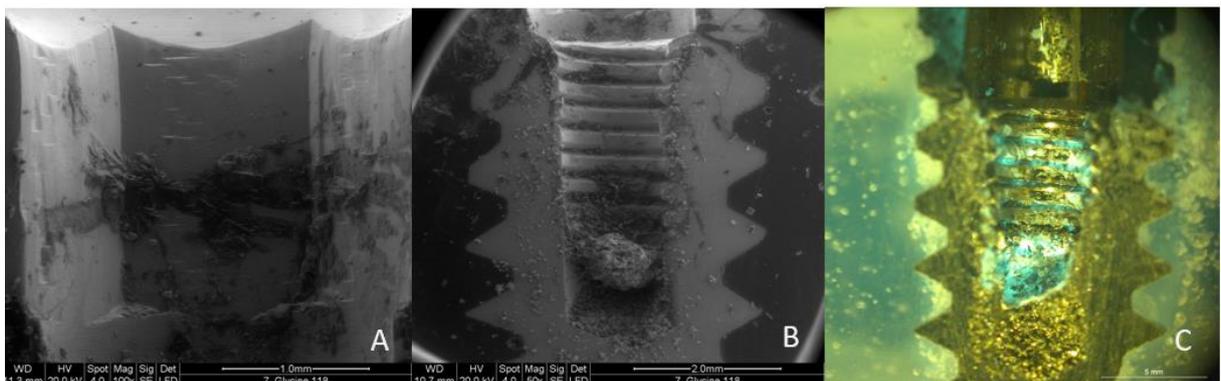


Abb. 21: 6-Airflow mit Glycin A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit Rückständen des Strahlungsmediums B) Innengewinde in REM-Vergrößerung mit Rückständen von Strahlungsmedium und Titanpulver C) Innengewinde in 2,5-facher Vergrößerung mit erheblicher Verschmutzung und Strahlmediumrückständen (bläulich-leuchtend)

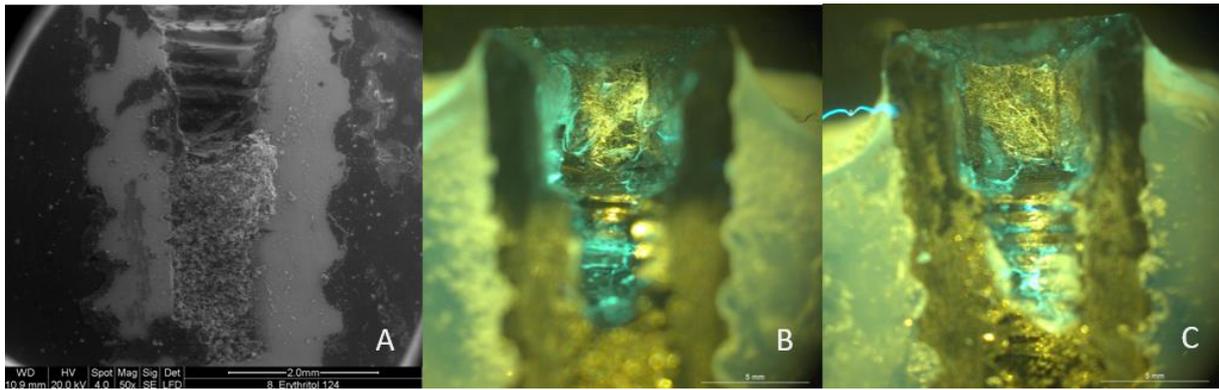


Abb. 22: 7-Airflow mit Erythritol A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit ausgeprägtem Titanpulver- und Strahlungsmediumrückstände B) und C) Hexagon in 2,5-facher Vergrößerung und deutlichen Rückständen von Titanpulver und Strahlungsmedium (bläulich-leuchtend)

4.2 Ergebnisse der intakten Implantate

Basierend auf den ermittelten Messwerten wurden Normalverteilung (Periotest $p = 0,050$; Drehmoment $p = 0,810$) und gleiche Varianzen (Periotest $p = 0,970$; Drehmoment $p = 0,12$) der Hauptuntersuchung ermittelt. Die Varianzanalyse des Periotests ($p = 0,037$) und der Drehmomente ($p = 0,011$) zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Reinigungsmethoden.

Beim Eindrehen der Abutments traten bei zuvor kontaminierten und gereinigten Implantaten wiederholt Drehmomentspitzen auf. Abb. 23 zeigt repräsentative Drehmomentkurven für die verschiedenen Reinigungsmethoden. Alle in zuvor kontaminierte und gereinigte Implantate eingesetzten Abutments erforderten einen höheren Kraftaufwand beim Eindrehen in Endposition im Vergleich zu Originalimplantaten (Abb. 24). Dies heißt, das Integral aller Drehmomentwerte bis zum Erreichen von 5 Ncm war erhöht (Anhang 10-13). Die Differenz war jedoch nur für die aktivierte Spülung statistisch signifikant ($p = 0,009$).

Abb. 25 zeigt die durch den Periotest gemessene und gemittelte Abutmentstabilität und ihre Standardabweichung. Die Ergebnisse der Vergleichsstatistik sind in Tabelle 5 dargestellt.

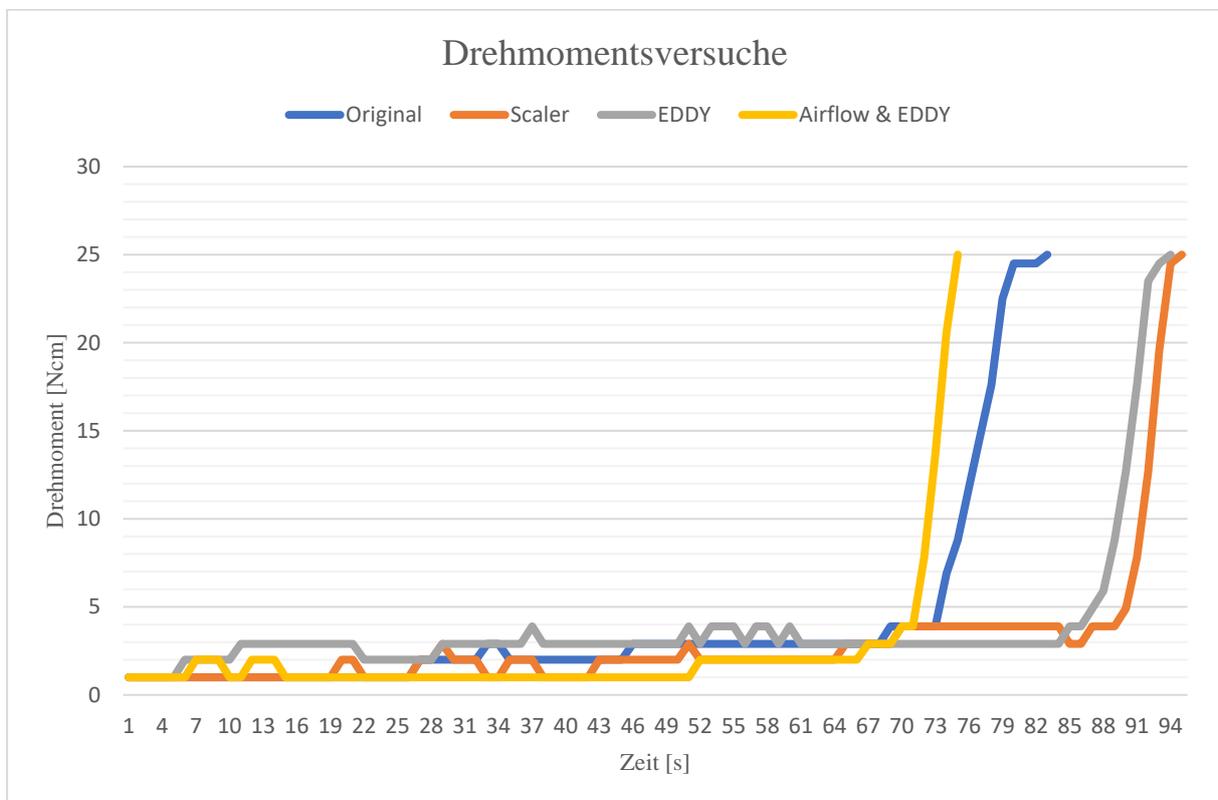


Abb. 23: Die graphische Darstellung der repräsentativen Durchschnittsdrehmomentkurven zeigt die Drehmomententwicklung (y-Achse) in Bezug auf die benötigte Zeit, um das Abutment einzudrehen (x-Achse).

Ergebnisse

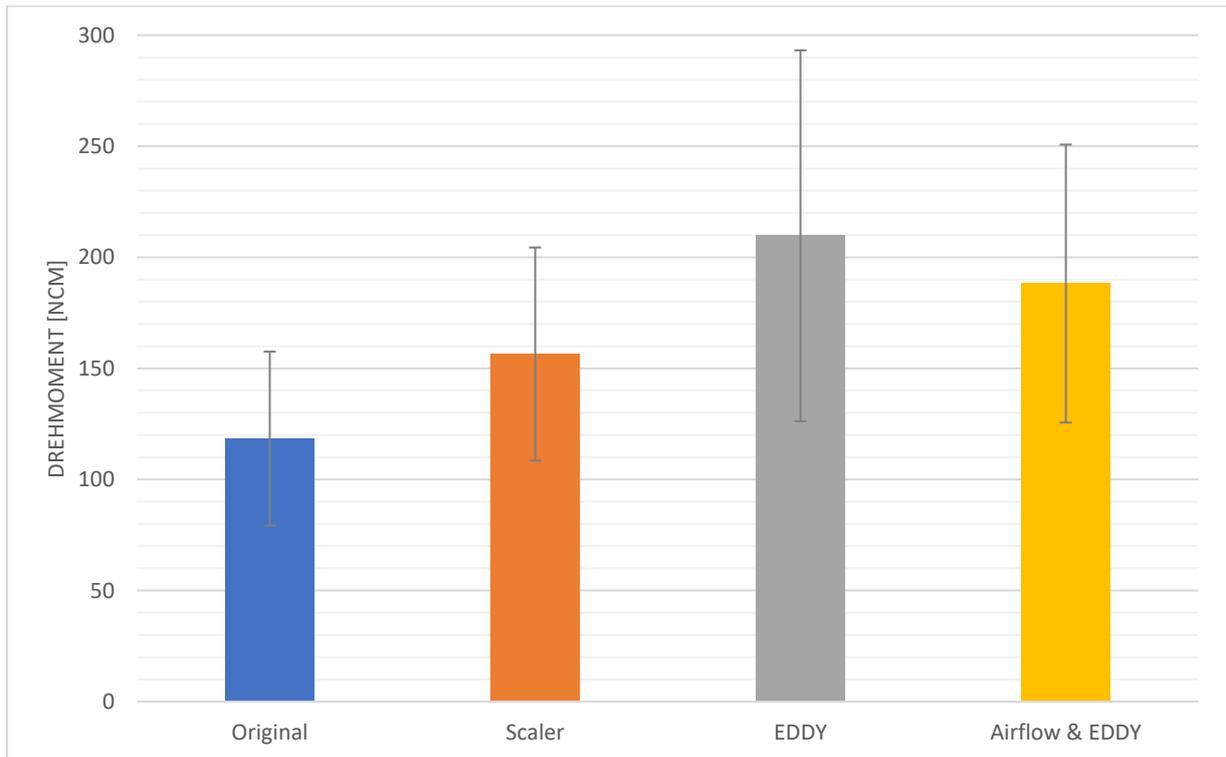


Abb. 24: Integrale der Drehmomente bis zum Erreichen von 5 Ncm mit Standardabweichung. Die Versuche der Reinigungsmethoden erfolgten an intakten Implantaten

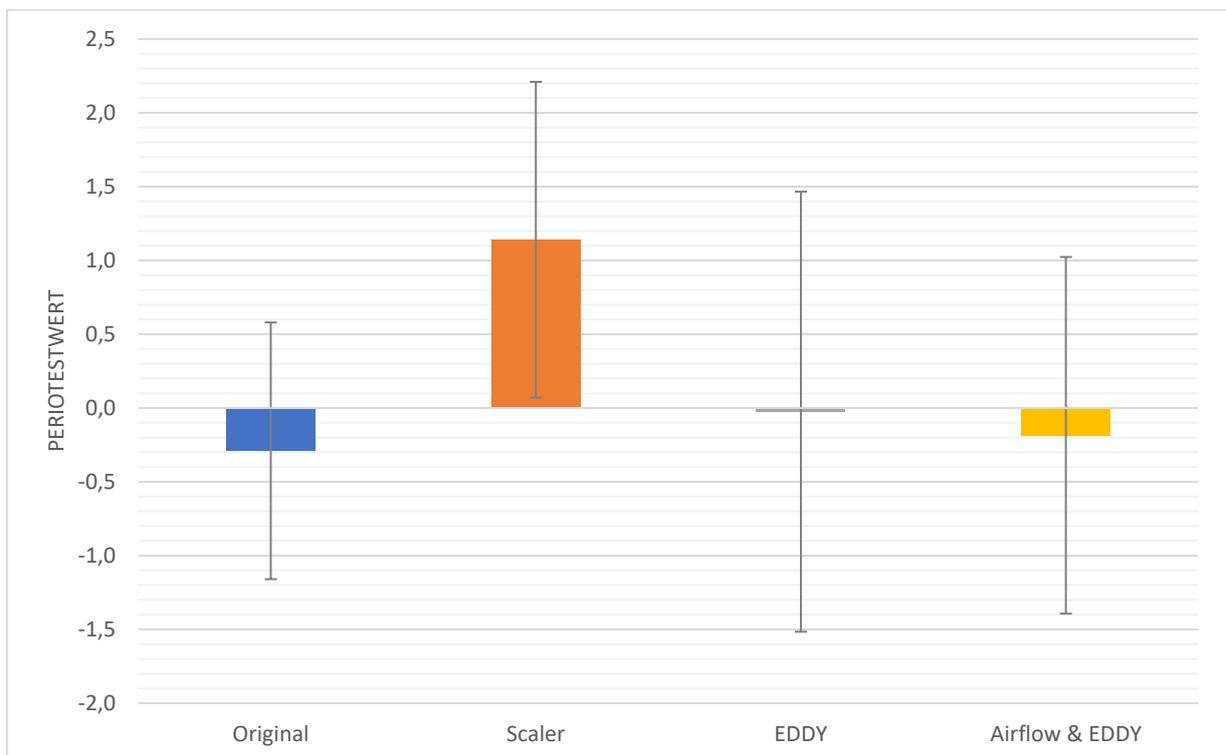


Abb. 25: Periotestwert zur Darstellung der Stabilität der IAC. Die Messungen erfolgten an Abutments die in gereinigte Implantaten eingedreht waren

Der Einsatz eines Ultraschallscalers führte zu einem signifikanten Anstieg des Periotestwertes, der auf eine geringere Abutmentstabilität im Vergleich zu unbearbeiteten Implantaten hinweist ($p = 0,048$). Die aktivierte Spülung sowie die Kombination von Airflow und aktivierter Spülung mit Chlorhexamed hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Abutmentstabilität.

Tabelle 5: Ergebnisse für paarweise Vergleiche (Tukey HSD; $\alpha=0,05$) zwischen verschiedenen Behandlungsgruppen basierend auf Periotest- und Drehmomentmessungen

	Periotest			
	Original	Scaler	EDDY	Airflow-EDDY
Original		0,048	0,958	0,997
Scaler	0,506		0,141	0,076
EDDY	0,009	0,221		0,990
Airflow – EDDY	0,066	0,650	0,857	
	Torque			

5 Diskussion

5.1 Kritische Betrachtung der eigenen Untersuchung

Technische Komplikationen gehören in der zahnärztlichen Implantologie zur klinische Realität und so ist die Wiederherstellung einer neuen und intakten IAC erstrebenswert. Dennoch gibt es aktuell noch keine klare Empfehlung, die eine zuverlässige Reinigung der Implantatinnengewinde ermöglicht. Ziel dieser Arbeit war es, Reinigungsmethoden auf ihre Effizienz und ein Beschädigungsrisiko der IAC während der Reinigung und eine mögliche Neuversorgung zu beurteilen. Sieben Reinigungsmethoden, bestehend aus Ultraschallscaler, aktivierter Spülung mit EDDY, Airflow mit verschiedenen Pulvern und Kombinationen aus den verschiedenen Methoden wurden mittels visueller Beurteilung und späteren Belastungstest (Drehmomentverläufe und Periotest) auf ihre Eignung überprüft und statistisch ausgewertet.

Der Ultraschallscaler verringert signifikant die Kontamination mit Titanpulver im Vergleich zur den anderen Reingungsmethoden. Dennoch verursacht er, wie auch die Airflowanwendung mit Erythritol erhebliche Schäden an der IAC. Dahingegen konnte eine signifikante Reduktion von Verschmutzung durch Titanpulver und Strahlmedium mit der geringsten Beschädigung der IAC bei der Verwendung von Natriumbicarbonat als Airflowpulver und anschließender konventionellen oder aktivierten Spülung beobachtet werden. Zudem führte der Ultraschallscaler zu einer signifikanten Stabilitätsabnahme der Abutments und nach der aktivierten Spülung waren die benötigten Drehmomentwerte erhöht.

Diese Untersuchungen wurden als In-Vitro-Studie und mit halbierten Implantaten durchgeführt, um einen optimalen optischen Zugang in die IAC zu ermöglichen, der unter klinischen Bedingungen oder anderen Studiendesigns nicht möglich ist (LANG et al., 2023).

Eine Limitation der Versuche bestand im nur relativen Vergleich zwischen den verschiedenen Reinigungsarten. Bei der Fertigung der Prüfkörper wurde darauf geachtet, dass nur Implantathälften ohne Sägeblattverlust, der durch den Sägeprozess entsteht, verwendet wurden (Abb. 6). Durch dieses Vorgehen wurde sichergestellt, dass die Prüfkörper den ungeschnittenen Implantaten in ihren Eigenschaften so ähnlich wie möglich waren, um Ergebnisungenauigkeiten zu vermeiden. Weitere zu vermeidende Fehlerquellen bei der Prüfkörperfertigung waren eine nicht optimale Positionierung der Implantate im Kunststoff (Abb. 3) vor dem Schneiden und eine nicht optimale Positionierung der Kunststoffblöcke (Abb. 6) in der Säge, da dies zu Veränderungen der IAC zum Beispiel durch zusätzliche Kanten

führen kann. Ziel dieser Prüfkörperfertigung war es die Implantate zu schneiden, ohne die IAC zu verändern.

Die Verwendung von Titanpulver zur Kontamination der IAC (Abb. 9) beruht auf der Erfahrung, dass es in klinischen Situationen durch Schraubenlockerung zu Abrieb von Titan kommt (TAYLOR *et al.*, 2014). Dies gilt sowohl für Titanabutments als auch für Abutments aus Keramik (KLOTZ *et al.*, 2011), da Keramik eine höhere Härte als Titan aufweist und deshalb reibungsbeständiger ist und somit keine Keramik-Nanopartikel sondern Titan-Nanopartikel entstehen (TAYLOR *et al.*, 2014).

Bei der visuellen Auswertung des Bildmaterials wurden zunächst Aufnahmen der ROI (Tabelle 1) in jeweils 2,5-facher und 10-facher Vergrößerung angefertigt. Bei der primären Sichtung des Bildmaterials mit dem Ziel ein Muster der Verunreinigung und Beschädigung zu finden, erschienen die Aufnahmen mit 10-facher Vergrößerung als ungeeignet (Anhang 3-9). Dies begründet sich darin, dass es bei dieser Vergrößerung nur schwer möglich war, die ROIs im Mikroskop scharf zustellen und somit eine Reproduzierbarkeit der ROI zu erzielen. Da durch den Ultraschallscaler erzeugte Kratzspuren mit in der IAC verbliebenem Strahlmedium der Airflowanwendungen gleichgesetzt wurden, um eine kategorische und statistische Auswertung zu ermöglichen, sollte in zukünftigen Studien überprüft werden, ob diese beiden Formen der Beschädigung im gleichen Maße die IAC beeinflussen. Dies stellt daher eine mögliche Beeinträchtigung dieser Arbeit dar. Die visuelle Auswertung des Materials ist möglicherweise durch die Vergrößerung und eine unzureichende Sensitivität beschränkt. Außerdem können Grenzfallentscheidungen, in denen Bildmaterial der falschen Wertung (Tabelle 2 und 3) zugeordnet wurde, die Ergebnisse verfälschen. Zudem weist das Auswertungsschema eine mögliche Limitierung der Studie auf, da die Maßeinheiten zur Bestimmung der Verschmutzung und Beschädigung unter dem Aspekt der statistischen Verwertbarkeit festgelegt wurden. Ebenso stellten die geringe Anzahl an Prüfkörpern pro Prüfungsgruppe (Teil 1 n= 5; Teil 2 n=10), das In-vitro-Design und die Tatsache, dass nur ein IAC-Design (Innensechskant) untersucht wurde, eine Limitierung der Studie dar. Daher können die Ergebnisse nicht verallgemeinert werden.

Zur Bewertung der Abutmentstabilität wurden Drehmomentmessungen mit dem Chirurgiemotor gemessen und die Drehmomententwicklungen über die Zeit registriert (Abb. 23). Es wurde erwartet, dass Ablagerungen den Reibungskoeffizienten zwischen den Flächen der IAC verändern (JÖRN *et al.*, 2014), was zu Veränderungen in der

Drehmomententwicklung führt, die dann in den dokumentierten Kurven sichtbar gemacht wurde. Durch Berechnung des Integrals unter den einzelnen Kurven bis zum Erreichen des Grenzwertes von 5 Ncm wurden die Drehmomententwicklungen statistisch und kategorisch vergleichbar gemacht (Abb. 23).

Der Periotest (SHAH *et al.*, 2020), im Englischen auch damping capacity assessment, wurde ursprünglich dafür genutzt, die Implantat- beziehungsweise Zahnstabilität zu messen (ZIX *et al.*, 2008). Der Periotest (Abb. 25) basierte darauf, dass ein Stößel das Abutment perkutierte und das Gerät die Kontaktzeit zwischen Stößel und Abutment misst. Je rigider das Implantat-Abutment System ist, umso schneller wird der Stößel wieder zurückgeworfen. Unter der Annahme, dass die Implantate im Gips unbeweglich eingebettet wurden, sind Unterschiede im Periotest nur durch Stabilitätsunterschiede des Abutments zu erklären.

5.2 Vergleich der eigenen Ergebnisse mit denen aus der Literatur

Die Nullhypothese wurde widerlegt, da es signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen gibt (Tabelle 4).

Unterschiedliche klinische Umstände können dafür sorgen, dass Abutments nicht fest eingedreht werden können, oder dass sie sich wiederholt lockern (JÖRN *et al.*, 2014). Unabhängig von der Verwendung der Originalteile und deren Passung (GROBECKER-KARL, KARL, 2017; KARL, TAYLOR, 2014), sollte eine Kontamination der IAC mit bakteriellem Biofilm, Zahnstein (KARL, IRASTORZA-LANDA, 2018) sowie eingeklemmtes Weichgewebe (SANCHEZ-PEREZ *et al.*, 2020) oder Abrieb (KLOTZ *et al.*, 2011) als Misserfolgursache erwogen werden.

Besonders für Bone Level Implantate sollten, aufgrund ihrer anatomischen Nähe zum Knochen, vor einem chirurgischen Eingriff klinische Untersuchungen, wie zum Beispiel Röntgenaufnahmen oder Untersuchungen mit Operationsmikroskopen bedacht werden (LEE *et al.*, 2015b). Da auch eine Implantatfraktur zu einer wiederholten Lockerung des Abutments führen kann (ALQUTAIBI, ABOALREJAL, 2018) bevor ein periimplantärer Knochenverlust sichtbar wird, ist der Ausschluss aller möglichen Gründe, die das korrekte Einsetzen des Abutments behindern könnten, der erste Schritt.

Basierend auf den ermittelten Ergebnissen wurde eine optimale Reinigung in Hinblick auf Verschmutzung und Beschädigung durch aktiviertes Spülen oder Airflow in Kombination mit aktiviertem Spülen erreicht (Tabelle 4), wobei kritische Oberflächen der IAC kaum verändert

wurden (Tabelle 4). Eine bessere Dekontamination wurde mit dem Ultraschallscaler und Airflow in Kombination mit konventionellem Spülen erreicht, wobei jedoch erhebliche Schäden an der IAC erzeugt wurden (Tabelle 4). Wie in beiden Teilen der Studie zu sehen ist, war die Wiederherstellung einer makellosen IAC, wie sie ursprünglich vom Hersteller erzielt wurde, mit den hier getesteten Ansätzen nicht möglich.

Es wurde erwartet, dass Ablagerungen den Reibungskoeffizienten zwischen den Flächen der IAC verändern und dadurch die Stabilität des Abutments beeinträchtigen würden (JÖRN *et al.*, 2014). Die erwartete Änderung des Reibungskoeffizienten wurde bei den untersuchten Proben beobachtet und bereits bestehende Vermutung damit bestätigt (Abb. 23).

In der Endodontie werden verschiedene Ultraschallgeräte eingesetzt, um Spüllösungen zu aktivieren und die Reinigungseffizienz in Wurzelkanälen zu verbessern (KANAAN *et al.*, 2020). Die in der vorliegenden Studie verwendete Ultraschallspitze war bei der Entfernung von Ablagerungen effektiv (Tabelle 4), was mit KOYUNCUOGLU *et al.* übereinstimmt, die berichteten, dass PEEK-Spitzen überschüssigen Zement um Zahnimplantate herum effektiv entfernten (KOYUNCUOGLU *et al.*, 2020). Ein Materialabrieb der verwendeten Spitzen (CHA *et al.*, 2019; MANN *et al.*, 2012), wie von anderen Autoren beschrieben, konnte in der visuellen Beurteilung nicht festgestellt werden. Dies kann aber auch durch die mangelnde Sensitivität der Methode bedingt sein.

IACs können mit verschiedenen Methoden (KARL, IRASTORZA-LANDA, 2018) bewertet werden, von der Messung von Mikrospalten mittels synchrotron-basierter Mikro-Computertomographie, Lichtmikroskopie (BAGEGNI *et al.*, 2021) bis hin zur Volumenausmessung mittels Silikonnegativform (IGARASHI, AFRASHTEHFAR, 2018). Außerdem können Leistungstests für die Stabilität des Abutments (GROBECKER-KARL, KARL, 2017) einschließlich Drehmomentprüfung beim Ein- (NIGRO *et al.*, 2010) oder Ausdrehen des Abutments (LEE *et al.*, 2015a) und die Messungen der Mikrobewegung unter dynamischer Belastung (KARL, TAYLOR, 2016) eingesetzt werden. Da es schwierig ist, verschiedene Parameter miteinander zu verknüpfen (KARL, IRASTORZA-LANDA, 2018), beschränkte sich diese Studie auf einen relativen Vergleich auf der Grundlage einer visuellen Inspektion, der Beurteilung der Stabilität des Abutments auf der Grundlage von Drehmoment-Zeit-Signaturen (CALDERINI *et al.*, 2007) und der Messung der Dämpfungskapazität mittels Periotest (SHAH *et al.*, 2020).

In Zukunft sollte auch die Beurteilung der Mikrobewegung unter dynamischer Belastung von Implantat-Abutment-Baugruppen nach der Reinigung untersucht werden. Dazu könnte man

zuvor kontaminierte und gereinigte Implantate dynamischen mittels Kaukräftesimulator (KARL, TAYLOR, 2016) belasten und anschließend erneut die Abutment-Stabilität und Drehmomententwicklung messen.

Basierend auf früheren Berichten ist zu erwarten, dass die Kontamination der Abutmentschraube mit Titananopartikeln (LEE *et al.*, 2015a) die Drehmomentwerte der Schrauben beim Herausdrehen unter wiederholten Belastungsbedingungen aufgrund eines Settling-Effekts verringern würde (KARL, TAYLOR, 2016). Dies wurde dahin gehend bestätigt, dass alle Drehmomentwerte und damit der benötigte Kraftaufwand statistisch erhöht war, jedoch nur bei der aktivierten Spülung signifikant (Tabelle 5). Da nur die Werte der aktivierten Spülung erhöht waren, sollten zukünftig noch weitere Untersuchungen diesbezüglich durchgeführt werden.

Die Stabilität der Schraubverbindung kann durch Flüssigkeiten wie Blut (GUMUS *et al.*, 2014), Speichel (NIGRO *et al.*, 2010) und Chlorhexamed (KOOSHA *et al.*, 2020) beeinträchtigt werden. Dies kann auch eine Auswirkung auf die IAC in dieser Studie haben, da möglicherweise Flüssigkeitsreste von Wasser oder Chlorhexamed während der Drehmomentmessungen und Periotestmessungen noch im Gewinde verblieben sind. Während der Schmierfilm mit Speichel zu einer erhöhten Vorspannung führte (NIGRO *et al.*, 2010; TZENAKIS *et al.*, 2002), scheint die Art der Verunreinigung, z.B. Blutkontamination oder andere Flüssigkeiten, insofern eine Rolle zu spielen (GUMUS *et al.*, 2014; KOOSHA *et al.*, 2020), dass sie die Drehmomentwerte beim Ausdrehen von Abutments senkt. In einer vergleichenden In-vitro-Studie wurde jedoch kein signifikanter Einfluss verschiedener Schmierfilme auf die Vorspannung von Abutmentschrauben berichtet (RATHE *et al.*, 2021). Es bestehen jedoch Toleranzen zwischen den Gegenflächen, und in diesen Bereichen beeinträchtigen Verunreinigungen möglicherweise nicht die Stabilität des Abutments.

5.3 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse dieser In-vitro-Studie zeigen, dass die Methode der aktivierten Spülung die zuverlässigste Reinigungstechnik einer Implantat-Abutment-Verbindung darstellt. Dabei lässt sich in nur einem Schritt eine Reinigung mit minimalem Beschädigungsrisiko durchführen. Durch eine Airflowanwendung mit Natriumbicarbonat als Strahlmedium vor dem Spülungsprozess kann das Ergebnis weiter verbessert werden.

Nach Abutmentverlust wie z. B. durch Schraubenlockerung oder Schraubenfraktur sind diese Reinigungsmethoden zu empfehlen, um ein Implantat für prothetische Konstruktionen mit hinreichender Sicherheit weiter verwenden zu können.

6 Literaturverzeichnis

1. Alqutaibi AY, Aboalrejal AN (2018) Microgap and Micromotion at the Implant Abutment Interface Cause Marginal Bone Loss Around Dental Implant but More Evidence is Needed. *J Evid Based Dent Pract* 18:171-172
2. Bagegni A, Zabler S, Nelson K, Rack A, Spies BC, Vach K, Kohal R (2021) Synchrotron-based micro computed tomography investigation of the implant-abutment fatigue-induced microgap changes. *J Mech Behav Biomed Mater* 116:104330
3. Calderini A, Maiorana C, Garlini G, Abbondanza T (2007) A simplified method to assess precision of fit between framework and supporting implants: a preliminary study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 22:831-838
4. Canullo L, Micarelli C, Iannello G (2013) Microscopical and chemical surface characterization of the gingival portion and connection of an internal hexagon abutment before and after different technical stages of preparation. *Clin Oral Implants Res* 24:606-611
5. Carneiro Tde A, Prudente MS, RS EP, Mendonça G, das Neves FD (2016) A conservative approach to retrieve a fractured abutment screw - Case report. *J Prosthodont Res* 60:138-142
6. Cha JK, Paeng K, Jung UW, Choi SH, Sanz M, Sanz-Martín I (2019) The effect of five mechanical instrumentation protocols on implant surface topography and roughness: A scanning electron microscope and confocal laser scanning microscope analysis. *Clin Oral Implants Res* 30:578-587
7. Chew M, Tompkins G, Tawse-Smith A, Waddell JN, Ma S (2018) Reusing Titanium Healing Abutments: Comparison of Two Decontamination Methods. *Int J Prosthodont* 31:613-618
8. Cochis A, Fini M, Carrassi A, Migliario M, Visai L, Rimondini L (2013) Effect of air polishing with glycine powder on titanium abutment surfaces. *Clin Oral Implants Res* 24:904-909
9. Gray D, Patel J (2021) Implant-supported overdentures: part 1. *Br Dent J* 231:94-100
10. Grobecker-Karl T, Karl M (2017) Correlation Between Micromotion and Gap Formation at the Implant-Abutment Interface. *Int J Prosthodont* 30:150-152

11. Gumus HO, Zortuk M, Albayrak H, Dincel M, Kocaagaoglu HH, Kilinc HI (2014) Effect of fluid contamination on reverse torque values in bone-level implants. *Implant Dent* 23:582-587
12. Gupta R, Gupta N, Weber DK (2024). Dental Implants. In *StatPearls* (Treasure Island (FL), StatPearls Publishing, Copyright © 2024, StatPearls Publishing LLC).
13. Hansen PA, Salinas AA (2018) Management of a Damaged Implant for Retention of an Overdenture Prosthesis and Fixed Single Crown: Clinical Reports. *J Prosthodont* 27:376-382
14. Harrel SK, Wilson TG, Jr., Pandya M, Diekwisch TGH (2019) Titanium particles generated during ultrasonic scaling of implants. *J Periodontol* 90:241-246
15. Hurson S (2018) Implant/Abutment Biomechanics and Material Selection for Predictable Results. *Compend Contin Educ Dent* 39:440-444; quiz 446
16. Igarashi K, Afrashtehfar KI (2018) Clinical assessment of fractured implant abutment screws: The Bernese silicone replica technique. *J Prosthet Dent* 119:717-719
17. Igarashi K, Afrashtehfar KI, Schimmel M, Gazzaz A, Brägger U (2019) Performance of a repair service set for the retrieval of fractured abutment screws: a pilot in vitro study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 34:567–573
18. Jervøe-Storm PM, Hablützel AS, Bartels P, Kraus D, Jepsen S, Enkling N (2021) Comparison of irrigation protocols for the internal decontamination of dental implants- results of in vitro and in vivo studies. *Clin Oral Implants Res* 32:1168-1175
19. Jörn D, Kohorst P, Besdo S, Rücker M, Stiesch M, Borchers L (2014) Influence of lubricant on screw preload and stresses in a finite element model for a dental implant. *J Prosthet Dent* 112:340-348
20. Kanaan CG, Pelegrine RA, da Silveira Bueno CE, Shimabuko DM, Valamatos Pinto NM, Kato AS (2020) Can Irrigant Agitation Lead to the Formation of a Smear Layer? *J Endod* 46:1120-1124
21. Karl M, Taylor TD (2014) Parameters determining micromotion at the implant-abutment interface. *Int J Oral Maxillofac Implants* 29:1338-1347
22. Karl M, Taylor TD (2016) Effect of Cyclic Loading on Micromotion at the Implant-Abutment Interface. *Int J Oral Maxillofac Implants* 31:1292-1297
23. Karl M, Irastorza-Landa A (2018) In Vitro Characterization of Original and Nonoriginal Implant Abutments. *Int J Oral Maxillofac Implants* 33:1229-1239

24. Katsavochristou A, Koumoulis D (2019) Incidence of abutment screw failure of single or splinted implant prostheses: A review and update on current clinical status. *J Oral Rehabil* 46:776-786
25. Klotz MW, Taylor TD, Goldberg AJ (2011) Wear at the titanium-zirconia implant-abutment interface: a pilot study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 26:970-975
26. Koosha S, Toraji S, Mostafavi AS (2020) Effect of fluid contamination on the reverse torque values of abutment screws at implant-abutment connections. *J Prosthet Dent* 123:618-621
27. Koyuncuoglu CZ, Kara HB, Akdemir S, Demir B, Husain NA, Özcan M (2020) Cleaning Efficacy of Poly-ether-ether-ketone Tips in Eliminating Cement Remnants Around Implants With Different Abutment Heights. *J Oral Implantol* 46:548-554
28. Lang LK, Karl M, Klär V (2023) Evaluation of different debridement strategies for implant-abutment connections: An in vitro study. *J Prosthet Dent* 130:738.e731-738.e738
29. Lee DW (2014) Periodontitis and dental implant loss. *Evid Based Dent* 15:59-60
30. Lee HW, Alkumru H, Ganss B, Lai JY, Ramp LC, Liu PR (2015a) The Effect of Contamination of Implant Screws on Reverse Torque. *Int J Oral Maxillofac Implants* 30:1054-1060
31. Lee JH, Park JH, Park CJ, Cho LR (2015b) Technique to retrieve implant abutment fragments. *J Prosthet Dent* 114:486-489
32. Mann M, Parmar D, Walmsley AD, Lea SC (2012) Effect of plastic-covered ultrasonic scalers on titanium implant surfaces. *Clin Oral Implants Res* 23:76-82
33. Mayer TM, Hawley CE, Gunsolley JC, Feldman S (2002) The single-tooth implant: a viable alternative for single-tooth replacement. *J Periodontol* 73:687-693
34. Mizumoto RM, Jamjoom FZ, Yilmaz B (2018) A risk-based decision making tree for managing fractured abutment and prosthetic screws: A systematic review. *J Prosthet Dent* 119:552-559
35. Nigro F, Sendyk CL, Francischone CE, Jr., Francischone CE (2010) Removal torque of zirconia abutment screws under dry and wet conditions. *Braz Dent J* 21:225-228
36. Ramalho I, Witek L, Coelho PG, Bergamo E, Pegoraro LF, Bonfante EA (2020a) Influence of Abutment Fabrication Method on 3D Fit at the Implant-Abutment Connection. *Int J Prosthodont* 33:641-647
37. Ramalho IS, Bergamo ETP, Witek L, Coelho PG, Lopes ACO, Bonfante EA (2020b) Implant-abutment fit influences the mechanical performance of single-crown prostheses. *J Mech Behav Biomed Mater* 102:103506

38. Rathe F, Ratka C, Kaesmacher C, Winter A, Brandt S, Zipprich H (2021) Influence of different agents on the preload force of implant abutment screws. *J Prosthet Dent* 126:581-585
39. Rezayani V, Alikhasi M, Monzavi A (2020) Effect of Serrating Abutment-Implant Mating Surface on Torque Stability of Implant-Abutment Connection, Before and After Cyclic Loading. *J Oral Implantol* 46:555-561
40. Sahrman P, Winkler S, Gubler A, Attin T (2021) Assessment of implant surface and instrument insert changes due to instrumentation with different tips for ultrasonic-driven debridement. *BMC Oral Health* 21:25
41. Sanchez-Perez A, Nicolas-Silvente AI, Sanchez-Matas C, Cascales-Pina E, Macia-Manresa V, Romanos GE (2020) Control of Peri-Implant Mucous Inflammation by Using Chlorhexidine or Ultraviolet C Radiation for Cleaning Healing Abutments. Double-Blind Randomized Clinical Trial. *Materials (Basel)* 13
42. Shah KC, Linsley CS, Wu BM (2020) Evaluation of a shape memory implant abutment system: An up to 6-month pilot clinical study. *J Prosthet Dent* 123:257-263
43. Soto-Penaloza D, Zaragoz-Alonso R, Penarrocha-Diago M, Penarrocha-Diago M (2017) The all-on-four treatment concept: Systematic review. *J Clin Exp Dent* 9:e474-e488
44. Taheri M, Akbari S, Shamshiri AR, Shayesteh YS (2020) Marginal bone loss around bone-level and tissue-level implants: A systematic review and meta-analysis. *Ann Anat* 231:151525
45. Taylor TD, Klotz MW, Lawton RA (2014) Titanium tattooing associated with zirconia implant abutments: a clinical report of two cases. *Int J Oral Maxillofac Implants* 29:958-960
46. Tzenakis GK, Nagy WW, Fournelle RA, Dhuru VB (2002) The effect of repeated torque and salivary contamination on the preload of slotted gold implant prosthetic screws. *J Prosthet Dent* 88:183-191
47. Wiedenmann F, Liebermann A, Spintzyk S, Eichberger M, Stawarczyk B (2019) Influence of Different Cleaning Procedures on Tensile Bond Strength Between Zirconia Abutment and Titanium Base. *Int J Oral Maxillofac Implants* 34:1318-1327
48. Yi Y, Heo SJ, Koak JY, Kim SK (2021) Alternative approach to salvaging an implant with a fractured screw fragment: A clinical report. *J Prosthet Dent* 125:18-21
49. Yin L, Zhu Y, Yu H, Qiu L (2022) Evaluating the efficiency of three methods to clean and disinfect screw- and cement-retained prostheses. *J Prosthet Dent* 127:775-782

50. Zix J, Hug S, Kessler-Liechti G, Mericske-Stern R (2008) Measurement of dental implant stability by resonance frequency analysis and damping capacity assessment: comparison of both techniques in a clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Implants* 23:525-530

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Region of interest 15

Tab. 2: Einteilung der Verschmutzung 18

Tab. 3: Einteilung der Beschädigung 18

Tab. 4: Ergebnisse der paarweisen Vergleiche, basierend auf Beschädigung und Verschmutzung (Nemenyi All Pairs Test mit einstufiger P-Wert-Korrektur; $\alpha = 0,05$)..... 22

Tab. 5: Ergebnisse für paarweise Vergleiche (Tukey HSD; $\alpha=0,05$) zwischen verschiedenen Behandlungsgruppen basierend auf Periotest- und Drehmomentmessungen 28

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Aufhänger für Abformpfosten zur genauen Einbettung eines Implantates in Kunststoff 10

Abb. 2: Dubliersilikon und Silikonform zur Herstellung identischer Kunststoffblöcke..... 11

Abb. 3: Das Implantat wird mittels Parallelometer in der Silikonform immer an derselben Stelle positioniert, damit die späteren Implantathälften im Kunststoff identische Position aufweisen. 11

Abb. 4: Kunststoffblock mit Implantat, der mit einer Wasserwaage immer im Lot auf Objektträger positioniert wurde. 12

Abb. 5: Kunststoffblock und Objektträger in UV-Lampe während der Aushärtung des Präzisionsklebers 12

Abb. 6: Positionierung des Implantats in der Präzisionssäge. Es wurde darauf geachtet den Sägeblattverlust an einer Hälfte abzutragen, so dass die andere Hälfte vollständig 50% ausmachte 13

Abb. 7: A) Eine Hälfte des geschnittenen Implantats B) Neu zusammengesetztes und mit Schrauben fixiertes Implantat..... 14

Abb. 8: A) Innengewinde des Implantates in 2,5-facher Vergrößerung B) Hexagon des Implantates in 2,5-facher Vergrößerung C) Der linke Anschnitt des Innengewindes in 10-facher Vergrößerung im obersten Anteil des Gewindes D) Der rechte Anschnitt des Innengewindes in 10-facher Vergrößerung im obersten Anteil des Gewindes 15

Abb. 9: A) Befüllen des Implantats mit 0,03g Titanpulver B) Verschmutztes Implantat.....	16
Abb. 10: C) Ultraschallscaler-Anwendung D) Spülung mit Chlorhexamed.....	17
Abb. 11: E) Airflow-Anwendung mit unterschiedlichen Pulvern F) Aktivierte Spülung mit EDDY	17
Abb. 12: Intakte Originalimplantate in Gips eingebettet	19
Abb. 13: Eindrehen der Abutments unter Drehmomentmessung	19
Abb. 14: Periotest an Prüfkörper.....	20
Abb. 15: Graphische Darstellung der statistischen Auswertung von Beschädigung und Verschmutzung anhand der Einteilung in Grade 0-3	21
Abb. 16: 1-Ultraschallscaler A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit erkennbaren Kratzern B) Innengewinde in REM-Vergrößerung mit erkennbarem Verlust des Gewindepfils C) Hexagon in 2,5-facher Vergrößerung mit sichtbaren Kratzern.....	23
Abb. 17: 2-aktivierte Spülung mit EDDY A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit sichtbaren Kratzern B) Innengewinde in REM-Vergrößerung mit leichten Kratzern C) Hexagon in 2,5-facher Vergrößerung mit leichten sichtbaren Kratzern	23
Abb. 18: 3-Airflow mit Natriumbicarbonat A) Hexagon REM-Vergrößerung ohne sichtbares Strahlmedium B) Innengewinde in REM-Vergrößerung mit erkennbarem Rückstand von Titanpulver und Strahlmedium C) Innengewinde in 2,5-facher Vergrößerung mit Titanpulverrückständen und Strahlmedium (weiß-leuchtend).....	23
Abb. 19: 4-Airflow mit Natriumbicarbonat und Chlorhexamed A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit kaum Strahlmediumrückstand B) Innengewinde in REM-Vergrößerung ohne Rückstände C) Innengewinde in 2,5-facher Vergrößerung mit kaum erkennbarem Strahlmediumrückstand (bläulich-leuchtend)	24
Abb. 20: 5-Airflow mit Natriumbicarbonat und EDDY A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit leichten Kratzern B) Innengewinde in REM-Vergrößerung ohne Beschädigung und Verschmutzung C) Innengewinde in 2,5-facher Vergrößerung und leichten Kratzern und Strahlungsmediumsrückstand (bläulich-leuchtend)	24
Abb. 21: 6-Airflow mit Glycin A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit Rückständen des Strahlungsmediums B) Innengewinde in REM-Vergrößerung mit Rückständen von	

Strahlungsmedium und Titanpulver C) Innengewinde in 2,5-facher Vergrößerung mit erheblicher Verschmutzung und Strahlmediumsrückständen (bläulich-leuchtend)..... 24

Abb. 22: 7-Airflow mit Erythritol A) Hexagon in REM-Vergrößerung mit ausgeprägtem Titanpulver- und Strahlungsmediumrückstände B) und C) Hexagon in 2,5-facher Vergrößerung und deutlichen Rückständen von Titanpulver und Strahlungsmedium (bläulich-leuchtend) .. 25

Abb. 23: Die graphische Darstellung der repräsentativen Durchschnittdrehmomentkurven zeigt die Drehmomententwicklung (y-Achse) in Bezug auf die benötigte Zeit, um das Abutment einzudrehen (x-Achse). 26

Abb. 24: Integrale der Drehmomente bis zum Erreichen von 5 Ncm mit Standardabweichung. Die Versuche der Reinigungsmethoden erfolgten an intakten Implantaten..... 27

Abb. 25: Periotestwertung zur Darstellung der Stabilität der IAC. Die Messungen erfolgten an Abutments die in gereinigte Implantaten eingedreht waren..... 27

7 Publikation

Evaluation of different debridement strategies for implant-abutment connections: An in vitro study

L. K. Lang, M. Karl and V. Klär

J Prosthet Dent 2023 Vol. 130 Issue 5 Pages 738.e1-738.e8

Accession Number: 37739883

DOI: 10.1016/j.prosdent.2023.08.024

RESEARCH AND EDUCATION

Evaluation of different debridement strategies for implant-abutment connections: An in vitro study

Lilly K. Lang,^a Matthias Karl DMD,^b and Virgilia Klär DMD^c

Despite the overall good long-term results of implant therapy, mechanical complications continue to be reported, with an incidence of up to 11% for abutment screw loosening and 0.6% for screw fracture.^{1,2} Furthermore, the presence of microgaps as well as micro-motion at the implant-abutment interface have been reported to affect marginal bone levels with repeated connection and disconnection of abutments, altering soft tissue maturation.³⁻⁵

Implant prosthodontic components from the original manufacturer have been reported to provide the optimal internal fit at the implant-abutment interface, with poor dental laboratory processing putting mechanical stability at risk.^{6,7} But even when original abutments are used, particulate titanium debris has been reported to emerge during function, leading to a risk of component loosening and fracture.^{8,9}

Cleaning of abutments before delivery has become standard, with different methods being applied ranging

ABSTRACT

Statement of problem. Technical complications, including abutment fracture, are a clinical reality. After retrieving failed components, re-establishing a reliable implant-abutment connection is essential, but recommendations on how to clean the interface are lacking.

Purpose. The purpose of this in vitro study was to evaluate different clinical debridement strategies for removing titanium powder from an implant-abutment interface with regard to their efficacy and associated risk of damaging the interface.

Material and methods. Specimens (n=5) were assembled from previously cut implant halves, which were then contaminated by placing titanium powder inside the implant-abutment connection. Activated rinsing, airflow, and an ultrasound scaler, as well as combinations thereof, were then used to clean the implant-abutment connections. Both parts of each specimen were rated under a light microscope with respect to contamination and damage. In addition, abutments were placed in intact implants (n=10), which had previously been contaminated and cleaned, to record torque curves and abutment stability. Statistical analysis of ratings was based on Kruskal-Wallis tests and the Nemenyi All Pairs test with single-step *P* value correction, while abutment stability and torque were analyzed using analysis of variance and Tukey HSD tests ($\alpha=.05$).

Results. Erythritol as an abrasive medium led to significantly greater contamination than the scaler ($P=.002$), activated rinsing ($P=.021$), and airflow with sodium bicarbonate combined with either conventional ($P=.002$) or activated rinsing ($P=.007$). Greater damage was also observed with erythritol because of accumulations of the abrasive media, while scratches were seen after scaler application. Airflow using sodium bicarbonate in combination with activated rinsing showed the lowest level of damage (versus scaler $P=.030$). Using conventional ($P=.010$) or activated ($P=.029$) rinsing, airflow treatment led to a significant reduction in contamination. The scaler led to a significant decrease in abutment stability ($P=.048$), while activated rinsing and the combination of airflow and activated rinsing did not significantly affect abutment stability. Abutments placed in implants previously contaminated and cleaned required greater torque as compared with original implants (versus activated rinsing, $P=.009$).

Conclusions. Activated rinsing constituted the best technique for cleaning implant-abutment connections. Cleaning efficiency can be enhanced with airflow using sodium bicarbonate as an abrasive medium. (J Prosthet Dent xxx;xxx:xxx-xxx)

from wiping and soaking to ultrasonic cleaning.^{10,11} Despite these measures, microparticles of lubricant and

No conflict of interest.

^aGraduate student, Department of Prosthodontics, Saarland University, Homburg, Saar, Germany.

^bProfessor and Director, Department of Prosthodontics, Saarland University, Homburg, Saar, Germany.

^cResearch Associate, Department of Prosthodontics, Saarland University, Homburg, Saar, Germany

Clinical Implications

In clinical practice, contamination can lead to incongruities at the implant-abutment interface, thereby reducing abutment stability. The optimal cleaning with minimal damage to critical surfaces was observed when activated rinsing alone or activated rinsing in combination with airflow were applied.

titanium have been reported to remain on the abutment surfaces.¹² Removal of debris becomes particularly important in prostheses with loose or fractured prosthetic screws with limited access and visibility, as with bone-level implants (Fig. 1).^{13,14} The kits available for such situations have been described as being high-risk techniques, which, however, seem to be quite successful.^{15,16} In patients with repeated screw loosening or screw fracture, uncertainty exists as to whether the internal threads of an implant have been damaged and whether the debris has been properly removed.¹⁷⁻¹⁹

Recommendations as to which cleaning methods may be applied to internal implant surfaces other than simple rinsing with solutions such as chlorhexidine, are lacking.²⁰ Ultrasonic instruments have been reported to cause microscopic alterations in implant surfaces, with resin or carbon tips on machined surfaces causing the fewest changes.^{21,22} The instrument tip material, load, and power applied during treatment have also been reported to govern the amount of damage, with plastic tips leaving material deposits behind.²³ Furthermore, polyetheretherketone (PEEK) tips have been reported to

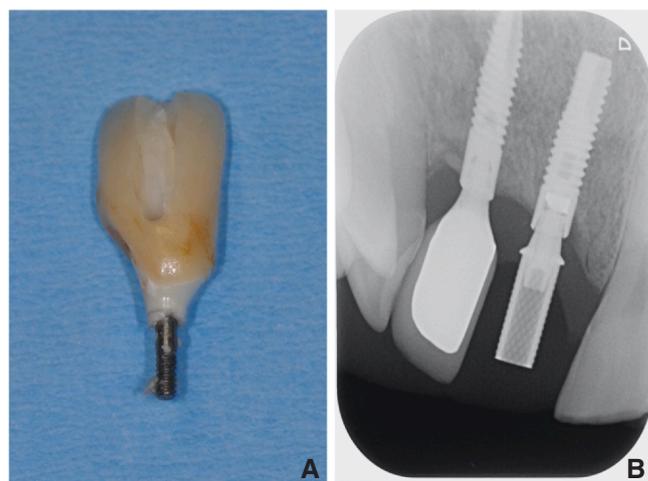


Figure 1. A, Zirconia abutment fractured after several years of service, with small particles visible on prosthetic screw. B, Periapical radiograph of supporting bone level implant with apical part of zirconia abutment in place—interim post partially seated despite clinically invisible zirconia remnants.

be effective at cleaning cement remnants around implants.²⁴ Alternatively, air powder abrasion with various materials has been advocated. Traditionally used sodium bicarbonate powder has been reported to result in increased surface roughness as compared with glycine powder and erythritol powder, which cause minimal surface alteration.²⁵⁻²⁷

Implant-abutment interfaces are difficult to assess as different material combinations may be present.²⁸⁻³⁰ Relative movement at the implant-abutment interface has been reported to be critical for clinical performance, as the movement affects abutment screw preload.³¹⁻³⁴ Under clinical conditions, contamination with fluid,³⁴⁻³⁸ repeated torque applications, and settling because of masticatory loading are additional variables.^{39,40}

The aim of this *in vitro* study was to compare various clinical debridement strategies for removing titanium powder from implant abutment interfaces with respect to their efficacy and associated risk of damaging critical interfaces. The null hypothesis was that no difference would be found among the various cleaning protocols.

MATERIAL AND METHODS

Implants with an internal hexagon connection (MAX implant MX 11542 LOT: MX 132109-27 - Length 11.5 mm; Diameter 4.2 mm; AlfaGate) were positioned in resin devices and sectioned parallel to the long axis using a diamond band saw (EXAKT 300; EXAKT Advanced Technologies GmbH) and a polishing machine (TegraPol-31 & TegraForce-5; Struers GmbH). The sectioning was done so that an implant could be reassembled out of the 2 halves to fully represent the original internal hexagon geometry (Fig. 2A, B). Titanium powder with a grain size of 0 to 100 μm (Werth-Metall) was used to contaminate the internal implant surface by placing a total of 0.03 g of the powder with a filling instrument (Fig. 2C). These specimens ($n=5$) were subsequently cleaned by applying the methods specified in Table 1 and Figure 3.

For analysis, the specimens were disassembled and inspected under a light microscope (LEICA DM4B; LEICA Mikrosysteme Vertrieb GmbH) equipped with a color image analyzing system (LEICA Application Suite, LEICA Phase Expert; LEICA Mikrosysteme Vertrieb GmbH) applying the evaluation scheme described in Table 2. For illustration purposes, scanning electron microscope (SEM) images were made from 1 specimen in each treatment group.

Three of the decontamination techniques (Scaler, EDDY, Airflow-EDDY) were additionally applied to unaltered implants ($n=10$) which had been embedded in gypsum and contaminated as described previously (Table 1, Fig. 4). Following cleaning, stock abutments

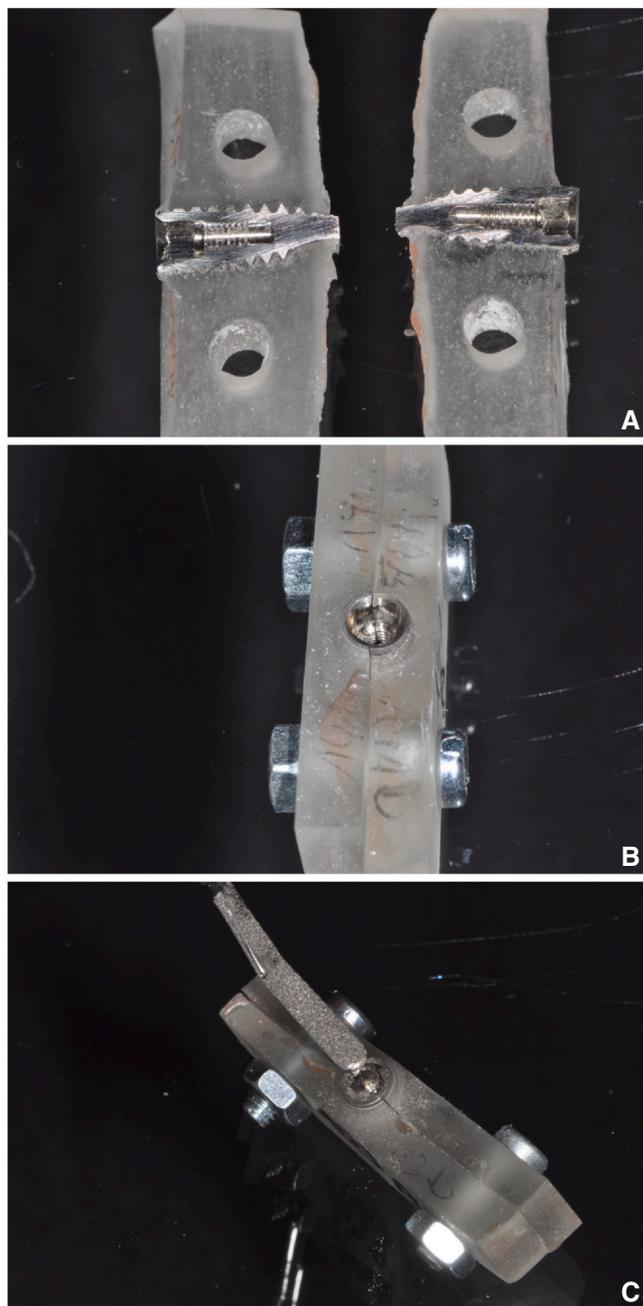


Figure 2. A, Two implant halves placed in resin device. B, Reassembly of implant halves with complete implant-abutment interface. C, Contaminated with titanium powder.

(AGM-101-3C Concave Abutment 3 mm; LOT: AGM1013C1707-11; AlfaGate) were tightened on the implant shoulders with the manufacturer's recommended torque of 25 Ncm and a surgical motor (iChiropro; BienAir). With the velocity set at 15 rpm, torque development was recorded at intervals of 0.2 seconds during tightening of the abutment screws, resulting in torque-time curves.²⁸ Tightening of abutments on unaltered and uncontaminated implants (n=10) was used as a reference. For comparative statistics, a cutoff value of 5 Ncm was established with the sum of all single torque values recorded until then serving as the parameter (Fig. 5). The assumption was that remnants of titanium powder or abrasive media would alter initial torque values. The cutoff value was chosen so that the steep increase in torque development up to 25 Ncm did not overshadow potential differences among groups. Following the tightening procedure, abutment stability was determined by using damping capacity assessments in 2 directions perpendicular to each other before calculating a mean value (Periotest M; Gulden Medizintechnik).²⁹

The statistical analysis of ratings for damage and contamination was based on Kruskal-Wallis tests and pairwise comparisons using the Nemenyi All Pairs test with a single-step *P* value correction. Torque and Periotest values for abutment stability were compared by using Shapiro-Wilk normality tests, Levene tests for homogeneity of variance, analysis of variance, and Tukey HSD tests for pairwise comparisons ($\alpha=.05$ for all statistical tests).

RESULTS

The cleaning efficiency of the techniques varied greatly, as seen in the representative images showing contamination and damage in the different treatment groups (Fig. 6). The application of the ultrasound scaler caused visible scratches on the internal surfaces, while the airflow application led to accumulations of abrasive media, which were also subsumed as damage. The mean values and standard deviations for damage and contamination of implant abutment interfaces based on

Table 1. Description of experimental groups

Abbreviation	Description	Abutment Test
Scaler	Ultrasound scaler (Sonicflex, KaVo Dental GmbH) for 30 s	YES
EDDY	Activated rinsing (EDDY Endo Irrigation Tip, VDW GmbH) for 30 s with 3 ml CHX (Chlorhexamed, GlaxoSmithKline Consumer Healthcare)	YES
Airflow	Airflow treatment sodium bicarbonate (E.M.S. Electro Medical Systems S.A.) for 30 s	
Airflow - CHX	Airflow treatment sodium bicarbonate for 30 s & rinsing with 3 ml of CHX	
Airflow - EDDY	Airflow treatment sodium bicarbonate for 30 s & activated rinsing (EDDY) for 30 s with 3 ml of CHX	YES
Glycine	Airflow treatment glycine powder for 30 s	
Erythritol	Airflow treatment erythritol powder for 30 s	

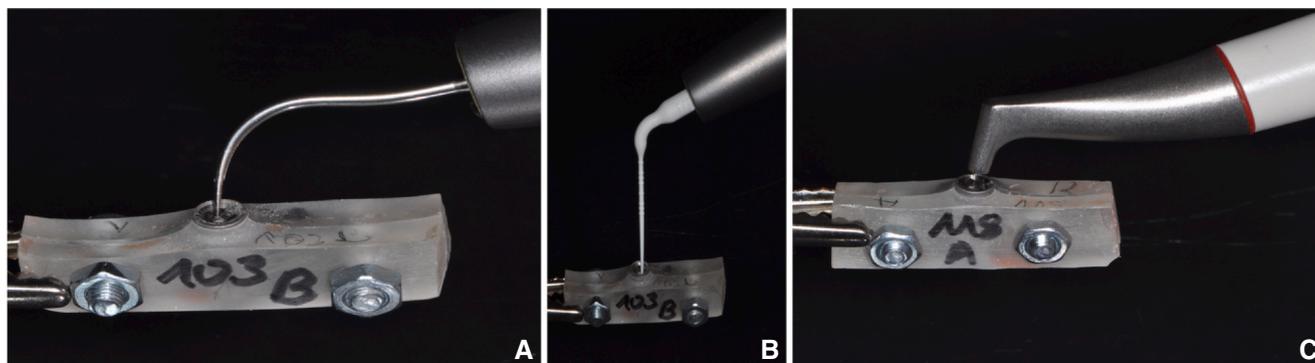


Figure 3. Debridement strategies for removing titanium powder from implant abutment interface and combinations (see Table 1). A, Ultrasonic instrumentation. B, Activated rinsing. C, Air powder application.

visual ratings are given in Figure 7, and the results of comparative statistics are presented in Table 3.

The worst performance with respect to both damage and contamination was seen for airflow when using erythritol as the abrasive medium, with significantly greater contamination as compared with the scaler ($P=.002$), activated rinsing ($P=.021$), and airflow with sodium bicarbonate combined with either conventional rinsing ($P=.002$) or activated rinsing ($P=.007$). Airflow as a single technique with either glycine ($P=.999$) or sodium bicarbonate ($P=.999$) led to comparable levels of contamination. Also, no significant difference was detected between airflow with glycine and sodium bicarbonate ($P>.999$). With respect to damage, airflow with erythritol led to significantly greater values as compared with activated rinsing ($P=.003$), as well as airflow combined with conventional ($P=.037$) and activated ($P<.001$) rinsing. The damage was from a layer of abrasive medium in the erythritol group, while scratches were seen after scaler application. Airflow using sodium bicarbonate in combination with activated rinsing showed the lowest level of damage, with a significant difference observed in comparison with the scaler ($P=.030$). Using conventional ($P=.010$) or activated ($P=.029$) rinsing after airflow treatment led to a significant reduction of contamination as compared with the use of airflow alone. The use of glycine air powder led to significantly greater contamination as compared

with the use of a scaler ($P=.017$), as well as airflow with conventional ($P=.017$), and activated ($P=.046$) rinsing, respectively. The scaler performed significantly better as compared with airflow alone ($P=.010$) when considering contamination.

During tightening of the abutments in the second part of the study, repeated torque peaks occurred in specimens that had previously been contaminated and cleaned. Representative torque curves for the different treatment groups are shown in Figure 5, and mean values and standard deviations for tightening torque and abutment stability as determined by using the Periotest are given in Figure 8.

Based on the measurement values obtained, normality (Periotest $P=.050$; Torque $P=.810$) and equal variance (Periotest $P=.970$; Torque $P=.120$) assumptions were met. Analysis of variance (Periotest $P=.037$; Torque $P=.011$) indicated significant differences among treatment groups.

The use of an ultrasonic scaler led to a significant increase in Periotest value, indicating less abutment stability as compared with unaltered implants ($P=.048$). Activated rinsing, as well as the combination of airflow and activated rinsing, did not significantly affect abutment stability (Table 4). All abutments placed in previously contaminated implants and cleaned required greater work (sum of all single torque values until reaching the cutoff value of 5 Ncm) as compared with

Table 2. Rating scheme applied for evaluating damage and contamination of implant-abutment interface

Rating	Degree	Description	
Damage			
3	severe damage	cleaning agent reaches hexagon	threads locally destroyed
2	medium damage	cleaning agent fills threads up to 66% in height	concentration of scratches
1	slight damage	thin layer of cleaning agent	singular scratches
0	no damage	no cleaning agent in threads	no scratches
Contamination			
3	severe contamination	titanium powder completely fills threads/reaches hexagon	
2	medium contamination	titanium powder fills threads up to 66% in height	
1	slight contamination	titanium powder fills threads up to 33% in height	
0	no contamination	no titanium powder visible	

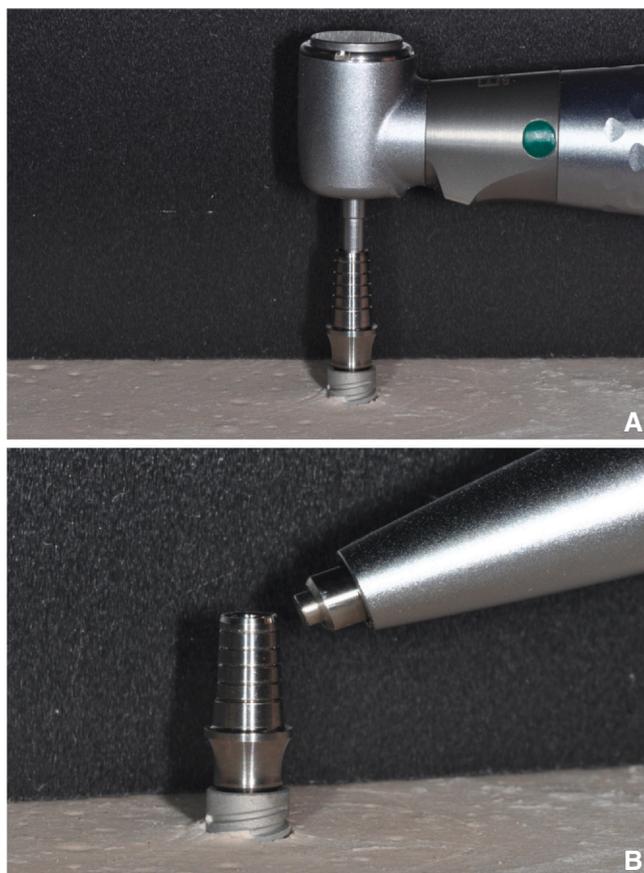


Figure 4. Torque testing of abutments on intact implants after debridement of implant abutment interfaces. A, Surgical motor used to apply 25 Ncm at 15 RPM while recording torque curves. B, After abutment fixation, damping capacity assessments used for quantifying abutment stability.

the original implants. However, this difference was statistically significant only for activated rinsing ($P=.009$) (Table 4).

DISCUSSION

The null hypothesis was rejected because significant differences were found among the groups (Table 3). Clinically, different circumstances may cause an abutment to not become stable upon tightening or to repeatedly become loose again. Apart from a potential mismatch when not using original components, contamination with bacterial biofilm and calculus, entrapment of soft tissue, and the presence of debris should be considered.^{30–32} Therefore, especially with bone-level implants, a thorough clinical diagnosis is essential before considering surgical intervention.¹⁴ As implant fracture might also cause repeated abutment loosening before peri-implant bone loss can be seen, excluding all potential reasons which may hinder the abutment from

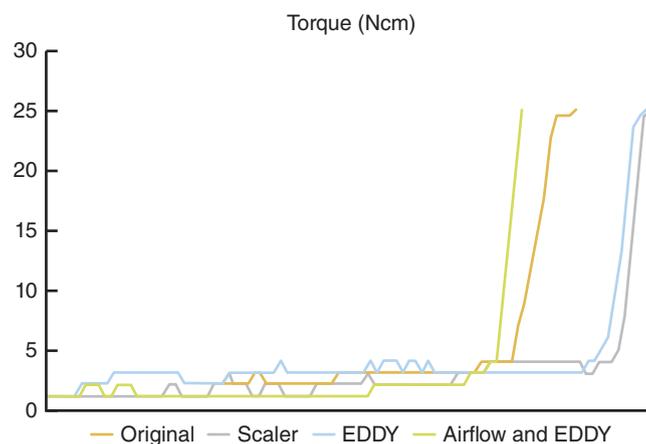


Figure 5. Torque curves (Ncm) for abutment tightening of noncontaminated implants after following debridement with ultrasound scaler, EDDY, and combination of Airflow and EDDY. Torque values until reaching cutoff value of 5 Ncm considered for comparative statistics.

being seated constitutes the first step. When assessing and cleaning the implant-abutment interface, it is important not to alter the implant-abutment connection, which is the reason for this study comparing different clinically applicable decontamination strategies.

Based on the results determined, optimal cleaning can be achieved using activated rinsing or airflow combined with activated rinsing while hardly altering critical surfaces of the implant-abutment interface. Better decontamination was, however, achieved with the scaler and airflow combined with conventional rinsing, but these methods, when combined, caused significant damage. As seen in both parts of the study, re-establishing a pristine implant-abutment connection as originally received from the manufacturer was impossible with the approaches tested here. It had been anticipated that debris would alter the friction coefficient between the mating surfaces of the implant, abutment, and prosthetic screw, thereby affecting abutment stability.² The change in friction coefficient was observed in the specimens investigated.

Different ultrasonic devices are used in endodontics to activate rinsing solutions and improve cleaning efficiency in root canals.⁴¹ The ultrasonic tip used in the present study was quite effective in removing debris, consistent with Koyuncuoglu et al,²⁴ who reported that PEEK tips effectively removed excess cement around dental implants.

Implant-abutment interfaces can be evaluated with different methods, from measurements of microgaps to performance tests for abutment stability, including reverse torque testing and measurements of micromotion under dynamic loading.^{3,31,32,34,35} As it is difficult to link different parameters, this study was limited to a relative comparison based on visual inspection, judgments of

Scaler	EDDY	Airflow	Airflow and CHX	Airflow and EDDY	Glycine	Erythritol - hexagon area	Erythritol - thread area
Light microscopic image showing scratches	Remaining titanium particles between threads	Remaining sodium bicarbonate both in hexagon and thread areas	Few remaining particles in thread region	Good cleaning results with only singular particles visible	Strong contamination of internal threads with abrasive media	Layer of abrasive medium covering internal surfaces	Abrasive medium occupies the space below the threads; thin layer of abrasive medium present at interface

Figure 6. Characteristic light microscopic and scanning electron microscope images depicting representative specimens for each treatment group.

abutment stability based on torque-time signatures, and damping capacity measurements.^{28,29,32} Assessing micromotion under dynamic loading of implant-abutment assemblies after cleaning should be investigated in the future. Based on previous reports, it may be expected that contamination of abutment screws with titanium nanoparticles would decrease screw reverse torque values under repeated loading conditions because of a settling effect.^{35,40}

Limitations of the present study included the in vitro design and the fact that only 1 implant-abutment connection design was investigated; therefore, the results may not be generalized. Screw joint stability can be affected by fluids such as blood, saliva, and chlorhexidine.^{34,36,37} While lubrication with saliva led to increased preload, based on more recent reports, the type of contaminant seems to play a role in blood contamination by reducing the detorque values of abutments.^{34,36,37,39}

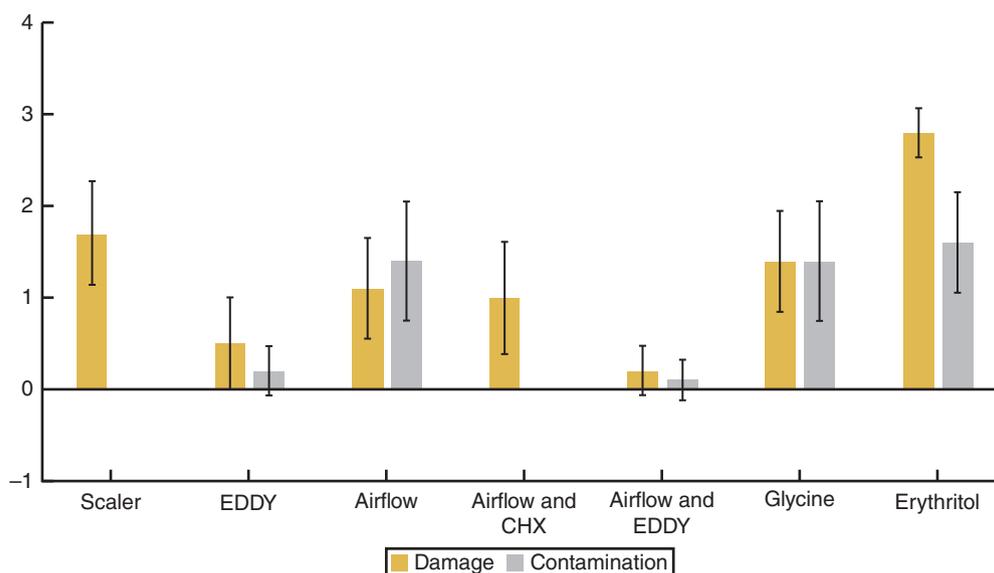


Figure 7. Mean ratings obtained during visual inspection of sectioned implants (for group abbreviations, see Table 1; for rating scheme see Table 2).

Table 3. Results for pairwise comparisons (Nemenyi All Pairs test with single-step P value correction; $\alpha=.05$) between different treatment groups based on ratings for Damage and Contamination (see Fig. 6)

	Ratings for Damage						
	Scaler	EDDY	Airflow	Airflow - CHX	Airflow - EDDY	Glycine	Erythritol
Scaler		.204	.944	.868	.030	.999	.631
EDDY	.998		.860	.592	.995	.456	.003
Airflow	.010	.073		.999	.436	.996	.074
Airflow - CHX	>.999	.998	.010		.592	.981	.037
Airflow - EDDY	>.999	>.999	.029	1.000		.112	<.001
Glycine	.017	.106	>.999	.017	.046		.341
Erythritol	.002	.021	.999	.002	.007	.999	
	Ratings for Contamination						

Significant differences in bold

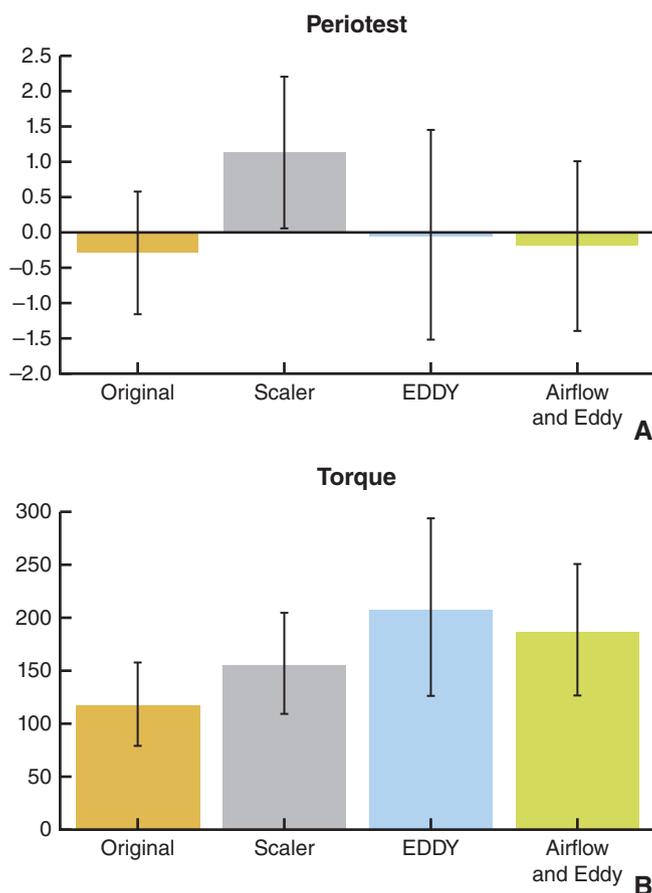


Figure 8. Abutment stability in unaltered implants and implants cleaned using ultrasound scaler, activated rinsing, and airflow plus rinsing. A, Periostest values. B, Sum of torque values.

However, no significant effect of different lubricants on the preload of prosthetic screws was reported in a comparative in vitro study.³⁸ The light microscopy used may not have been sensitive enough to record the full extent of damage and contamination. However, tolerances between mating surfaces do exist, and in these areas, contaminants may not affect abutment stability. In addition, abrasive media remnants were considered damage in this study, comparable to the scratches induced by the use of a scaler. This was done to properly categorize alterations

Table 4. Results for pairwise comparisons (Tukey HSD tests; $\alpha=.05$) between different treatment groups based on Periostest and Torque measurements (see Fig. 8)

	Periostest			
	Original	Scaler	EDDY	Airflow - EDDY
Original		.048	.958	.997
Scaler	.506		.141	.076
EDDY	.009	.221		.990
Airflow - EDDY	.066	.650	.857	
	Torque			

Significant differences in bold ($P < .05$)

induced by the cleaning method and to allow for comparative statistics.

CONCLUSIONS

Based on the findings of this in vitro study, the following conclusions were drawn:

1. Activated rinsing is the best single-step technique for cleaning an implant abutment connection with minimal risk of damage.
2. Activated rinsing may further be enhanced by combining airflow with sodium bicarbonate as an abrasive medium before the rinsing process.

REFERENCES

1. Katsavochristou A, Koumoulis D. Incidence of abutment screw failure of single or splinted implant prostheses: A review and update on current clinical status. *J Oral Rehabil.* 2019;46:776–786.
2. Jörn D, Kohorst P, Besdo S, Rücker M, Stiesch M, Borchers L. Influence of lubricant on screw preload and stresses in a finite element model for a dental implant. *J Prosthet Dent.* 2014;112:340–348.
3. Bagegni A, Zabler S, Nelson K, et al. Synchrotron-based micro computed tomography investigation of the implant-abutment fatigue-induced microgap changes. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2021;116:104330.
4. Alqutaibi AY, Aboalrejal AN. Microgap and micromotion at the implant abutment interface cause marginal bone loss around dental implant but more evidence is needed. *J Evid Based Dent Pract.* 2018;18:171–172.
5. Sanchez-Perez A, Nicolas-Silvente AI, Sanchez-Matas C, Cascales-Pina E, Macia-Manresa V, Romanos GE. Control of peri-implant mucous inflammation by using chlorhexidine or ultraviolet c radiation for cleaning healing abutments. Double-blind randomized clinical trial. *Materials (Basel).* 2020;13:1124.
6. Ramalho I, Witek L, Coelho PG, Bergamo E, Pegoraro LF, Bonfante EA. Influence of abutment fabrication method on 3D fit at the implant-abutment connection. *Int J Prosthodont.* 2020;33:641–647.

7. Hurson S. Implant/Abutment biomechanics and material selection for predictable results. *Compend Contin Educ Dent*. 2018;39:440–444. quiz 446.
8. Taylor TD, Klotz MW, Lawton RA. Titanium tattooing associated with zirconia implant abutments: A clinical report of two cases. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29:958–960.
9. Klotz MW, Taylor TD, Goldberg AJ. Wear at the titanium-zirconia implant-abutment interface: A pilot study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2011;26:970–975.
10. Wiedenmann F, Liebermann A, Spintzyk S, Eichberger M, Stawarczyk B. Influence of different cleaning procedures on tensile bond strength between zirconia abutment and titanium base. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2019;34:1318–1327.
11. Yin L, Zhu Y, Yu H, Qiu L. Evaluating the efficiency of three methods to clean and disinfect screw- and cement-retained prostheses. *J Prosth Dent*. 2022;127:775–782.
12. Canullo L, Micarelli C, Iannello G. Microscopical and chemical surface characterization of the gingival portion and connection of an internal hexagon abutment before and after different technical stages of preparation. *Clin Oral Implants Res*. 2013;24:606–611.
13. Carneiro Tde A, Prudente MS, Pessoa E, Mendonça RS, das Neves FD G. A conservative approach to retrieve a fractured abutment screw - Case report. *J Prosthodont Res*. 2016;60:138–142.
14. Lee JH, Park JH, Park CJ, Cho LR. Technique to retrieve implant abutment fragments. *J Prosth Dent*. 2015;114:486–489.
15. Mizumoto RM, Jamjoom FZ, Yilmaz B. A risk-based decision making tree for managing fractured abutment and prosthetic screws: A systematic review. *J Prosth Dent*. 2018;119:552–559.
16. Igarashi K, Afrashtehfar KI, Schimmel M, Gazzaz A, Brägger U. Performance of a repair service set for the retrieval of fractured abutment screws: A pilot in vitro study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2019;34:567–573.
17. Hansen PA, Salinas AA. Management of a damaged implant for retention of an overdenture prosthesis and fixed single crown: Clinical reports. *J Prosthodont*. 2018;27:376–382.
18. Igarashi K, Afrashtehfar KI. Clinical assessment of fractured implant abutment screws: The bernese silicone replica technique. *J Prosth Dent*. 2018;119:717–719.
19. Yi Y, Heo SJ, Koak JY, Kim SK. Alternative approach to salvaging an implant with a fractured screw fragment: A clinical report. *J Prosth Dent*. 2021;125:18–21.
20. Jervøe-Storm PM, Hablützel AS, Bartels P, Kraus D, Jepsen S, Enkling N. Comparison of irrigation protocols for the internal decontamination of dental implants—Results of in vitro and in vivo studies. *Clin Oral Implants Res*. 2021;32:1168–1175.
21. Harrel SK, Wilson Jr TG, Pandya M, Diekwisch TGH. Titanium particles generated during ultrasonic scaling of implants. *J Periodontol*. 2019;90:241–246.
22. Sahrman P, Winkler S, Gubler A, Attin T. Assessment of implant surface and instrument insert changes due to instrumentation with different tips for ultrasonic-driven debridement. *BMC Oral Health*. 2021;21:25.
23. Mann M, Parmar D, Walmsley AD, Lea SC. Effect of plastic-covered ultrasonic scalers on titanium implant surfaces. *Clin Oral Implants Res*. 2012;23:76–82.
24. Koyuncuoglu CZ, Kara HB, Akdemir S, Demir B, Husain NA, Özcan M. Cleaning efficacy of poly-ether-ether-ketone tips in eliminating cement remnants around implants with different abutment heights. *J Oral Implantol*. 2020;46:548–554.
25. Cochis A, Fini M, Carrassi A, Migliario M, Visai L, Rimondini L. Effect of air polishing with glycine powder on titanium abutment surfaces. *Clin Oral Implants Res*. 2013;24:904–909.
26. Cha JK, Paeng K, Jung UW, Choi SH, Sanz M, Sanz-Martin I. The effect of five mechanical instrumentation protocols on implant surface topography and roughness: A scanning electron microscope and confocal laser scanning microscope analysis. *Clin Oral Implants Res*. 2019;30:578–587.
27. Chew M, Tompkins G, Tawse-Smith A, Waddell JN, Ma S. Reusing titanium healing abutments: Comparison of two decontamination methods. *Int J Prosthodont*. 2018;31:613–618.
28. Calderini A, Maiorana C, Garlini G, Abbondanza T. A simplified method to assess precision of fit between framework and supporting implants: A preliminary study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2007;22:831–838.
29. Shah KC, Linsley CS, Wu BM. Evaluation of a shape memory implant abutment system: An up to 6-month pilot clinical study. *J Prosth Dent*. 2020;123:257–263.
30. Karl M, Taylor T. Parameters determining micromotion at the implant-abutment interface. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29:1338–1347.
31. Grobecker-Karl T, Karl M. Correlation between micromotion and gap formation at the implant-abutment interface. *Int J Prosthodont*. 2017;30:150–152.
32. Karl M, Irastorza-Landa A. In vitro characterization of original and non-original implant abutments. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2018;33:1229–1239.
33. Rezayani V, Alikhasi M, Monzavi A. Effect of serrating abutment-implant mating surface on torque stability of implant-abutment connection, before and after cyclic loading. *J Oral Implantol*. 2020;46:555–561.
34. Nigro F, Sendyk CL, Francischone Jr CE, Francischone CE. Removal torque of zirconia abutment screws under dry and wet conditions. *Braz Dent J*. 2010;21:225–228.
35. Lee HW, Alkumru H, Ganss B, Lai JY, Ramp LC, Liu PR. The effect of contamination of implant screws on reverse torque. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2015;30:1054–1060.
36. Gumus HO, Zortuk M, Albayrak H, Dincel M, Kocaagaoglu HH, Kilinc HI. Effect of fluid contamination on reverse torque values in bone-level implants. *Implant Dent*. 2014;23:582–587.
37. Koosha S, Toraji S, Mostafavi AS. Effect of fluid contamination on the reverse torque values of abutment screws at implant-abutment connections. *J Prosth Dent*. 2020;123:618–621.
38. Rathe F, Ratka C, Kaesmacher C, Winter A, Brandt S, Zipprich H. Influence of different agents on the preload force of implant abutment screws. *J Prosth Dent*. 2021;126:581–585.
39. Tzenakis GK, Nagy WW, Fournelle RA, Dhuru VB. The effect of repeated torque and salivary contamination on the preload of slotted gold implant prosthetic screws. *J Prosth Dent*. 2002;88:183–191.
40. Karl M, Taylor T. Effect of cyclic loading on micromotion at the implant-abutment interface. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2016;31:1292–1297.
41. Kanaan CG, Pelegrine RA, da Silveira Bueno CE, Shimabuko DM, Valamatos Pinto NM, Kato AS. Can irrigant agitation lead to the formation of a smear layer? *J Endod*. 2020;46:1120–1124.

Corresponding author:

Dr Virgilia Klär
 Department of Prosthodontics
 Saarland University
 Kirrberger Strasse 100
 Homburg, Saar, 66421
 GERMANY
 Email: virgilia.klaer@uks.eu.

Acknowledgments

The authors thank Professor emeritus, Dr Friedrich Graef (Department of Mathematics, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg), for statistical data analysis. The experiments presented were carried out by Lilly K. Lang in partial fulfillment of the requirements for the degree Dr med dent at Saarland University, Homburg, Germany.

CRediT authorship contribution statement

Lilly K. Lang: Methodology, Investigation, Project administration. **Matthias Karl:** Conceptualization, Formal analysis, Writing - original draft. **Virgilia Klär:** Software, Writing - review and editing.

Copyright © 2023 by the Editorial Council of *The Journal of Prosthetic Dentistry*. All rights reserved.
<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.08.024>

8 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Matthias Karl, Direktor der Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde des Universitätsklinikums des Saarlandes, für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und seine wohlwollende Unterstützung.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Professor Dr. Dr. Siegfried Heckmann, Mitarbeiter der Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde des Universitätsklinikums des Saarlandes, für seine wertvollen Ratschläge.

Herrn Dr. Friedrich Gräf vom Institut für Angewandte Mathematik der Universität Erlangen-Nürnberg möchte ich für die statistische Auswertung der Ergebnisse danken.

Schließlich bedanke ich mich bei dem Team Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde des Universitätsklinikums des Saarlandes für die Bereitstellung der Materialien und stets freundliche Unterstützung.

9 Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.

10 Anhang

Verwendete Materialien und Maschinen

- MAX-Implantate: AlfaGate // Bonn // Deutschland // MX11542 // $\varnothing 4.2\text{mm}$ // L11,5mm
- Abutments: AlfaGate // Münster // Deutschland // AGM-101-3C // 3mm // LOT AMG1013C1707-11
- LEICA DM4B // Leica Microsystems GmbH // Wetzlar // Deutschland
- Mikroskop-Kamera: LEICA DFC320 // Leica Microsystems GmbH // Wetzlar // Deutschland
- LAS Steel Expert V4.12 // Leica Microsystems GmbH // Wetzlar // Deutschland
- „Technovit®4004“ // Kulzer GmbH // Hanau // Deutschland
- Dubliersilikon: Siladent // Adisil blau 9:1 // SILADENT Dr. Böhme & Schöps GmbH // Goslar // Deutschland // Additionsvernetzend
- Vakuummischgerätes
- Schleif- und Poliermaschine: TegraPol-31 // TregaForce-5 manuelle Präparation 300 UpM // Struers A/S // DK-2750 Ballerup //Dänemark
- Schleifpapier: WS FLEX 18C // HERMES // 02/Order no. 4503641754 1 // 5688855 // EAN/UPC: 4015238034471 // Körnung P320
- Präzisionsklebers: Technovit 7210 // Kulzer GmbH // Hanau // Deutschland
- Wasserwaage
- UV-Lampe: EXAKT Advanced Technologies GmbH // Norderstedt
- Objektträger: 75 mm x 25 mm
- Vakuumpumpe: KNF DAC GmbH c/o WeWork Companies Inc. // Hamburg // Deutschland // Type: PJ 9939-823-3
- Diamantensäge: EXAKT 300 // EXAKT Advanced Technologies GmbH // Norderstedt
- Spiegel
- Kühlschmierstoffes: COOL Bio 422 // Optimal Products Lukas Steinmann e.K. // Bad Oeynhausen // Deutschland
- Fluoreszenz: Leica Microsystems GmbH // Wetzlar // Deutschland
- Präzisionswaage: Mettler Instruments GmbH // Gießen // Deutschland
- Titanpulver: Werth-Metall // Erfurt // Deutschland // 0-100 μm // Reinheit: >98,50% // CAS-Nr.:7440-32-6 // UN-Nr.: UN-2878

- Ultraschallscaler: Sonicflex // KaVoDental GmbH // Biberach // Deutschland
- Aktivierte Spülung: EDDY Endo Irrigation Tip // VDW GmbH // München // Deutschland
- Chlorhexamed GlaxoSmithKline Consumer HealthCare // München // Deutschland
- Natrium-Bicarbonat Airflow Treatment // E.M.S., Electro Medical Systems S.A. // Nyon // Schweiz // LOT 2107056 // REF DV-048/MIN // ParticleSize: ~40µm
- Glycin-Pulver: E.M.S., Electro Medical Systems S.A. // Nyon // Schweiz
- Erythritol Pulver: E.M.S., Electro Medical Systems S.A., Nyon // Schweiz
- Superhartgips: Die Stone // ERNST HINRICHS Dental GmbH // Goslar // Deutschland
- Microsoft PowerPoints Programs // Microsoft Corporation // One Microsoft Way Redmond // WA 98052-6399 // USA
- IChiropro // Bien-Air Dental SA // Bien-Air Medical Technologies // Schweiz
- Periotest // Medizintechnik Gulden e. K. // Modautal/ Deutschland

Anhang 1: Implantate wurden randomisiert den Gruppen zugeordnet um zu gewährleisten, dass mögliche Produktionsfehler möglichst homogen verteilt sind.	
Gruppe	Implantat-Nummer
1	107, 114, 121, 128, 130
2	102, 105, 119, 137, 142
3	101, 105, 106, 116, 120
4	104, 108, 110, 127, 132
5	112, 122, 125, 134, 138
6	109, 118, 123, 139, 141
7	113, 124, 129, 131,140

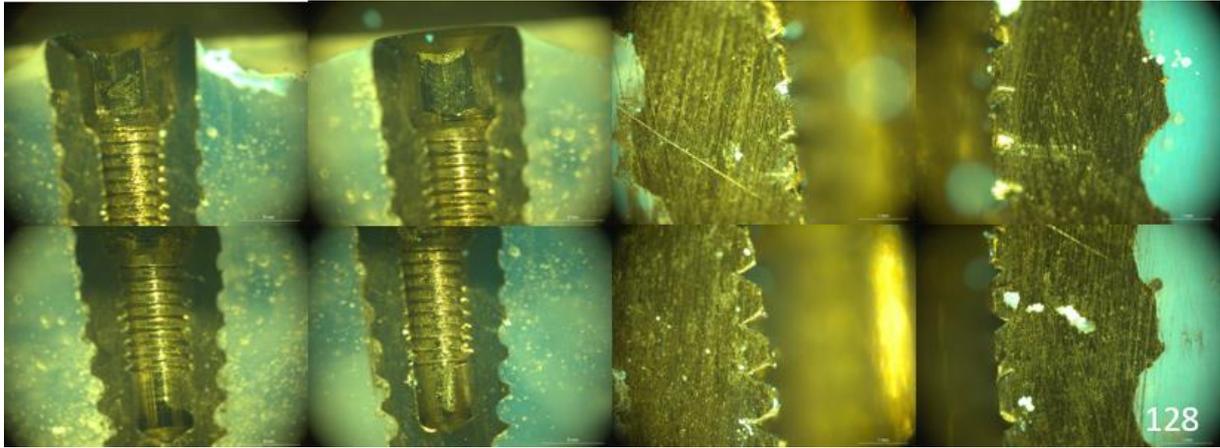
Anhang

Anhang 2: Dokumentation Auswertung nach der Reinigung				
Nr	Schädigungsgrad		Verunreinigungsgrad	
	A	B	A	B
107	2	1	0	0
114	1	1	0	0
121	3	2	0	0
128	3	1	0	0
130	1	2	0	0
102	1	1	0	0
105	0	0	0	0
119	1	1	1	0
137	0	0	1	0
142	1	0	0	0
103	3	3	2	2
126	3	3	2	2
133	1	1	2	2
101	2	2	1	1
106	0	1	2	1
115	1	1	2	3
116	1	1	1	1
120	1	1	1	1
104	1	1	0	0
108	1	0	0	0
110	1	0	0	0
127	1	1	0	0
132	2	2	0	0

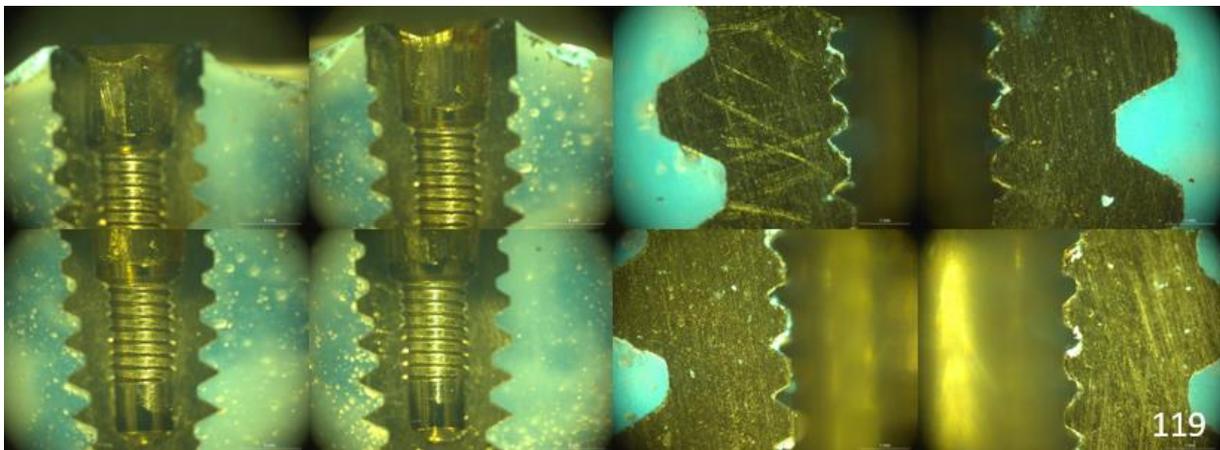
Anhang

112	0	1	0	0
122	0	0	0	0
125	0	1	0	0
134	0	0	0	0
138	0	0	0	1
109	2	2	2	2
118	1	1	2	1
123	1	1	1	0
139	2	2	1	1
141	1	1	1	3
113	3	3	1	1
124	3	3	2	2
129	3	3	2	2
131	3	2	1	1
140	3	2	2	2

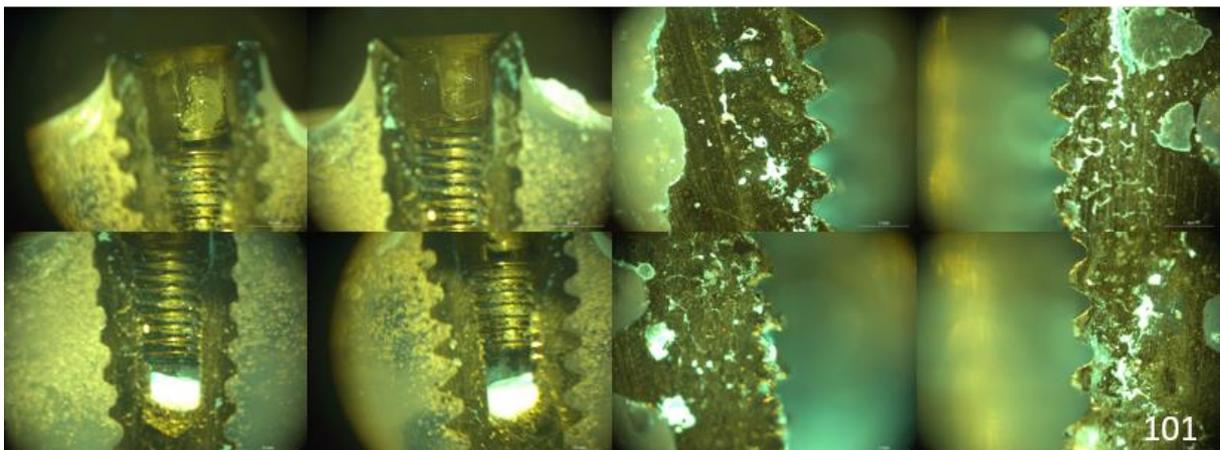
Exemplarische Bild-Dokumentation der Prüfkörper (je ein Implantat pro Gruppe)



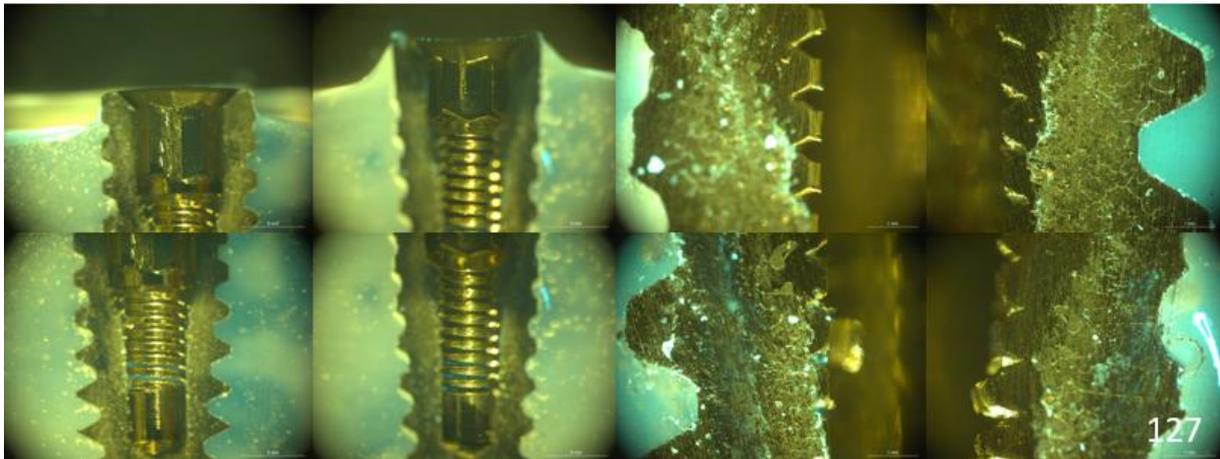
Anhang 3 Bild-Dokumentation aller ROI eines Prüfkörpers nach Ultraschallscaler-Anwendung



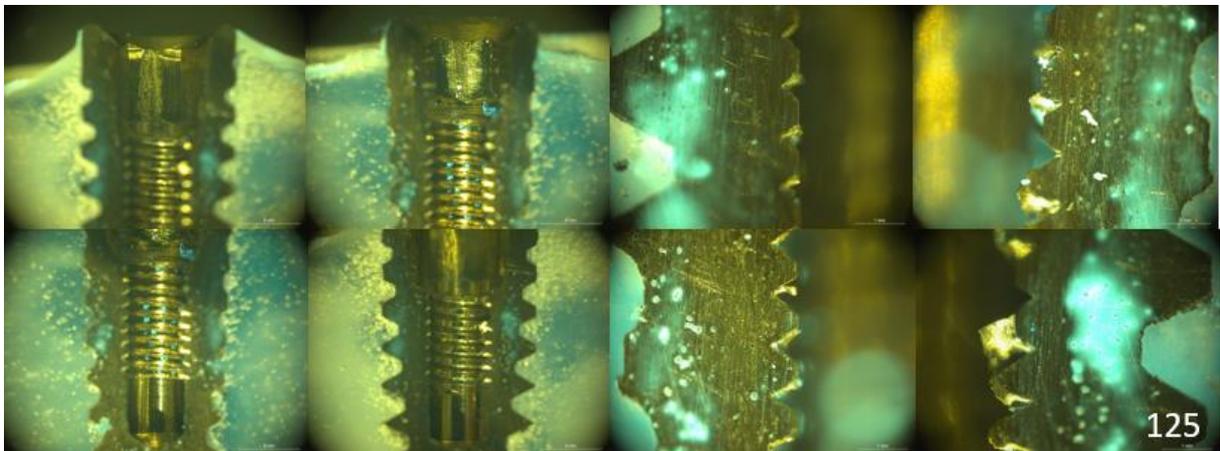
Anhang 4 Bild-Dokumentation aller ROI eines Prüfkörpers nach aktivierter Spülung



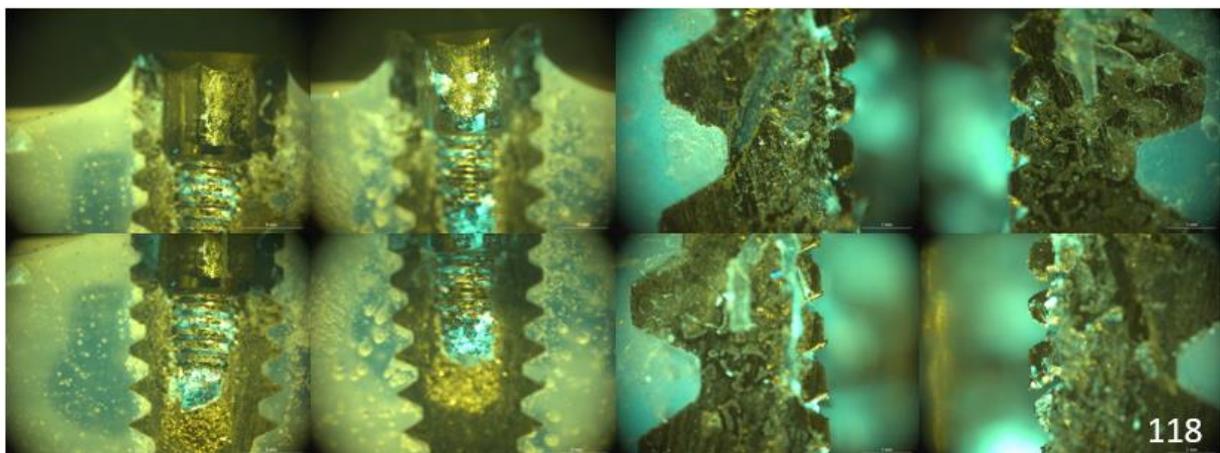
Anhang 5 Bild-Dokumentation aller ROI eines Prüfkörpers nach Airflow mit Natriumbicarbonat



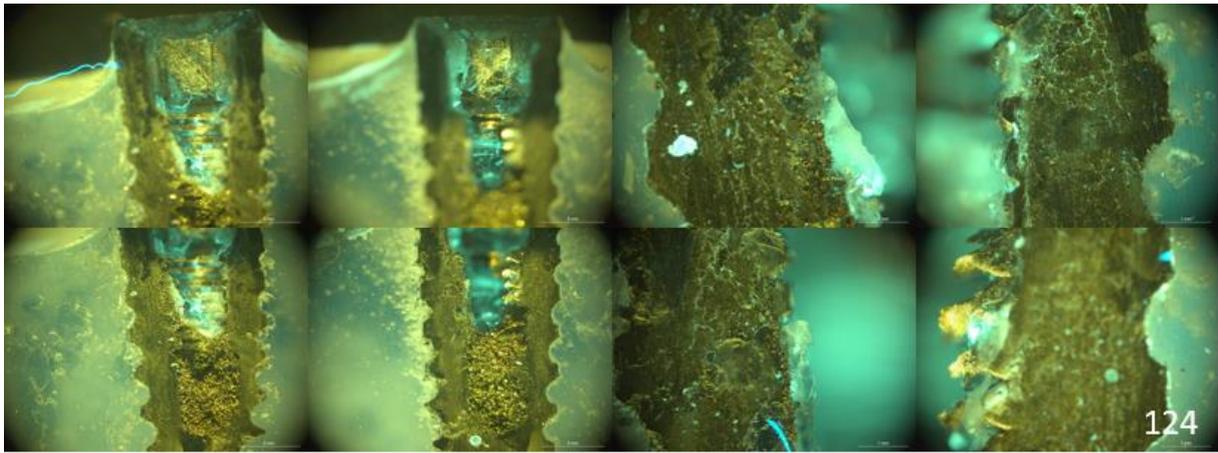
Anhang 6 Bild-Dokumentation aller ROI eines Prüfkörpers nach Airflow mit Natriumbicarbonat mit Chlorhexamed-Spülung



Anhang 7A Bild-Dokumentation aller ROI eines Prüfkörpers nach Airflow mit Natriumbicarbonat und aktivierter Spülung

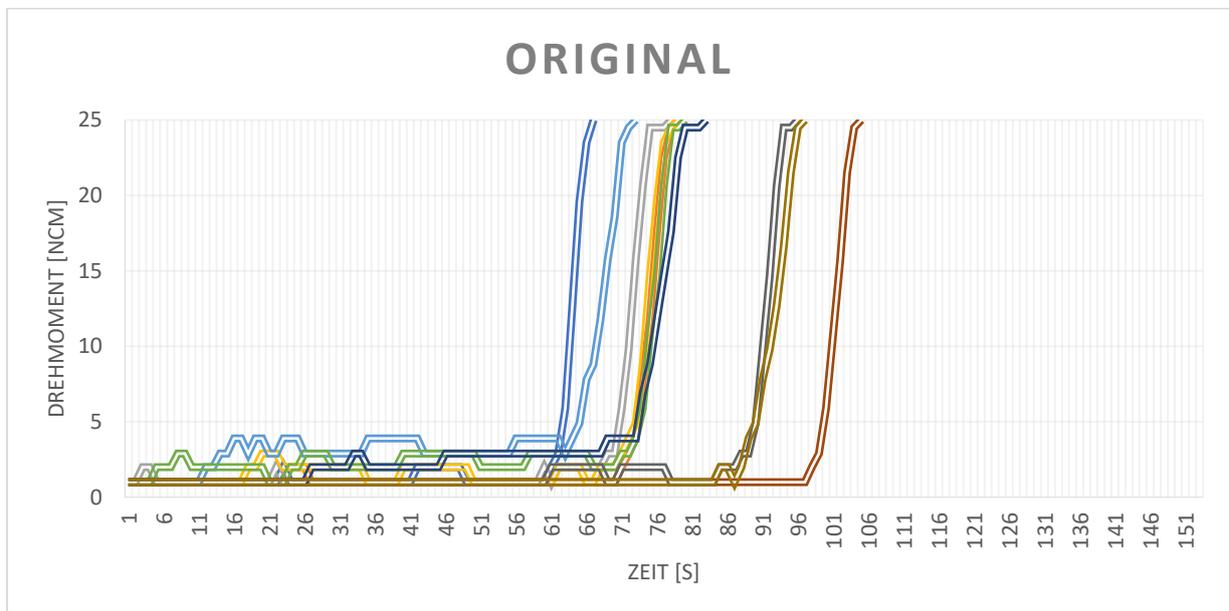


Anhang 8 Bild-Dokumentation aller ROI eines Prüfkörpers nach Airflow mit Glycin-Pulver

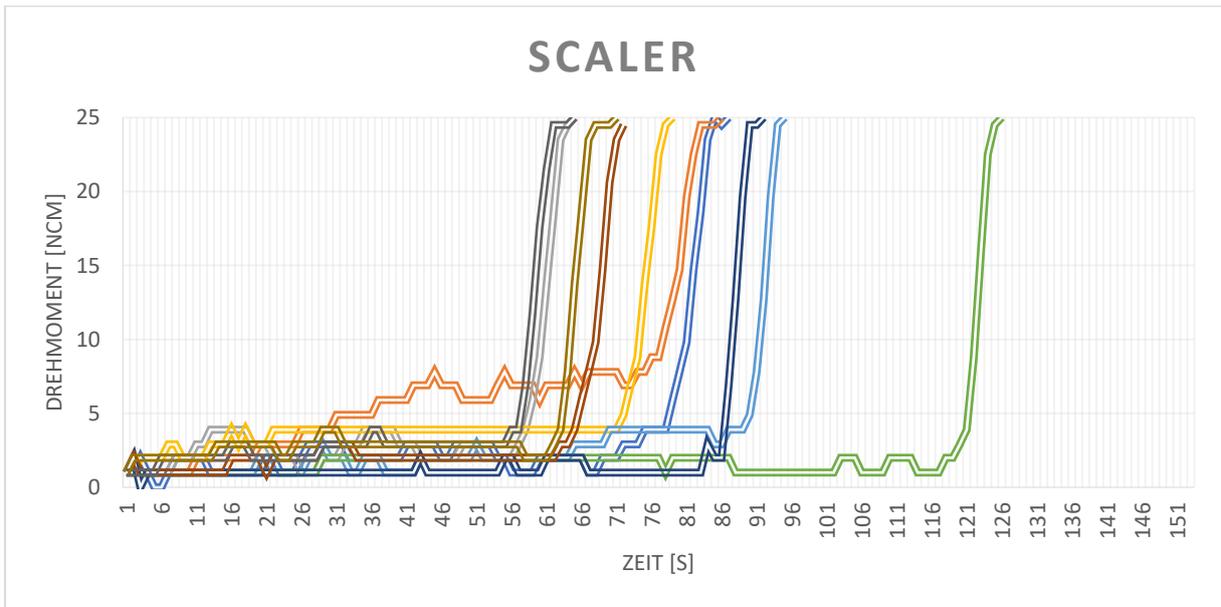


Anhang 9 Bild-Dokumentation aller ROI eines Prüfkörpers nach Airflow mit Erythritol-Pulver

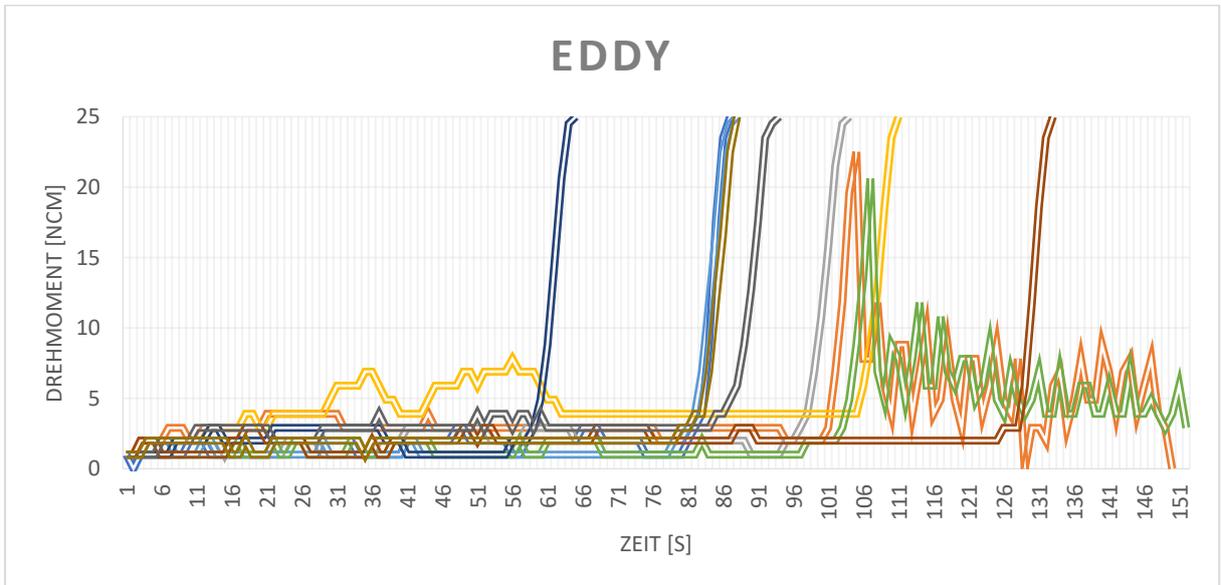
Drehmomentkurven der einzelnen Prüfungsgruppen



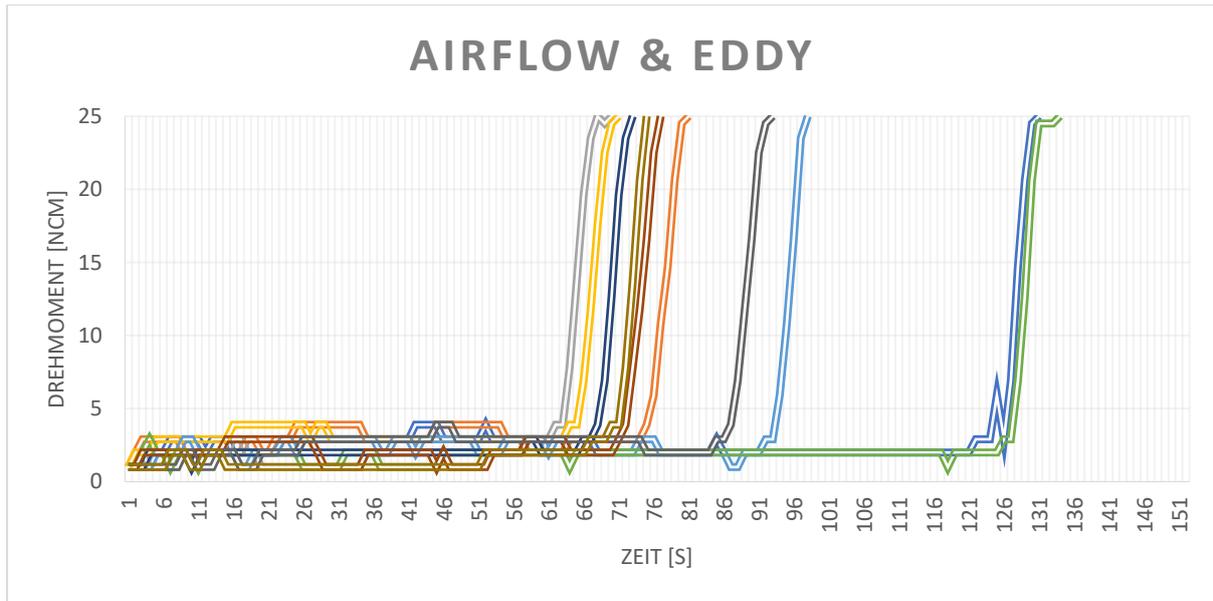
Anhang 10 Einzeldrehmomentskurven der Originalimplantate vor Verschmutzung und Reinigung



Anhang 11 Einzeldrehmomentskurven nach Ultraschall-Scaler-Anwendung



Anhang 12 Einzeldrehmomentskurven nach Eddy-Anwendung



Anhang 13 Einzeldrehmomentskurven nach Airflow und EDDY Anwendung

Anhang 14 : Dokumentation der Auswertung Periotest												
	Original			Scaler			EDDY			Airflow & EDDY		
1	0.60	1.50	1.05	1,80	1,00	1,40	-0,70	-1,10	-0,90	-0,30	-1,30	-0,80
2	-0.40	-0.20	-0.30	2,90	2,70	2,80	0,80	-1,90	-0,55	-0,60	-0,60	-0,60
3	-2.20	-0.40	-1.30	1,60	1,10	1,35	0,20	-0,10	0,05	-1,30	0,20	-0,55
4	1.00	0.30	0.65	-0,20	0,30	0,10	-0,80	-0,50	-0,65	-0,70	0,60	-0,05
5	-1.10	-1.00	-1.10	0,10	0,10	0,10	1,00	0,90	0,95	-0,70	0,30	-0,20
6	-0.80	0.40	-0.20	0,60	5,20	2,90	-0,40	-0,20	-0,30	1,80	1,20	1,50
7	-1.20	-0.50	-0.85	0,40	1,00	0,70	-1,70	-2,00	-1,85	0,10	2,40	1,25
8	-0.40	-1.10	-0.75	0,00	1,60	0,80	-1,10	0,90	-0,10	-0,80	0,80	0,00
9	-0.30	-1.70	-1.00	1,20	1,70	1,45	3,20	4,20	3,70	-3,00	-2,70	-2,85
10	1.40	0.40	0.90	-0,70	0,40	-0,15	-1,10	-0,10	-0,60	0,10	0,80	0,45
			Mean			Mean			Mean			Mean
Mean			-0.29			1.14			-0.03			-0.19
SD			0.87			1.07			1,49			1.21