

**Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie  
des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit  
der Universität Würzburg**

**Direktor: Professor Dr. med. dent. Gabriel Krastl**

**Quantitative Dimensionsveränderung des Kieferkamms nach  
Socket-Preservation und Implantation**

**Inauguraldissertation**

**zur Erlangung der Doktorwürde der**

**Medizinischen Fakultät**

**der**

**Julius-Maximilians-Universität Würzburg**

**vorgelegt von**

**Maximilian Harry Popp**

**aus Kulmbach**

**Würzburg, Januar 2023**

Referent: Prof. Dr. med. dent. Stefan Fickl

Koreferent: Prof. Dr. med. dent. Marc Schmitter

Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 26.07.2023

Der Promovend ist Zahnarzt

Meinen Eltern und Großeltern gewidmet

## **Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung.....	1
2	Material und Methoden .....	5
2.1	Klinische Nachuntersuchung .....	6
2.1.1	Kontaktaufnahme und Vorleistung.....	6
2.1.2	Nachuntersuchung am Patienten .....	7
2.2	Digitale Auswertung der Modelle.....	10
2.2.1	Herstellung und Digitalisierung.....	10
2.2.2	Matching und Volumenanalyse .....	11
2.2.3	Schematische Darstellung der Methodik.....	17
2.2.4	Statistische Auswertung .....	17
3	Ergebnisse.....	19
3.1	Ergebnisse der Nachuntersuchung.....	19
3.1.1	Implantat in situ .....	19
3.1.2	Volumenänderung .....	20
3.1.3	Optische Auswertung der Bilder .....	29
3.1.4	Sekundärhypothesen.....	31
3.2	Nebenbefunde und zusätzliche Auffälligkeiten.....	41
4	Diskussion.....	47
4.1	Volumenanalyse.....	48
4.2	Statistische Auswertung.....	49
4.3	Aussagekraft der Sekundärhypothesen .....	50
4.4	Kritische Auseinandersetzung mit den Nebenbefunden .....	52
5	Zusammenfassung .....	53
6	Literaturverzeichnis .....	55
	Appendix .....	61

## Inhaltsverzeichnis

I.	Abkürzungsverzeichnis .....	61
II.	Patienteninformationen und Fragebogen .....	62
III.	Abbildungsverzeichnis.....	66
IV.	Herstellerverzeichnis .....	72
V.	Danksagung .....	76
VI.	Lebenslauf.....	77

## 1 Einleitung

In Deutschland wurden im Jahr 2018 allein über 12,4 Millionen Zähne extrahiert. Diese Zahl ist in den vergangenen zwei Jahrzehnten um über 30% gesunken, dennoch gehören Zahnextraktionen zur alltäglichen Arbeit eines Zahnarztes<sup>1</sup>. Dass nichterhaltungswürdige Zähne entfernt werden, kann viele Gründe haben. In über 50% der Fälle ist Karies oder ein parodontales Problem der Auslöser der Zahnentfernung (Glockmann et al., 2011).

Allen Extraktionen gemeinsam ist eine anschließend ausgeprägte Veränderung der Hart- und Weichgewebssituation im Bereich der Extraktionsalveole, dem sogenannten Remodelling (Cardaropoli et al., 2003; Schropp et al., 2003). Dieser Vorgang hängt von vielen Faktoren ab, wie der Defektgröße, der Wundheilung, dem Gesundheitszustand oder auch dem Alter des Patienten ab (Amler, 1993; Devlin et al., 1996; Houston et al., 2002; Iizuka et al., 1992). Besonders die bukkale Knochenlamelle ist von einer horizontalen wie auch einer vertikalen Dimensionsänderung betroffen. Schropp et al. (2003) untersuchten dazu 46 Extraktionsalveolen in der Ausheilungsphase und stellten fest, dass im ersten Jahr nach einer Zahnextraktion 50% der vestibulo-oralen Knochenbreite resorbiert wurde. Über 60% entfielen davon auf den bukkalen Bereich in den ersten drei Monaten. Auch die apiko-koronale Höhe ging in diesem Zeitraum um durchschnittlich 0,8mm verloren.

Als die ausschlaggebende Struktur dieser Umbauprozesse konnten Araújo und Lindhe (2005) tierexperimentell den Bündelknochen ausmachen. Dieser ist der Teil des Alveolarknochens, der in direkter Verbindung mit den Sharpey-Fasern steht. Durch kontinuierliche, physiologische Druck- und Zugbelastung, die die Sharpey-Fasern auf den Bündelknochen eines gesunden Zahnfaches weiterleiten, bleiben diese Strukturen erhalten. Bei fehlender Beanspruchung des Bündelknochens aufgrund einer Zahnextraktion konnte gezeigt werden, dass bereits vier Wochen nach dem Eingriff der Bündelknochen vollständig resorbiert war.

---

<sup>1</sup> Die in der Arbeit gewählte männliche Form (Zahnarzt, Teilnehmer, Patient, etc.) bezieht sich immer zugleich auf weibliche und männliche Personen.

Interessant sind diese Erkenntnisse für Fälle, bei denen der bukkale Knochen so dünn ist, dass er ausschließlich aus Bündelknochen besteht. Dort kollabiert das Weichgewebe besonders, da die stützende Knochenwand resorbiert wird (Nevins et al., 2006). Vor allem im ästhetisch wichtigen Frontzahnbereich des Oberkiefers konnten Chen & Darby (2017) eine Kieferkammresorption von 22% acht Wochen nach der Extraktion feststellen. Dabei wurde auch ein Zusammenhang zwischen einem dicken gingivalen Phänotyp und einer stabileren und breiteren fazialen Knochenlamelle festgestellt. Außerdem konnte gezeigt werden, dass der Zustand des labialen Knochens ausschlaggebend für den späteren Verlust an vertikaler Knochenhöhe ist. Bei gefensterten oder bereits dehiszenten Knochenlamellen wurde, verglichen mit intakten labialen Knochenwänden, ein bis zu sechsfach höherer vertikaler Knochenverlust gemessen.

Eine spätere Implantation wird durch solche Umbauprozesse erheblich erschwert, wenn nicht sogar unmöglich. Oftmals kann deshalb eine vorangehende Socket-Preservation- oder Alveolar-Ridge-Preservation-Technik helfen, eine geeignete Ausgangslage für den Knochen und ein Implantat zu schaffen. Die Begriffe Socket-Preservation, also der Erhalt der Zahnalveole, wie auch Alveolar-Ridge-Preservation, sprich das Bewahren des Alveolarkammes, zielen auf den gleichen Eingriff ab und können letztendlich als Synonym verwendet werden. Im Folgenden wird in dieser Arbeit deshalb nur von einer Alveolar-Ridge-Preservation-Technik (ARP) die Rede sein. Bei dieser Technik wird die Zahnalveole nach der Zahnextraktion mit einem Knochenersatzmaterial (KEM) aufgefüllt und anschließend verschlossen, um die anfangs beschriebenen Resorptionsvorgänge des Zahnfaches auf ein Minimum zu reduzieren.

Zu diesem Verfahren gibt es bereits viele Forschungen und Ergebnisse. Unter anderem untersuchten und verglichen Fickl et al. (2008 und 2017) Methoden, die die Gewebsschrumpfung mithilfe einer ARP, einer Membran sowie Weichgewebstransplantaten verhindern sollten. Keines der Verfahren konnte jedoch bis heute das komplette Volumen konservieren und für spätere implantologische Versorgungen zur Verfügung stellen (Thalmair et al., 2013). Trotzdem konnten verschiedene Verfahren eine Reduktion der Hartgewebsresorption in bukko-oraler Richtung erzielen.

KEM sind sowohl als Partikel- als auch als Blockform verfügbar und werden je nach Herkunft in autogen, allogenen, xenogen und alloplastisch eingeteilt. Idealerweise besitzen alle KEM die Fähigkeit zur Osteokonduktion und Osteoinduktion. Unter Ersterem versteht man die Eigenschaft des KEM, eine Leitstruktur für einen einwachsenden, natürlichen Knochen zu formen. Die Porosität wird dadurch zuerst von einsprossenden Blutgefäßen (Angiogenese) genutzt, um das Knochenwachstum zu fördern. Alle genannten Arten von KEM besitzen diese Fähigkeit, die vor allem auf eine durchgehende Mikroporosität zurückzuführen ist. Einzig der autogene, also körpereigene Knochen stellt eine Möglichkeit eines osteoinduktiven Wachstums dar. Durch das Vorhandensein von physiologisch vorkommenden Stammzellen und Wachstumsfaktoren kann ein vitales Einwachsen des Knochens gelingen. Deshalb stellt diese Art des KEM den „Goldstandard“ dar. Spenderknochen sind intra- sowie extraoral je nach benötigter Menge und Größe vielfältig aber begrenzt verfügbar. Durch ein separates Operationsgebiet ergibt sich der größte Nachteil; nämlich der Mehraufwand und die Morbidität, die daraus resultieren. Aufgrund dieser Problemstellung entwickelte sich folglich die Suche nach weiteren Alternativen (Grünberg et al., 2017).

Als in vielerlei Hinsicht ebenbürtiges KEM konnte sich allogenes, also menschliches, KEM hervortun. Durch Knochenbanken ist der Vorrat an allogenen Transplantaten so gut wie unbegrenzt. Wie auch bei den anderen KEM ist bei allogenen KEM kein zweites Operationsgebiet nötig und man vermeidet dadurch eine größere Morbidität des Patienten (Nkenke & Neukam, 2014). Aufgrund verschiedener Sterilisationsprozesse und Aufbereitungsverfahren kann auch eine Krankheitsübertragung ausgeschlossen werden (Bavetta & Licata, 2012). Diese unterschiedlichen Verfahren entfernen nicht nur alle immunologischen und potenziell infektiösen Bestandteile, sondern sind auch verantwortlich für die entstehenden Strukturen des allogenen KEM (Peck, 2015). Trotzdem konnten Fretwurst et al. (2014) in verschiedenen untersuchten allogenen KEM DNS- und Zellfragmente des Knochenspenders nachweisen. Es kann aufgrund von Langzeitstudien jedoch davon ausgegangen werden, dass in Deutschland zugelassene allogene KEM weder eine immunologische noch eine infektiöse Relevanz besitzen (DGZMK, 2011; Solakoglu et al., 2019).



Bei Zimmer Dental (München) wurde ein eigens entwickelter Tutoplast®-Prozess dazu verwendet, den Spenderknochen für die Nutzung als KEM vorzubereiten. Dieses Verfahren der Tutogen Medical GmbH (Neunkirchen am Brand) wurde bereits im Jahr 1969 beschrieben und patentiert (Tutogen Medical GmbH, 2013). Es beinhaltet fünf Schritte, um die Kollagenmatrix des Spenderknochens zu konservieren und gleichzeitig Fett, Pathogene, Zellen, Wasser und Knochenmark zu entfernen, damit der Spenderknochen frei von allen antigenen Eigenschaften zur Transplantation verwendet werden kann (Schoepf, 2008).

Die entstandene Knochenmatrix soll dem natürlichen Knochen eine möglichst schnelle und stabile Einheilung ermöglichen. Im besten Fall kann das aufbereitete KEM sowohl osteokonduktive als auch teilweise osteoinduktive Eigenschaften aufweisen (Peck, 2015). Durch die engere biologische Verwandtschaft von allogenen KEM zum Transplantatempfänger im Vergleich zu xenogenen oder alloplastischen KEM verspricht man sich bessere Knochenheilung und geringere Resorptionsvorgänge im Transplantationsgebiet. Unterstützend wird häufig noch eine Membran zur Abdeckung des KEM verwendet. Eine möglichst schnelle Heilung mit implantationsfähigem Knochen soll das Ziel dieser Bemühungen sein. Langzeitdaten über das Resorptionsverhalten nach Augmentation mit dem allogenen Knochenersatzmaterial Puros® Allograft Spongiosa Partikel (Zimmer Dental GmbH, München) fehlen bis dato und sollen daher in dieser Arbeit das Thema der Forschungen sein. Kann die Verwendung von einem allogenen KEM wie Puros® Allograft Spongiosa Partikel (Zimmer Dental GmbH, München) auch auf lange Sicht die Resorptionsvorgänge der Extraktionsalveole verringern? Oder ist der anfänglich geringere Volumenschwund, den allogenes KEM im Zuge der ARP in den ersten Monaten nach Zahnextraktion unumstritten bewirkt, ein Vorgang, der durch Umbauprozesse des Knochens gar nach längeren Zeiträumen keinen Vorteil gegenüber der natürlichen Ausheilung mehr bietet?

## 2 Material und Methoden

Die Untersuchung dieser Arbeit bezieht sich auf eine Studie, in der 29 Patienten nach Zahnextraktion in eine Kontroll- und eine Testgruppe aufgeteilt und mit insgesamt 37 Implantaten versorgt wurden. Der maximale Kieferkammerhalt durch eine ARP unter Verwendung eines Allografts (Puros® Allograft Spongiosa Partikel, Zimmer Dental GmbH, München) und einer langzeitstabilen, bovinen Membran (Socket Repair Membran®, Zimmer Dental GmbH, München) wurde bei 18 Extraktionsalveolen der Testgruppe versucht. Dagegen wurden die 19 Extraktionsalveolen der Kontrollgruppe ohne anschließende, unterstützende Maßnahmen zur Ausheilung nach Zahnextraktion behandelt. Die Gründe für die Zahnextraktionen waren vielfältig und beinhalteten Zahntraumata, endodontische Erkrankungen, parodontale Schädigungen und tiefe, kariöse Läsionen (Abbildung 1).

Fünf Monate nach dieser Behandlung erfolgte die Implantation. Dabei wurden 37 Implantate bei 29 Patienten inseriert.

18 Implantate wurden der Testgruppe und 19 der Kontrollgruppe zugeordnet.

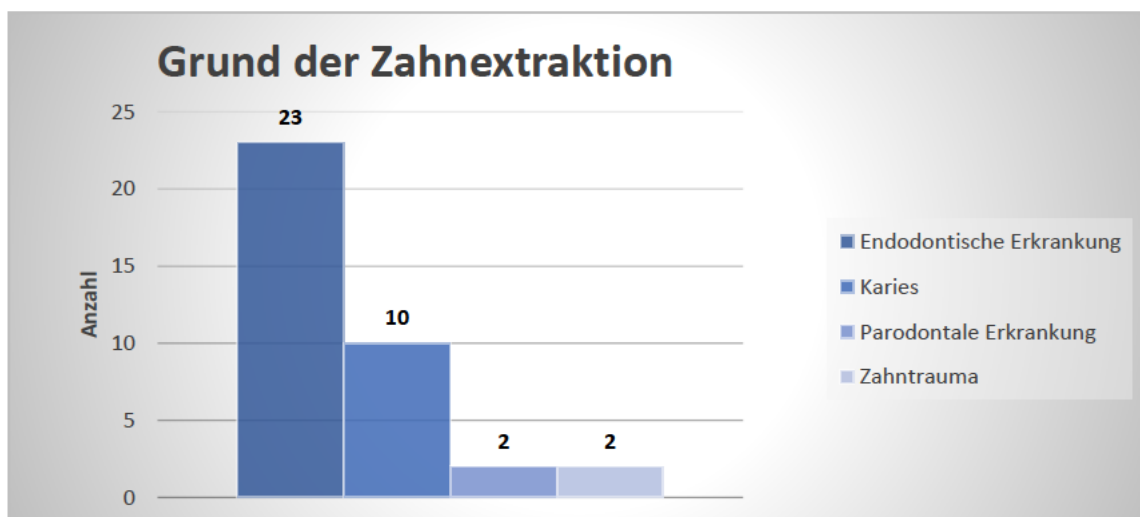


Abbildung 1: Häufigkeit verschiedener Gründe der durchgeführten Zahnextraktionen (eigene Abbildung)

## **2.1 Klinische Nachuntersuchung**

Von Beginn an lag die Genehmigung der Ethik-Kommission des Institutes für Pharmakologie und Toxikologie zu allen klinischen Nachuntersuchungen mit dem Aktenzeichen 322/17 vor. Die Untersuchungen erfolgten gemäß der Deklaration von Helsinki.

### **2.1.1 Kontaktaufnahme und Vorleistung**

Die Kontaktaufnahme zu allen teilnehmenden Patienten erfolgte postalisch durch einen Brief mit einer Patienteninformation und der Bitte einer Terminvereinbarung zur Nachkontrolle (Abbildung 54, Abbildung 55). Termine wurden telefonisch oder per E-Mailkontakt vereinbart und in den Räumlichkeiten der Studentenbehandlung der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie durchgeführt.

Von den vormals akquirierten 29 Patienten, die mit mindestens einem Implantat versorgt wurden, konnten 23 Patienten zu einer Nachuntersuchung einbestellt werden. Aufgrund von verschiedenen Faktoren war ein Dropout von 20% aller implantierten Patienten zu verzeichnen (Umzug, explizite Nichtteilnahme). Alle Nachuntersuchungen fanden zwischen Mai und Juli 2018 statt. Dabei wurde im Vorfeld der Behandlung eine Einverständniserklärung des Patienten unterzeichnet (Abbildung 56).

Bei den untersuchten 23 Patienten waren insgesamt 30 Implantate gesetzt worden, elf davon bei weiblichen und 19 bei männlichen Studienteilnehmern. Zwei Patienten erhielten je drei Implantate, drei Patienten wurden mit je zwei Implantaten versorgt und 18 Studienteilnehmer erhielten jeweils ein Implantat.

Dem eigentlichen Implantationstermin ging jeweils fünf Monate zuvor die Extraktion voraus, bei der die Teilabdrücke angefertigt wurden, die zum Abgleich mit denen meiner Nachuntersuchung herangezogen wurden.

Von insgesamt 30 inserierten Implantaten ersetzten 18 einen Molaren, davon 17 im Unterkiefer und eines im Oberkiefer. Zehn der Implantate wurden im Prämolarenbereich,

sechs im Unterkiefer und vier im Oberkiefer gesetzt. Zwei Implantationen wurden zum Ersatz eines Frontzahnes durchgeführt, je eines im Oberkiefer und eines im Unterkiefer. Alle Untersuchungen und Messungen wurden von zwei Behandlern unabhängig voneinander durchgeführt. Aus den gewonnenen Daten wurde ein Mittelwert gebildet. Als Vorlage diente ein selbstentworfener Vordruck, in dem die Ergebnisse schriftlich festgehalten wurden (Abbildung 57).

Der Ablauf beinhaltete eine visuelle Inspektion der Schleimhaut um das Implantat sowie der Suprakonstruktion, kombiniert mit einer ästhetischen Beurteilung. Dabei wurden der „white-esthetic-score“ (Belser et al., 2009) und der „pink-esthetic-score“ (Fürhauser et al., 2005) erhoben.

Die Taschensondierungstiefen an sechs Stellen um das jeweilige Implantat wurden mit eventueller Blutung oder Suppuration notiert. Im Falle eines pathologischen Befundes wurde zusätzlich ein Röntgenbild des Implantates angefertigt, um eventuelle Knochenarrosionen zu erkennen.

Zur späteren exakten Analyse des bukkalen und lingualen Kieferkammvolumens wurde ein Teilabdruck der Region angefertigt und es wurden intraorale Fotos gemacht.

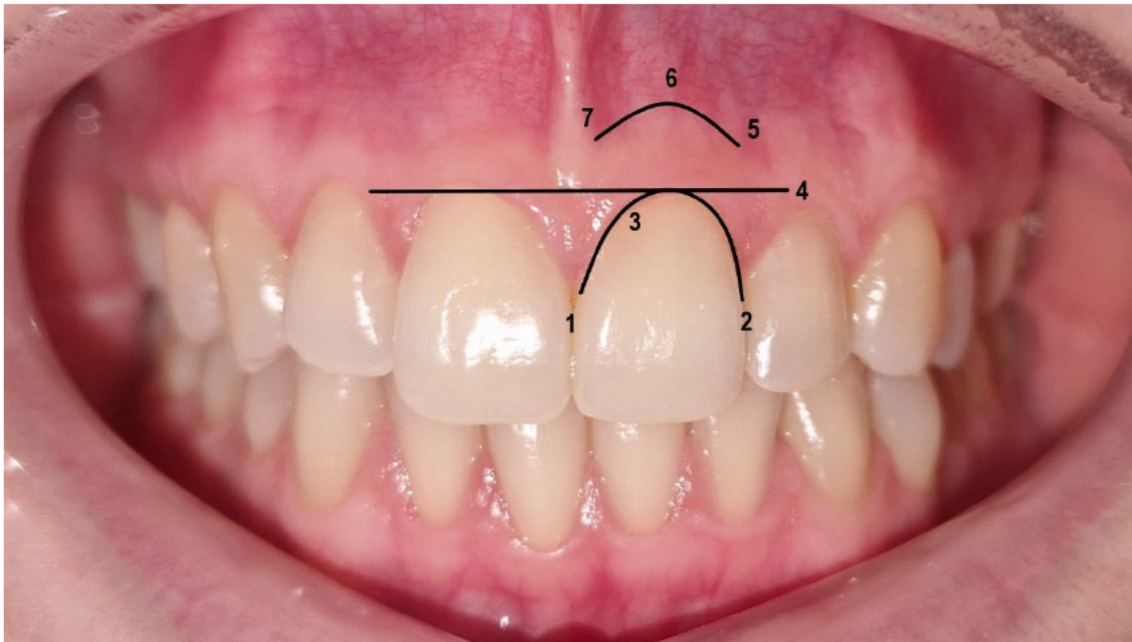
Zum Abschluss der Behandlung wurde mit den Patienten noch ein kurzer Fragebogen bearbeitet, in dem es um die Zufriedenheit mit dem Ergebnis der Behandlung ging.

Zur Behandlung und Nachuntersuchung wurde das zahnärztliche Grundbesteck, bestehend aus einer Sonde, einem Mundspiegel und einer zahnärztlichen Pinzette, verwendet.

### **2.1.2 Nachuntersuchung am Patienten**

Um die Ästhetik des Weichgewebes im Implantationsgebiet und der Suprakonstruktion vergleichbar beurteilen zu können, wurden von Fürhauser et al. (2005) der „pink-esthetic-score“ (PES) und von Belser et al. (2009) der „white-esthetic-score“ (WES) entwickelt. Beim PES wird das Weichgewebe um das Implantat mit dem Weichgewebe des benachbarten und des kontralateralen Zahnes verglichen und anhand von sieben Beurteilungspunkten bewertet. Die sieben Variablen, bestehend aus mesialer Papille, distaler Papille, Weichgewebkontur, Weichgewebslevel, Alveolarfortsatzeinbruch, Farbe und Textur des Weichgewebes, werden dabei mit 0 (schlecht) bis 2 (gut) Punkten

bewertet und die Ergebnisse danach addiert. Somit ist ein maximaler Wert von 14 Punkten erreichbar.



Variablen	Punktwert		
	0	1	2
(1) mesiale Papille	fehlt	unvollständig	vollständig
(2) distale Papille	fehlt	unvollständig	vollständig
(3) Weichgewebkontur	unnatürlich	fast natürlich	natürlich
(4) Weichgewebslevel	Diskrepanz > 2mm	Diskrepanz 1-2mm	Diskrepanz < 1mm
(5) Alveolarfortsatz	deutlich vermindert	leicht vermindert	kein Unterschied
(6) Weichgewebsfarbe	deutlicher Unterschied	leichter Unterschied	kein Unterschied
(7) Weichgewebstextur	deutlicher Unterschied	leichter Unterschied	kein Unterschied

**Abbildung 2:** oben: klinische Situation regio 21 mit eingezeichneten Hilfslinien zur Beurteilung des „pink-esthetic-score“ (Müller et al., 2011) (eigene Abbildung)  
 unten: Bewertungskriterien mit zugehörigen Punktwerten des „pink-esthetic-score“ (Müller et al., 2011) (eigene Abbildung)

Mit dem WES wird die Suprakonstruktion in fünf unterschiedlichen Aspekten (Zahnform, Zahnvolumen, Farbe, Oberflächenstruktur und Transluzenz) mit dem natürlichen Nachbarzahn bzw. dem natürlichen kontralateralen Zahn verglichen. Dabei

können ebenfalls jeweils 0 (großer Unterschied) bis 2 (kein Unterschied) Punkte erreicht werden. Somit können maximal 10 Punkte erreicht werden.

Variablen	Punktwert		
	großer Unterschied	geringer Unterschied	kein Unterschied
Kronenform	0	1	2
Kronenvolumen	0	1	2
Farbton/ Farbe	0	1	2
Oberflächentextur	0	1	2
Transluzenz	0	1	2

**Abbildung 3:** Bewertungskriterien mit zugehörigen Punktwerten des „white-esthetic-score“ (Belser et al., 2009) (eigene Abbildung)

An sechs Messstellen (mesio-bukkal, medio-bukkal, disto-bukkal, disto-oral, medio-oral, mesio-oral) um jedes Implantat wurden mit einer stumpfen Parodontalsonde (CP 12) die Taschensondierungstiefen gemessen. Außerdem wurde notiert, ob die Messung eine Blutung hervorrief, der BOP also positiv ausfiel.

Den Patienten wurden drei Fragen bezüglich ihrer Zufriedenheit mit der erfolgten Behandlung gestellt. Die erste Frage bezog sich auf die selbst empfundene Ästhetik der Gingiva um das Implantat. Zur Bewertung konnten zwischen 1 und 10 Punkten vergeben werden, wobei 10 den besten Wert darstellte. Bei der zweiten Frage wurden die Patienten zur Ästhetik der Suprakonstruktion nach demselben System befragt. Bei Frage 3 sollten die Patienten die Schmerzen nach der vorangegangenen Zahntfernung beurteilen und dabei wiederum auf die Skala von 1 bis 10 Punkten zurückgreifen. Dabei stellte 10 den größten Schmerz dar.

Zur Dokumentation und für spätere Analysen wurden intraoral Fotos von der Suprakonstruktion und der angrenzenden Schleimhaut gemacht. Die Regionen wurden von okklusal und von vestibulär mithilfe eines angewärmten Intraoralspiegels abgebildet (Abbildung 4). Im Anschluss wurde von der klinischen Situation noch eine genaue Abformung erstellt. Dazu wurde ein Miratray-Mini Teilabdrucklöffel (Hager & Werken GmbH, Duisburg) mit Aquasil ultra heavy (Fa. Dentsply Sirona) aus dem

Anmischautomaten Duomix 2 (Fa. Dentsply Sirona) befüllt. Intraoral wurde zeitgleich die klinische Situation mit Aquasil ultra light (Fa. Dentsply Sirona) umspritzt und der Abdrucklöffel in Form einer Doppelmischabformung in den Mund eingebracht.



**Abbildung 4:** Intraorale Fotos, Ansicht von okklusal (links) und von bukkal (rechts); (eigene Abbildungen)

## 2.2 Digitale Auswertung der Modelle

### 2.2.1 Herstellung und Digitalisierung

Die vom Hersteller des Abdruckmaterials empfohlene Rückstellzeit von mindestens einer Stunde wurde bei allen Teilabformungen vor dem Ausgießen eingehalten. Es wurde VARIOStar Superhartgips (Klasse 4 Dental GmbH, Augsburg) verwendet, der unter Vakuum nach Herstellerangaben 45 Sekunden vermischt wurde. Nach dem blasenfreien Ausgießen der Abdrücke härteten sie 60 Minuten aus, bevor sie entformt wurden.

Um die Befestigung im digitalen Extraoralscanner inEos X5 (Fa. Dentsply Sirona) zu gewährleisten, wurden die Gipsmodelle basal mit jeweils drei Pins durch das PINDEX® (Coltene, Altstätten, Schweiz) versehen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die gesetzten Bohrungen nicht zu einer Verfälschung der oralen oder vestibulären Kieferkammverhältnisse durch Perforationen führten.

Somit konnten die analogen Modelle zur weiteren Analyse in digitale Form umgewandelt werden. Dazu wurde der Extraoralscanner inEos X5 (Fa. Dentsply Sirona) genutzt. Die Daten wurden im Zahntechniklabor der Zahnerhaltung und Parodontologie Würzburg digitalisiert und mit der CEREC Premium Software (Version 4.5, Fa. Dentsply Sirona)

bearbeitet. Alle Scans wurden zur weiteren Analyse im .stl-Format abgespeichert (Follow-up Scandaten).

### **2.2.2 Matching und Volumenanalyse**

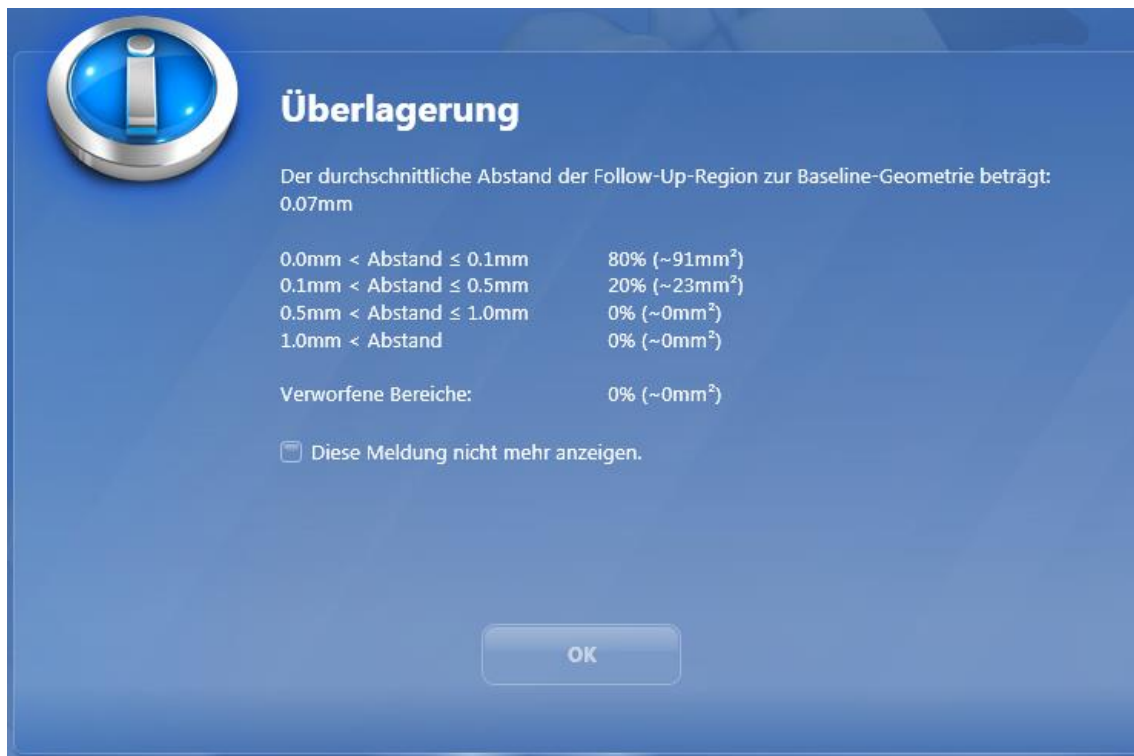
Mit den bereits im Vorfeld meiner Arbeit gewonnenen Abformungen und den daraus erstellten Scandaten zum Zeitpunkt der Zahnextraktion (Baseline-Scandaten) konnte nun über die 3D-Differenzanalyse-Software OraCheck (Version 2.13; Fa. Cyfex) die Volumensituation im Bereich des implantierten Gewebes verglichen werden.

Dazu wurde zuerst bei beiden Scandaten jeweils der Bereich ausgewählt, der jeweils möglichst unverändert blieb. Dies konnte am besten mit der Zahnhartsubstanz der dem Implantat benachbarten Zähne erreicht werden (Abbildung 6).

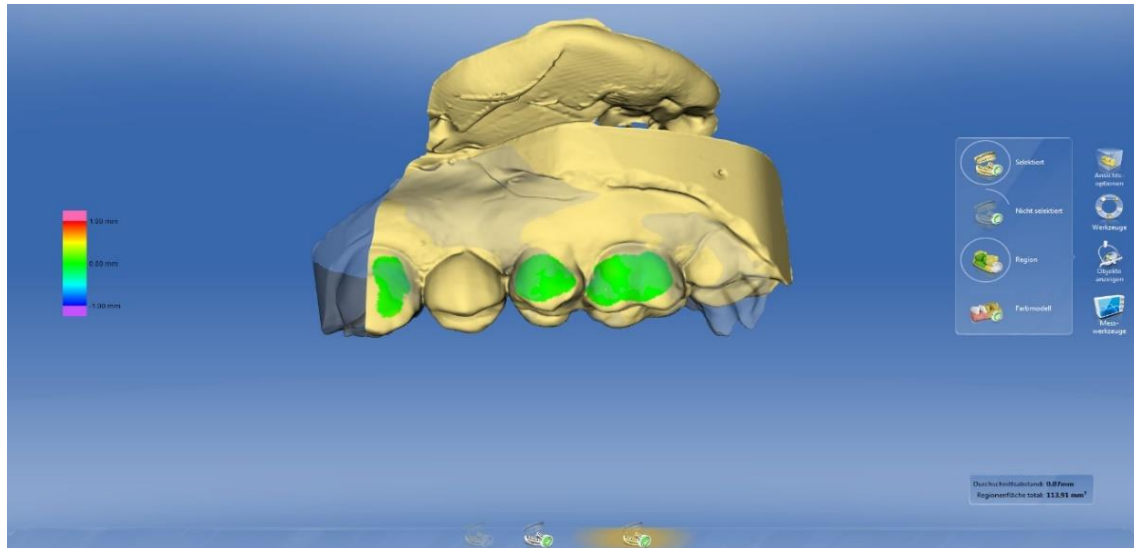
Die angestrebte Genauigkeit der Überlagerung beider Modelle sollte dabei mindestens im Bereich eines Zehntelmillimeters liegen. Lag eine größere Differenz beider Modelle vor, wurde durch Aussparung der divergierenden Bereiche eine höhere Übereinstimmung erzielt. Dadurch konnte ein durchschnittlicher Abstand von 0,087mm vom Baseline-Modell zum Follow-up-Modell erzielt werden (Abbildung 5). Bei vier Modellen konnte keine Übereinstimmung erzielt werden, was mit der deutlich veränderten Situation und fehlender Übereinstimmung beider Abdrücke zu tun hatte. Drei dieser Implantate waren bei einem Patienten in einem Quadranten (regio 43, 44, 46) gesetzt worden und ließen deshalb unzureichende Strukturen zurück, die zu einer aussagekräftigen Überlagerung hätten führen können. Diese vier Implantatsituationen wurden deshalb in folgenden Analysen als Dropout gewertet. Durchschnittlich wurden 135,4mm<sup>2</sup> Fläche pro Scandatenpaar ausgewählt, um eine möglichst genaue Überlagerung zu erreichen. Zur anschließenden Bestimmung des veränderten Volumens der Implantatregion wurde jede Situation in zwei unterschiedlichen Messungen analysiert. Im ersten Schritt wurde die vestibuläre Volumendifferenz bestimmt, im zweiten dann die orale. Die Analyseregion wurde jeweils bei allen Messungen mesial und distal des Implantates bis zur Mitte des benachbarten Zahnes erfasst, um vergleichbare Messungen zu erhalten (Abbildung 7). Nur im Falle eines Abdruckfehlers wurden Bereiche innerhalb dieses Messbereiches ausgespart, um fehlerhafte Messungen zu minimieren. Die durchschnittlich ausgewählte



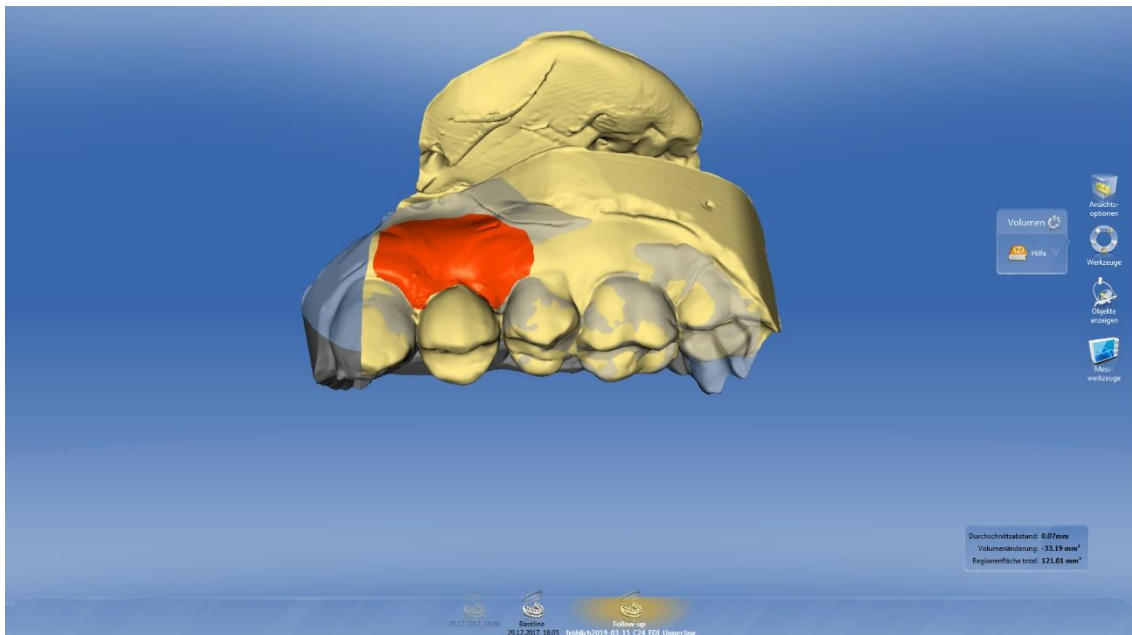
Fläche lag vestibulär bei 98mm<sup>2</sup>. Oral konnten 110mm<sup>2</sup> Fläche im Schnitt für die Analyse herangezogen werden. Der Auswahl der zu analysierenden Fläche folgte die eigentliche volumetrische Analyse. Auch diese wurde in zwei Messungen unterteilt (vestibulär und oral). Durch eine Falschfarbenskala wurde visuell dargestellt, inwieweit sich das Volumen der untersuchten Region veränderte. Ein Volumengewinn von der Baseline- zur Follow-up-Situation wurde durch gelbliche und rötliche Farben dargestellt. Ein Volumenverlust wurde durch bläuliche Farbtöne angezeigt. Außerdem konnte man den Unterschied beider Modelle gut durch Überlagerung und eine Reduktion der Transparenz eines der Modelle kenntlich machen (Abbildung 8, Abbildung 11). Durch eine separate Cursor-Funktion im OraCheck Programm konnte zusätzlich nach den punktuell größten Volumendifferenzen gesucht werden (Abbildung 9, Abbildung 12). Wie schon beim Matching-Prozess kam es auch bei der Volumenanalyse zu Problemen, die zum Dropout einiger Modelle führten. Bei Messungen oraler Volumendifferenzen konnten fünf Implantatregionen nicht gemessen und analysiert werden. Ebenfalls fünf Modelle zeigten oral sehr große Diskrepanzen zwischen den Baseline- und den Follow-up-Modellen. Somit konnten insgesamt 42 Volumendaten erhoben werden.



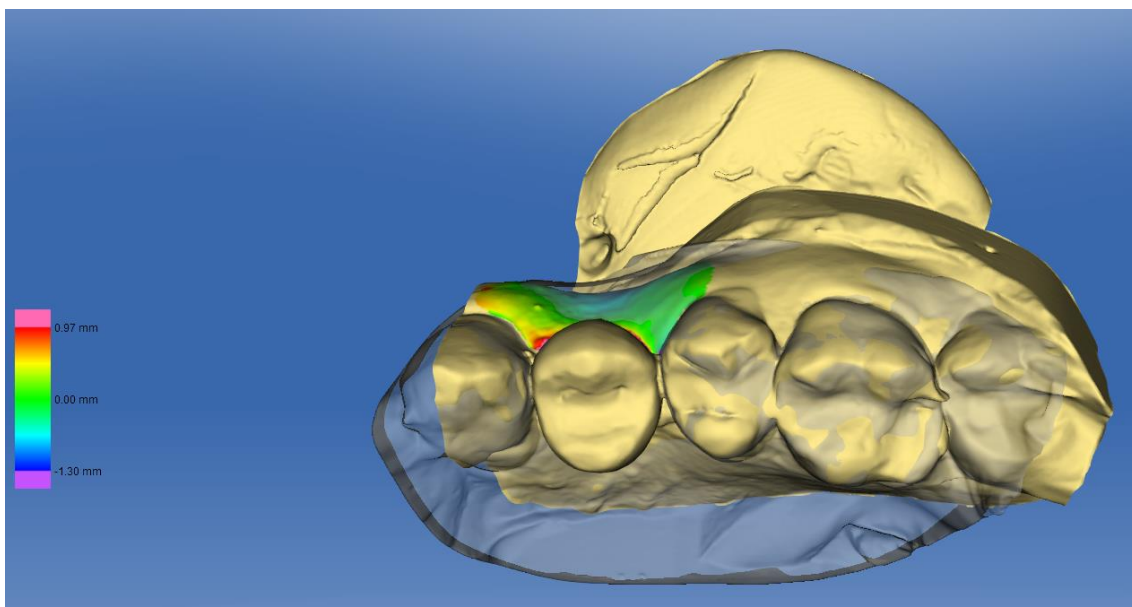
**Abbildung 5:** Der durchschnittliche Abstand des Follow-up-Modells zum Baseline-Modell nach Überlagerung; hier beträgt der Wert 0,07mm (eigene Abbildung).



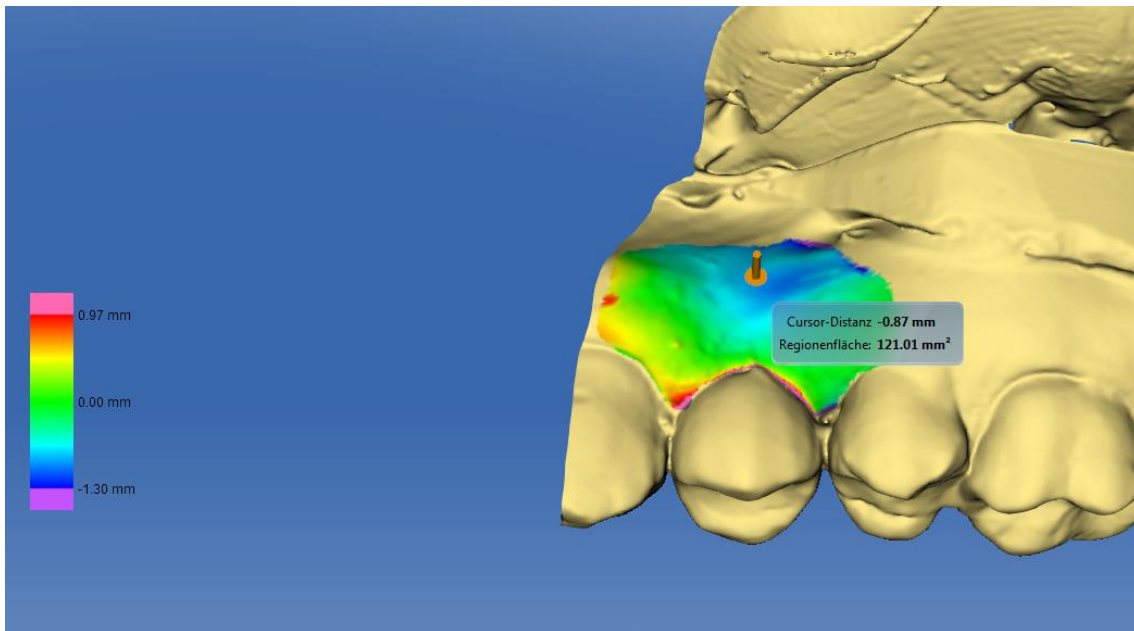
**Abbildung 6:** Hier ist der Zahn 24 durch ein Implantat ersetzt worden. Man erkennt in grün die ausgewählten Zahnregionen, die herangezogen wurden, um das Baseline-Modell mit dem Follow-up-Modell möglichst genau zu überlagern (eigene Abbildung).



**Abbildung 7:** Implantat regio 24 mit Suprakonstruktion. Der in rot ausgewählte Bereich geht jeweils entlang der Zahnhartsubstanz und bis zur Mitte der Nachbarzähne. Hier beträgt die ausgewählte Fläche 121,01mm<sup>2</sup> (eigene Abbildung).



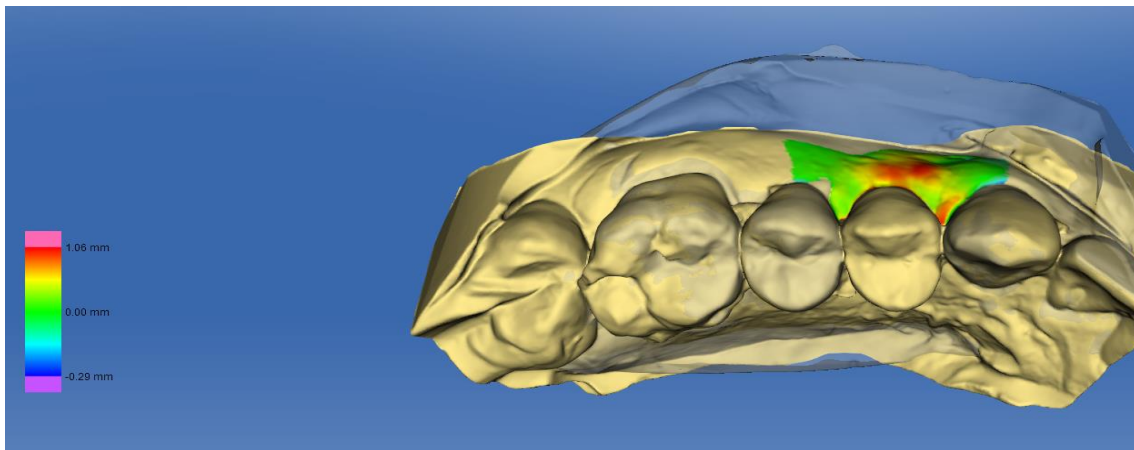
**Abbildung 8:** Analyse der Volumendifferenz durch farbliche Kennzeichnung und gleichzeitiger Reduktion der Transparenz des Baseline-Modells. Ein Volumendefekt des bukkalen Gewebes ist sichtbar durch blau eingefärbte Bereiche des bukkalen Kieferkammes (eigene Abbildung).



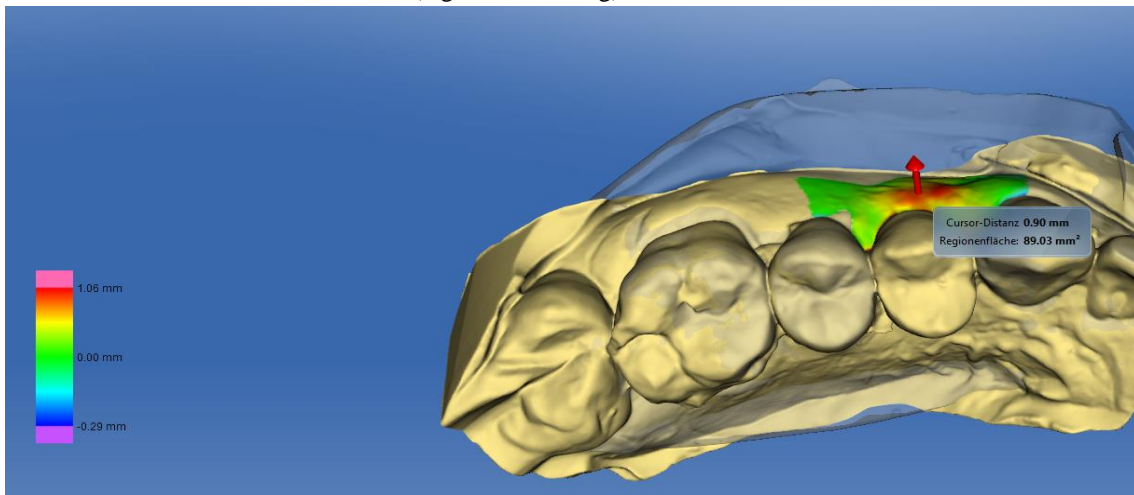
**Abbildung 9:** Maximaler Wert des bukkalen Gewebeschwundes durch einen Cursor dargestellt und separat gemessen (eigene Abbildung).



**Abbildung 10:** Klinische Situation zum Vergleich der Scandatensätze (Abbildung 8, Abbildung 9); (eigene Abbildung)



**Abbildung 11:** Analyse der Volumendifferenz durch farbliche Kennzeichnung und gleichzeitige Reduktion der Transparenz des Baseline-Modells. Hier ist kein Volumendefekt des bukkalen Knochens erkennbar. Rot dargestellt ist sogar eine leichte Zunahme des Gewebes erkennbar (eigene Abbildung).



**Abbildung 12:** Maximaler Wert der Zunahme des bukkalen Gewebes durch einen Cursor dargestellt und separat gemessen (eigene Abbildung).



**Abbildung 13:** Klinische Situation zum Vergleich der Scandatensätze (Abbildung 11, Abbildung 12), (eigene Abbildung)

### 2.2.3 Schematische Darstellung der Methodik

In der folgenden Darstellung wird die gesamte Methodik, die in der Untersuchung angewandt wurde, schematisch und vereinfacht zusammengefasst (Abbildung 14).

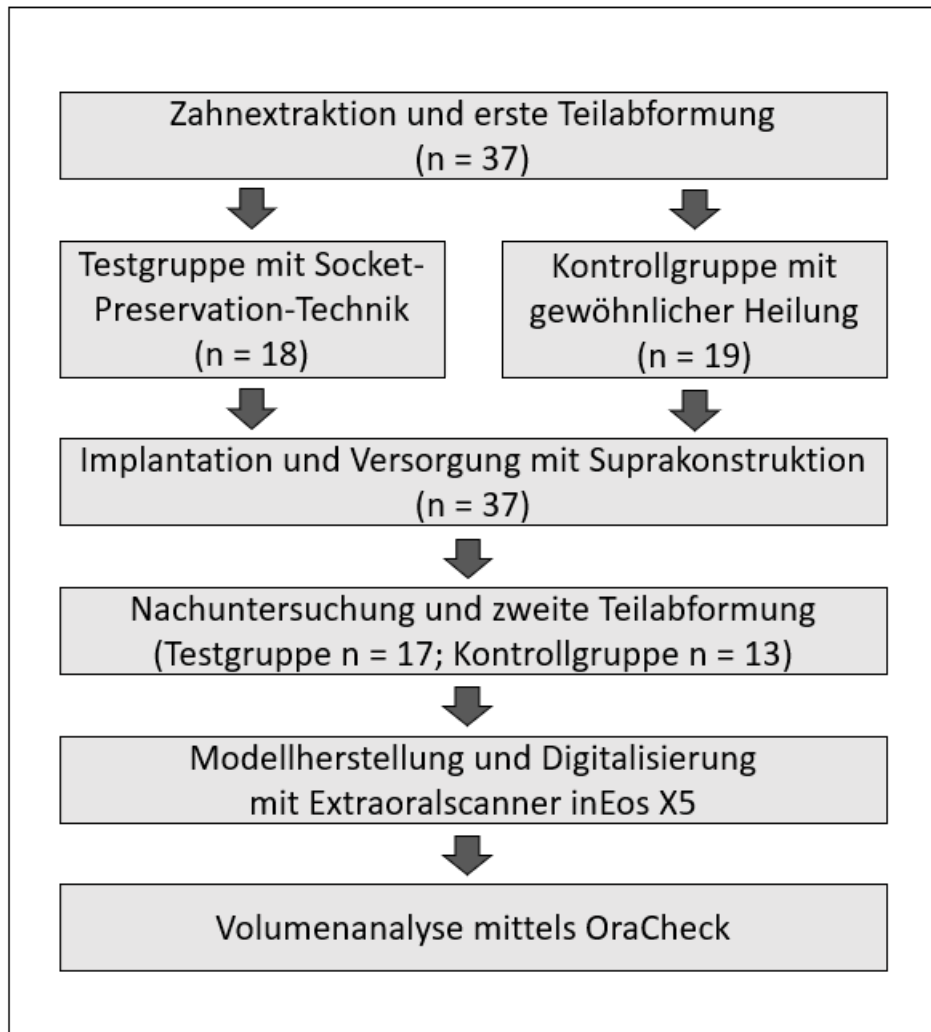


Abbildung 14: Schematische Darstellung der Methoden (eigene Abbildung)

### 2.2.4 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden mit dem Analyseprogramm Microsoft Power BI (Version 2.99.862.0) verarbeitet und visualisiert. Bei allen Auswertungen wurde stets die Testgruppe mit der Kontrollgruppe beziehend auf die unterschiedlichen Parameter verglichen. Zur Veranschaulichung der Messdaten wurden Box-Whisker-Plots

verwendet. Dabei werden innerhalb der Box die mittleren 50% der Messergebnisse dargestellt. Diese werden von einem Strich, dem Median, in ein unteres und oberes Quartil geteilt. Zusätzlich zeigt ein Punkt den Durchschnittswert aller Daten an. Mit den sogenannten Whiskers werden alle Messergebnisse außerhalb der Box dargestellt (Verteilungsanalyse, Hain, Würzburg). Außerdem wurden Daten aus den Messungen in einem einfachen und gestapelten Säulendiagramm und einem Tortendiagramm dargestellt.

Zur genaueren statistischen Auswertung wurden die Volumenmessungen der vestibulären und oralen Schleimhautareale herangezogen und in Unterscheidung zwischen Test- und Kontrollgruppe weitergehend statistisch untersucht. Zur Feststellung von signifikanten Unterschieden der Mittelwerte beider Gruppen in Bezug auf die gemessenen Volumenunterschiede wurde zuerst die Varianzgleichheit der Messwerte mit dem Levene-Test geprüft. Danach wurde mit dem T-Test bei unabhängigen Stichproben ein Effekt der unterschiedlichen Behandlungsmethoden zwischen Test- und Kontrollgruppe in Bezug auf die verschiedenen Messparameter untersucht. Anschließend wurden zentrale Tendenzen unterschiedlicher, unabhängiger Messungen mit dem Mann-Whitney-U-Test überprüft (Methodenberatung, 2021).

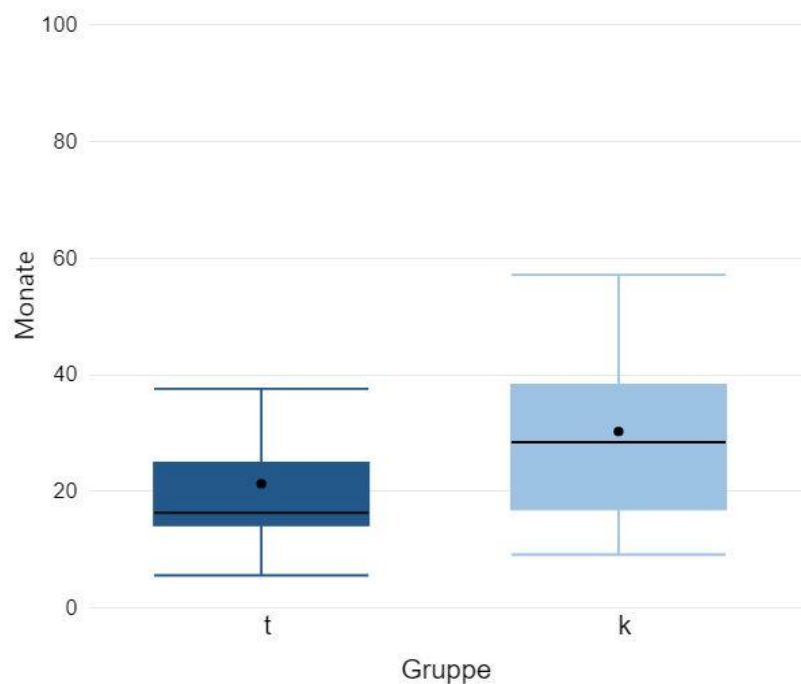
Mit der Pearson-Korrelationsanalyse wurde geprüft, ob es einen Zusammenhang zwischen der Implantatverweildauer im Mund und einem Volumenrückgang der gemessenen Schleimhautareale gibt. Auch dabei wurde jeweils zwischen Ergebnissen der Test- und Kontrollgruppe unterschieden. So war es möglich, unterschiedliche positive sowie negative Abhängigkeiten darzustellen (Methodenberatung, 2021). Das Signifikanzniveau wurde dabei bei allen statistischen Auswertungen auf  $\alpha = 0,05$  festgelegt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der Nachuntersuchung

##### 3.1.1 Implantat in situ

Bei allen an der Nachuntersuchung teilnehmenden Patienten war das Implantat noch in situ und mit intakter Suprakonstruktion versorgt. Die Überlebensrate lag demnach bei 100%. Zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung waren seit dem Eingriff der Implantation bei allen untersuchten Patienten der Testgruppe im Durchschnitt 21,3 Monate vergangen. Bei der Kontrollgruppe lag der Eingriff durchschnittlich 30,3 Monate zurück. Die Zeitspanne aller Implantate in situ erstreckte sich von 6 bis hin zu 57,1 Monaten. In der Testgruppe konnten 17 Implantate und in der Kontrollgruppe 13 Implantate nachuntersucht werden. Die Daten werden nachfolgend als Box-Whisker-Plot (Abbildung 15) dargestellt.



**Abbildung 15:** Vergleich von Test- und Kontrollgruppe zum Thema Implantat in situ



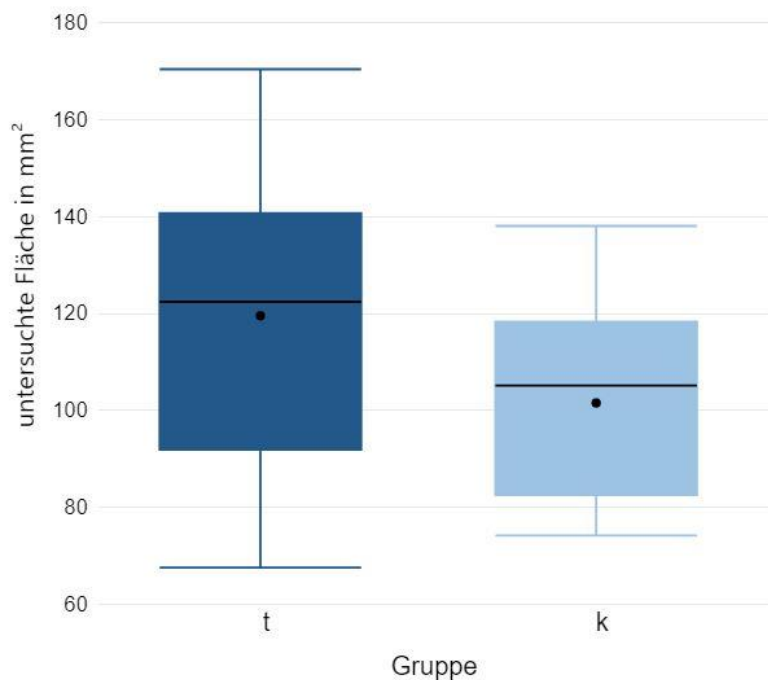
### 3.1.2 Volumenänderung

Die im Folgenden dargestellten Volumenänderungen wurden jeweils in eine orale und eine vestibuläre Fläche aufgeteilt. Zusätzlich wurden beide Werte addiert, um ein Gesamtvolumen zu bestimmen.

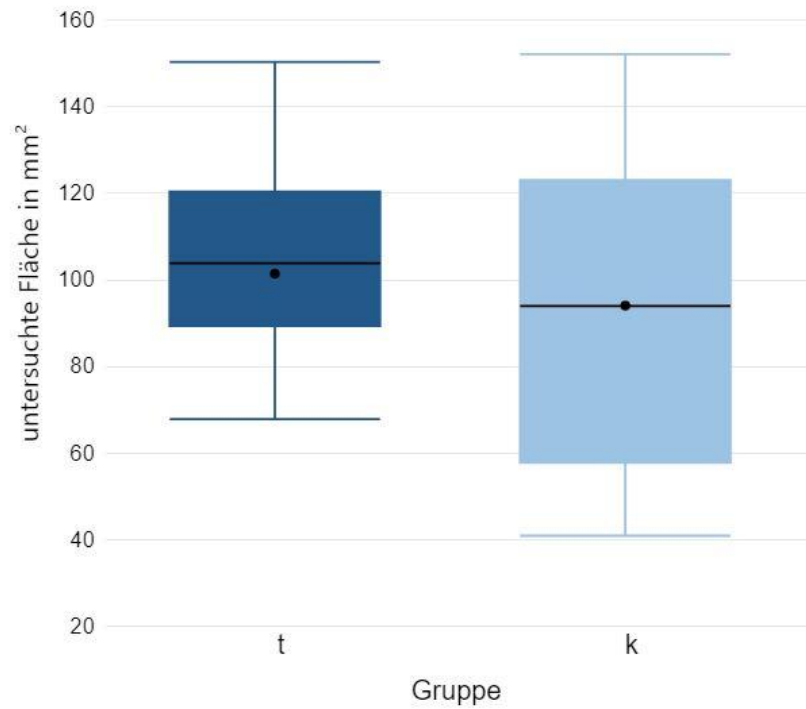
Die dargestellten Messungen sind immer in die Test- und Kontrollgruppe aufgliedert worden. Im Durchschnitt konnte bei der Testgruppe eine durchschnittliche Fläche von  $101,5\text{mm}^2$  vestibulär ( $n=10$ ) und  $119,6\text{mm}^2$  oral ( $n=10$ ) zur näheren Volumenuntersuchung herangezogen werden. Bei der Kontrollgruppe wurden  $94,1\text{mm}^2$  vestibulär ( $n=11$ ) und  $101,6\text{mm}^2$  oral ( $n=11$ ) untersucht (Abbildung 16, Abbildung 17).

In Bezug auf das Gesamtvolumen konnten durchschnittlich bei der Testgruppe  $200,9\text{mm}^2$  ( $n=8$ ) und bei der Kontrollgruppe  $190,9\text{mm}^2$  ( $n=10$ ) zur weiteren Analyse verwendet werden (Abbildung 18).

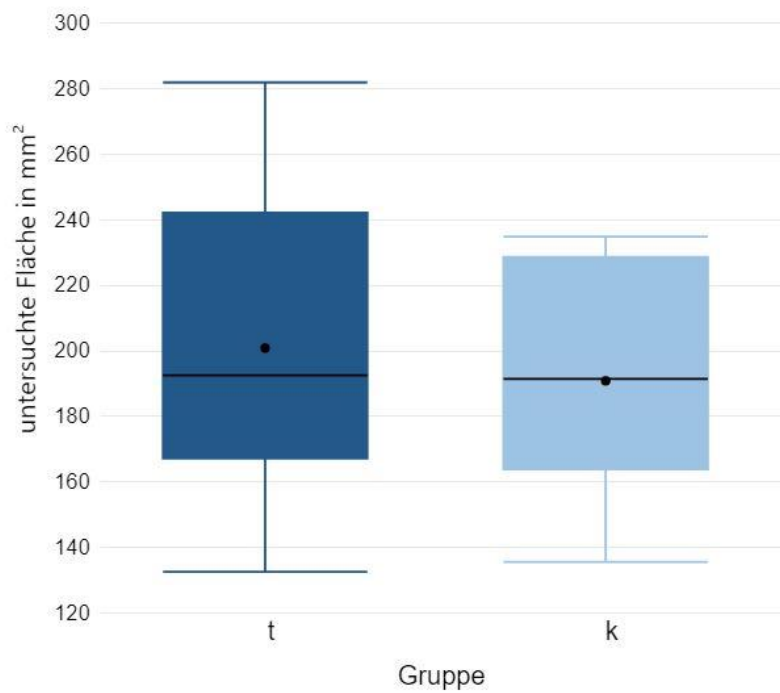
Patientenscans mit Flächen, die nicht für die Messung herangezogen werden konnten, wurden aus der Auswertung genommen. So konnte beispielsweise ein Modell mit einer intakten Vestibulärfläche für die Messung aller Vestibulärflächen herangezogen, aber aufgrund einer nicht messbaren Oralfläche mit keiner Messung in das Gesamtvolumen eingerechnet werden. Darin begründet sich auch die unterschiedliche Stichprobenzahl.



**Abbildung 16:** Untersuchte Kieferkammfläche oral; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe



**Abbildung 17:** Untersuchte Kieferkammfläche vestibulär; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe

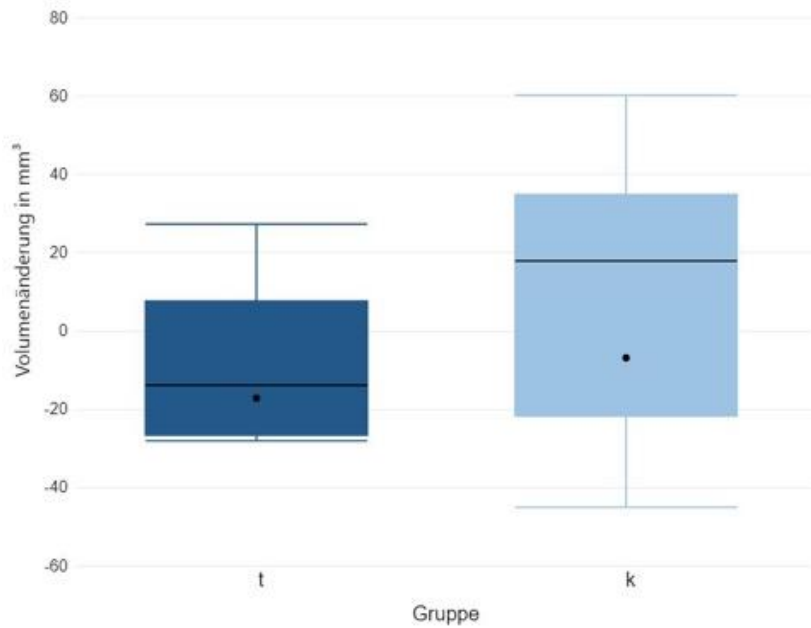


**Abbildung 18:** Untersuchte Kieferkammfläche gesamt; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe

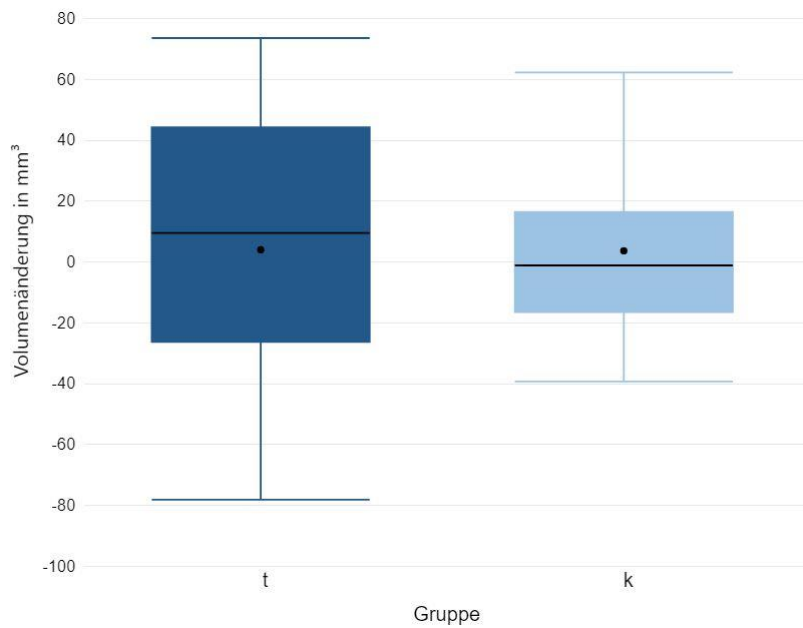
## Ergebnisse

Die gemessenen Volumenänderungen wurden ebenfalls in drei unterschiedlichen Kategorien (vestibulär, oral, gesamt) ausgewertet. Auch hier wurde zwischen Test- und Kontrollgruppe unterschieden. In Abbildung 19 und Abbildung 20 wird nachfolgend die orale und vestibuläre Volumenänderung der Test- (n=10) und Kontrollgruppe (n=11) gezeigt. Beim Gesamtvolumen konnten in der Testgruppe noch 8 und bei der Kontrollgruppe 10 Implantationsgebiete analysiert werden (Abbildung 21).

## Ergebnisse

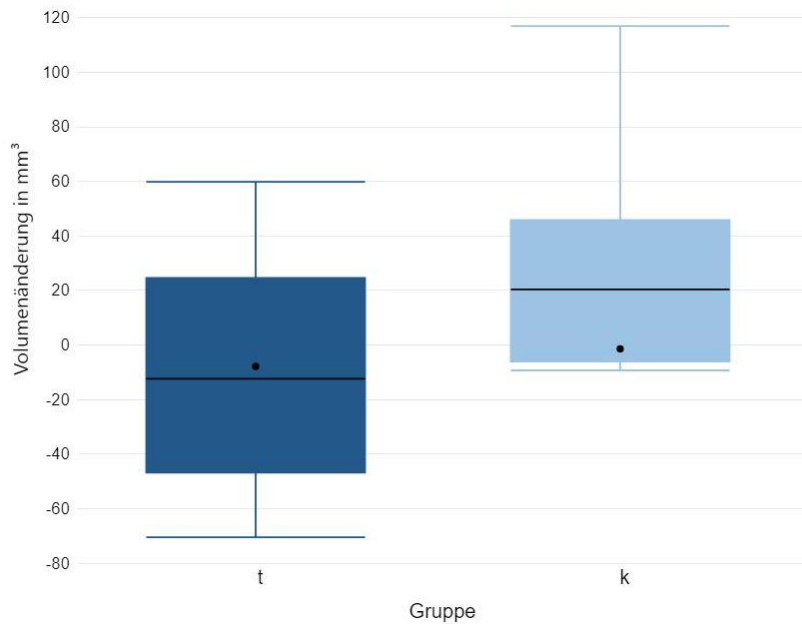


**Abbildung 19:** Volumenänderung oral; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe;  $\bar{X}$  t=-17,2mm<sup>3</sup>;  $\bar{X}$  k=-6,9mm<sup>3</sup> (p=0,34)



**Abbildung 20:** Volumenänderung vestibulär; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe;  $\bar{X}$  t=+4,0mm<sup>3</sup>;  $\bar{X}$  k=+3,7mm<sup>3</sup> (p=0,49)

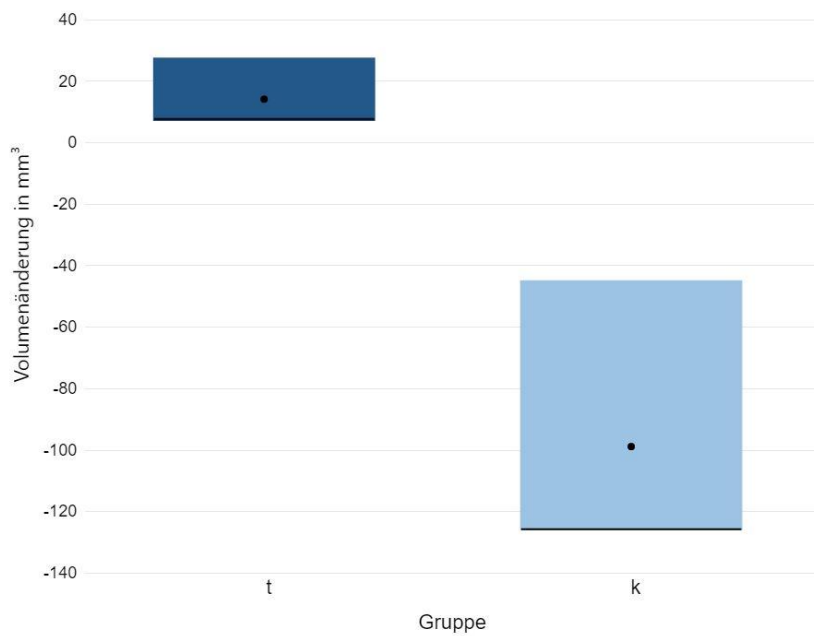
## Ergebnisse



**Abbildung 21:** Volumenänderung gesamt; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe;  
 $\bar{x}$  t=-7,8mm<sup>3</sup>;  $\bar{x}$  k=-1,4mm<sup>3</sup> (p=0,43)

Um einen Vergleich der beiden Gruppen auch in Bezug auf den zurückliegenden Implantationszeitpunkt und die damit verbundene Verweildauer des Implantates in situ zu haben, wurde zusätzlich dargestellt, wie sich die Volumina im Lauf der Jahre zwischen Test- und Kontrollgruppe ändern. Damit soll besonders der anfangs erwähnten Fragestellung Rechnung getragen werden, ob ein anfänglicher Volumenerhalt durch eine ARP nach Jahren immer noch einer natürlichen Ausheilung im Volumen überlegen ist. Von Abbildung 22 bis Abbildung 30 wurde jeweils die orale, vestibuläre und gesamte Volumenänderung in Bezug auf eine kurze (0-18 Monate), mittlere (19 - 36 Monate) und lange (37 - 56 Monate) Implantatverweildauer in situ untersucht.

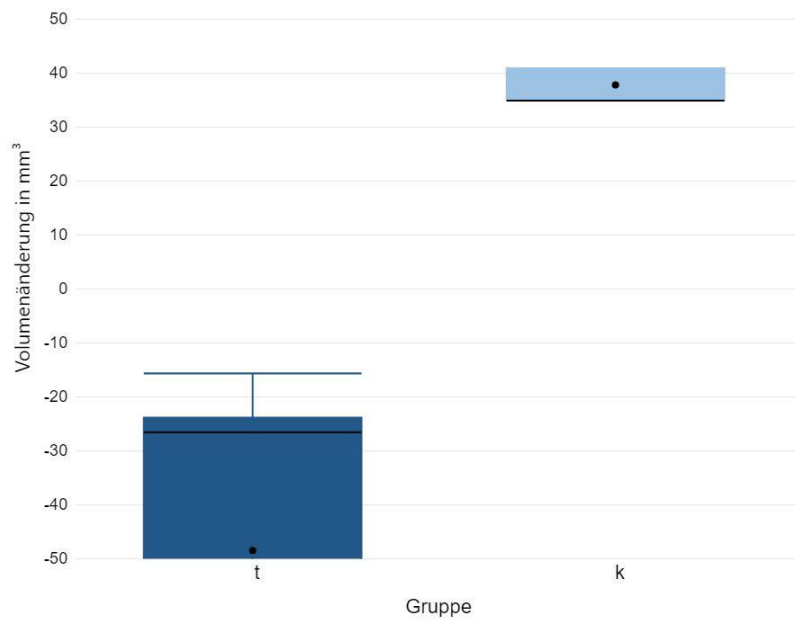
## Ergebnisse



**Abbildung 22:** Volumenänderung oral; Implantate in situ in den ersten 18 Monaten;

$\bar{X}$  t=+14,1mm<sup>3</sup> (n=3), (n.m.)

$\bar{X}$  k=-98,8mm<sup>3</sup> (n=3), (p=0,67)

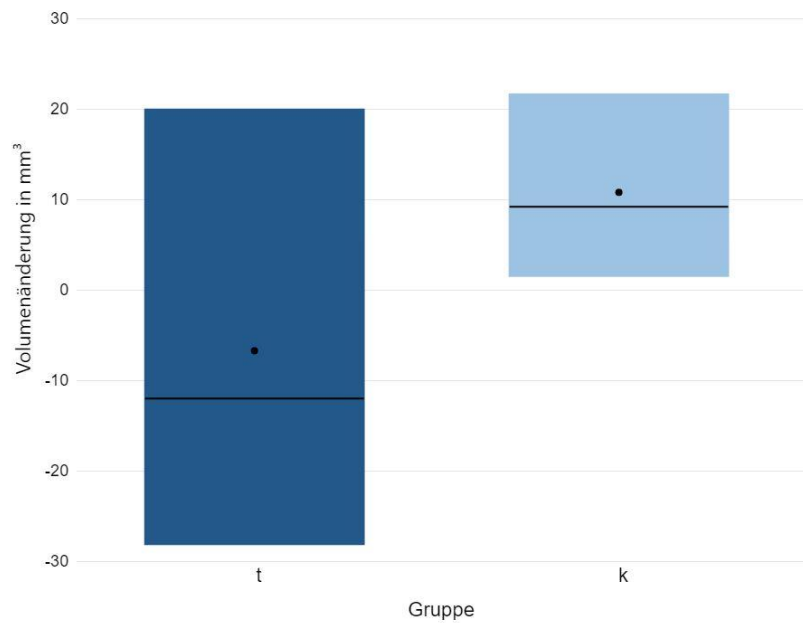


**Abbildung 23:** Volumenänderung oral; Implantate in situ zwischen 19 – 36 Monate;

$\bar{X}$  t=-48,5mm<sup>3</sup> (n=4), (p=0,26)

$\bar{X}$  k=+37,8mm<sup>3</sup> (n=5), (n.m.)

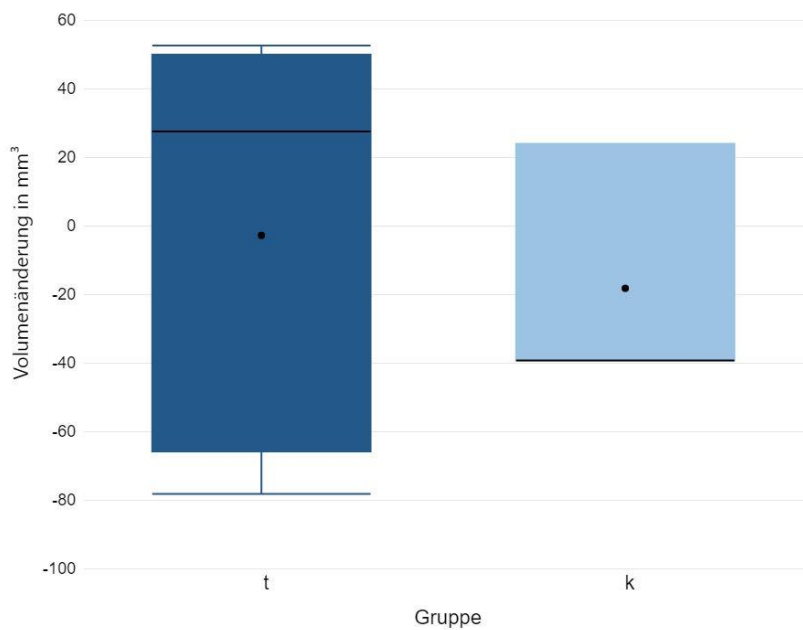
## Ergebnisse



**Abbildung 24:** Volumenänderung oral; Implantate in situ zwischen 37 – 56 Monate;

$\bar{X}$  t = -6,7 mm<sup>3</sup> (n=3), (p=0,96)

$\bar{X}$  k = +10,8 mm<sup>3</sup> (n=3), (n.m.)

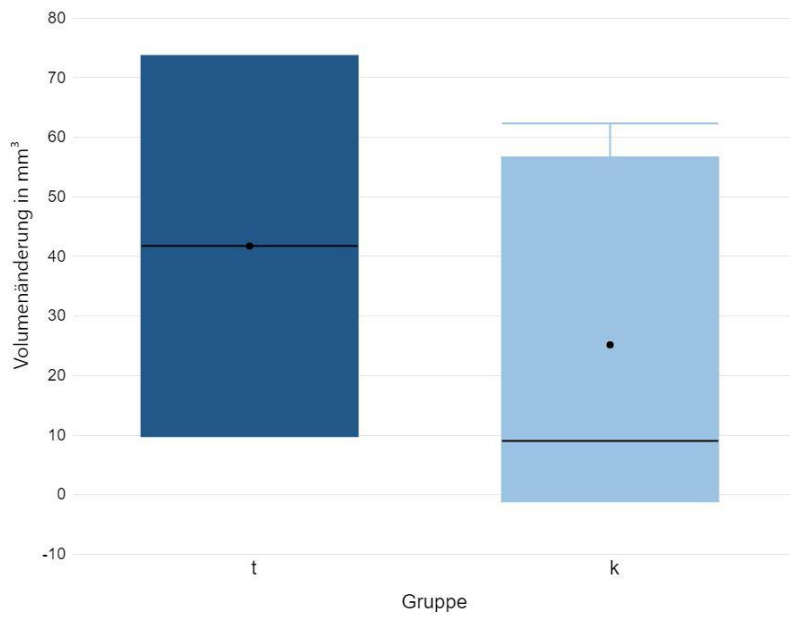


**Abbildung 25:** Volumenänderung vestibulär; Implantate in situ in den ersten 18 Monaten;

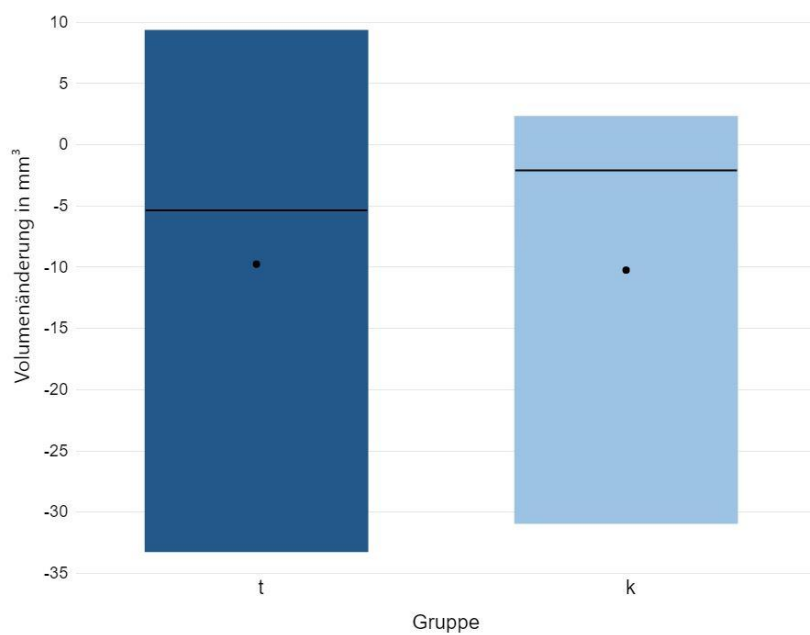
$\bar{X}$  t = -2,8 mm<sup>3</sup> (n=5), (p=0,92)

$\bar{X}$  k = -18,2 mm<sup>3</sup> (n=3), (p=0,67)

## Ergebnisse



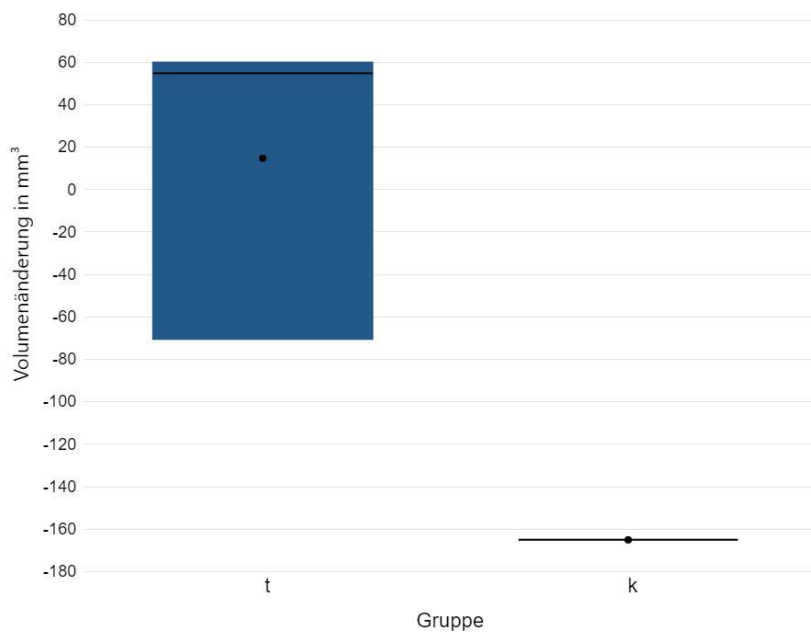
**Abbildung 26:** Volumenänderung vestibulär; Implantate in situ zwischen 19 – 36 Monate;  
 $\bar{X}$  t=+41,7mm<sup>3</sup> (n=2), (n.m.)  
 $\bar{X}$  k=+25,1mm<sup>3</sup> (n=5), (p=0,90)



**Abbildung 27:** Volumenänderung vestibulär; Implantate in situ zwischen 37 – 56 Monate;  
 $\bar{X}$  t=-9,8mm<sup>3</sup> (n=3), (p=0,67)  
 $\bar{X}$  k=-10,2mm<sup>3</sup> (n=3), (p=0,79)



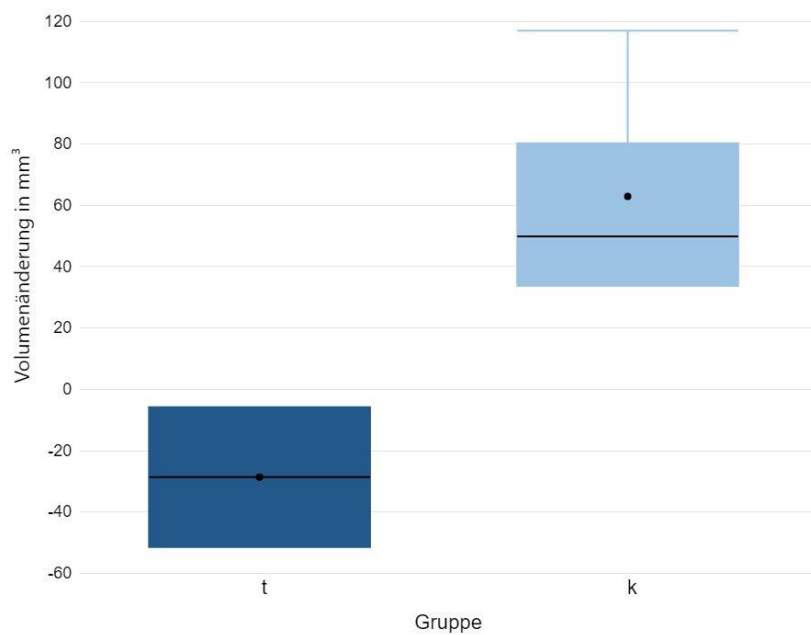
## Ergebnisse



**Abbildung 28:** Volumenänderung gesamt; Implantate in situ in den ersten 18 Monaten;

$\bar{x}$  t=+14,8mm<sup>3</sup> (n=3), (n.m.)

$\bar{x}$  k=-165,0mm<sup>3</sup> (n=2), (n.m.)

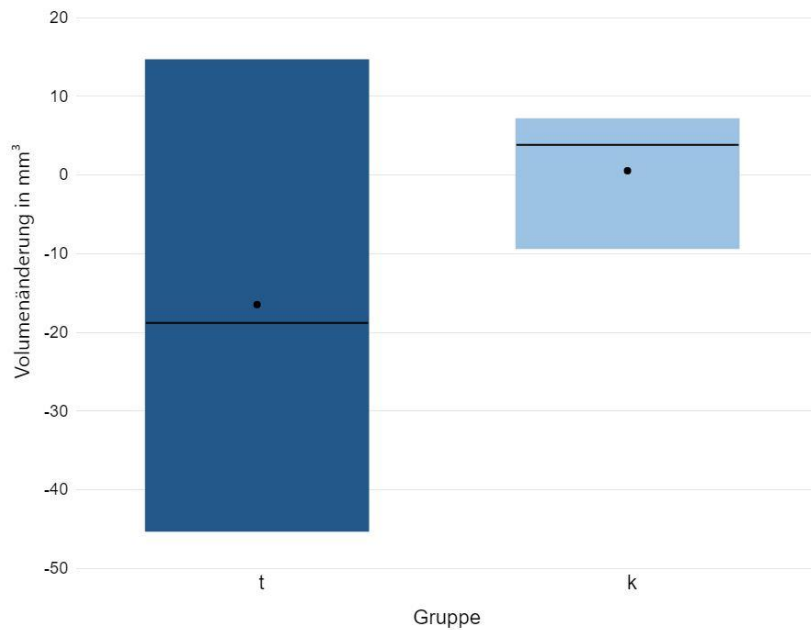


**Abbildung 29:** Volumenänderung gesamt; Implantate in situ zwischen 19 – 36 Monate;

$\bar{x}$  t=-28,6mm<sup>3</sup> (n=2), (n.m.)

$\bar{x}$  k=+62,9mm<sup>3</sup> (n=5), (p=0,71)

## Ergebnisse



**Abbildung 30:** Volumenänderung gesamt; Implantate in situ zwischen 37 – 56 Monate;

Ø t=-16,5mm<sup>3</sup> (n=3), (p=0,74)

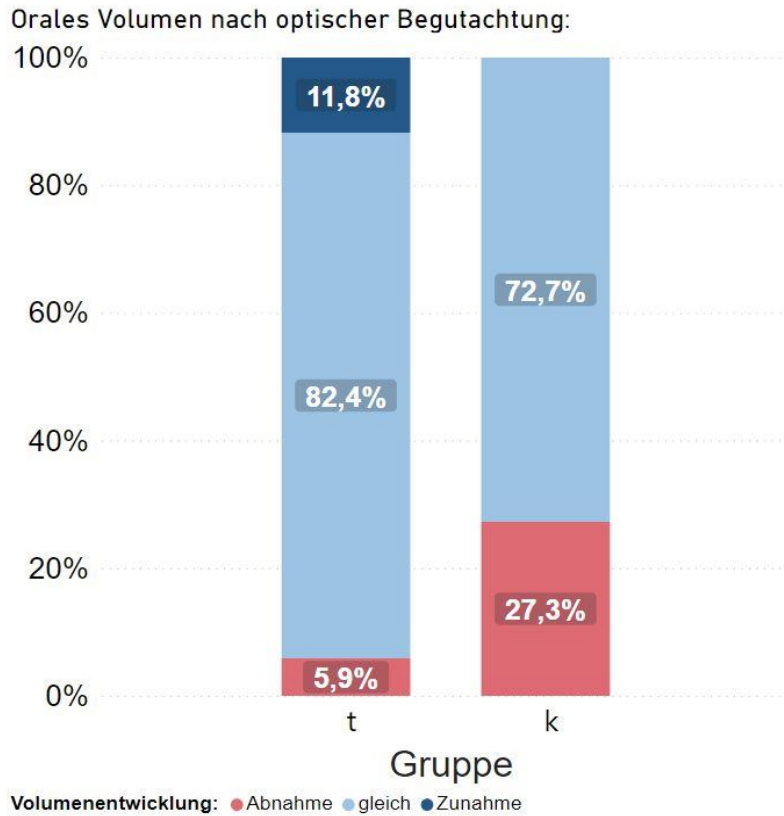
Ø k=+0,5mm<sup>3</sup> (n=3), (p=0,90)

### 3.1.3 Optische Auswertung der Bilder

Durch eine optische Auswertung der intraoralen Fotos, die zur Nachuntersuchung von jedem Patienten angefertigt wurden, und die Begutachtung der Scandatenansätze war es zusätzlich möglich, das vestibuläre und orale Weichgewebe nach Volumenerhalt, Volumenzuwachs oder Volumenverlust in drei Gruppen einzuteilen. Bei dieser Datenerhebung wurde der Ausgangszustand nach Zahnextraktion mit dem Zustand zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung durch die Scandaten und Modelle verglichen. Die Bewertung erfolgte auf optischer Grundlage. So konnten auch Ergebnisse für Messbereiche erzielt werden, die aufgrund von fehlerhaften Teilabdrücken nicht analysiert oder überlagert werden konnten. Auch die Fotos der Okklusalansicht des Implantationsgebietes wurden in die Bewertung mit einbezogen.

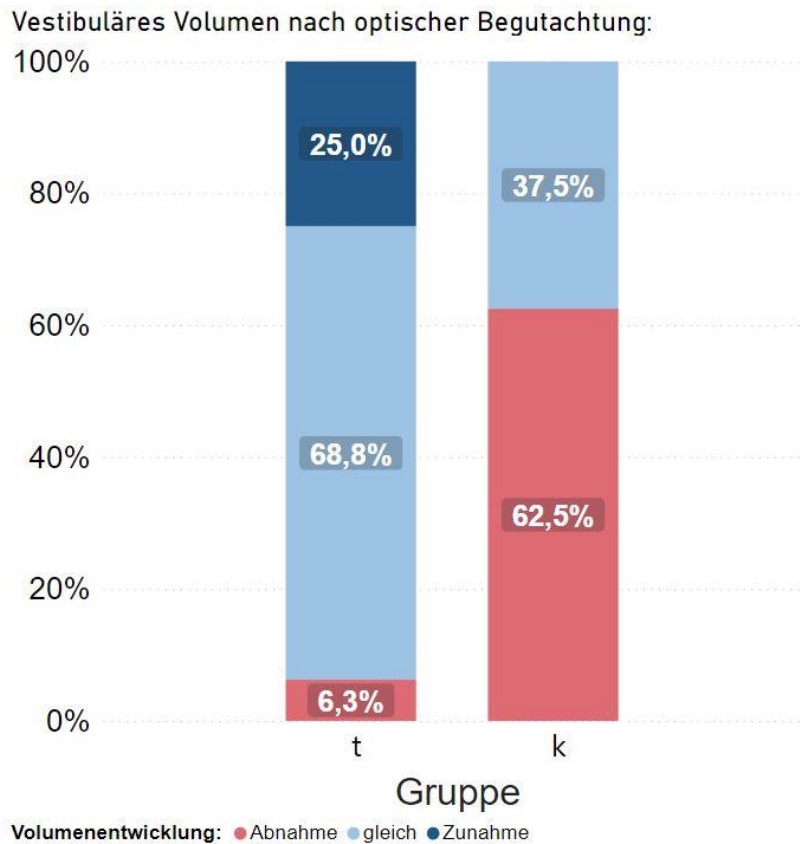
Die optische Bewertung ergab bei der oralen Begutachtung der Schleimhautverhältnisse, dass in 22 Fällen das Volumen größtenteils erhalten werden konnte. Davon gehörten 14 Fälle der Testgruppe und acht Fälle der Kontrollgruppe an. Viermal konnte ein Volumenverlust erkannt werden, davon einmal in der Test- und dreimal in der

Kontrollgruppe. In zwei Fällen aus der Testgruppe konnte sogar eine Volumenzunahme erkannt werden (Abbildung 31).



**Abbildung 31:** Die optische Begutachtung des oralen Schleimhautareals ergab bei der Testgruppe in 5,9% der Fälle einen optisch erkennbaren Volumenschwund, wohingegen in der Kontrollgruppe 27,3% der Fälle einen Volumenverlust zeigten.

Beim vestibulären Volumen konnte 14-mal ein Volumenerhalt, davon elfmal in der Testgruppe und dreimal in der Kontrollgruppe, festgestellt werden. Bei sechs Modellen wurde vestibulär ein Volumenverlust erkannt. Davon entfielen ein Fall auf die Test- und fünf Fälle auf die Kontrollgruppe. Eine Volumenzunahme konnte ausschließlich in der Testgruppe (n=4) erkannt werden (Abbildung 32).



**Abbildung 32:** Die optische Begutachtung des vestibulären Schleimhautareals ergab bei der Testgruppe in 6,3% der Fälle einen optisch erkennbaren Volumenschwund, wohingegen in der Kontrollgruppe 62,5% der Fälle einen Volumenverlust zeigten.

### 3.1.4 Sekundärhypothesen

#### 3.1.4.1 PES, WES, Patientenbewertung

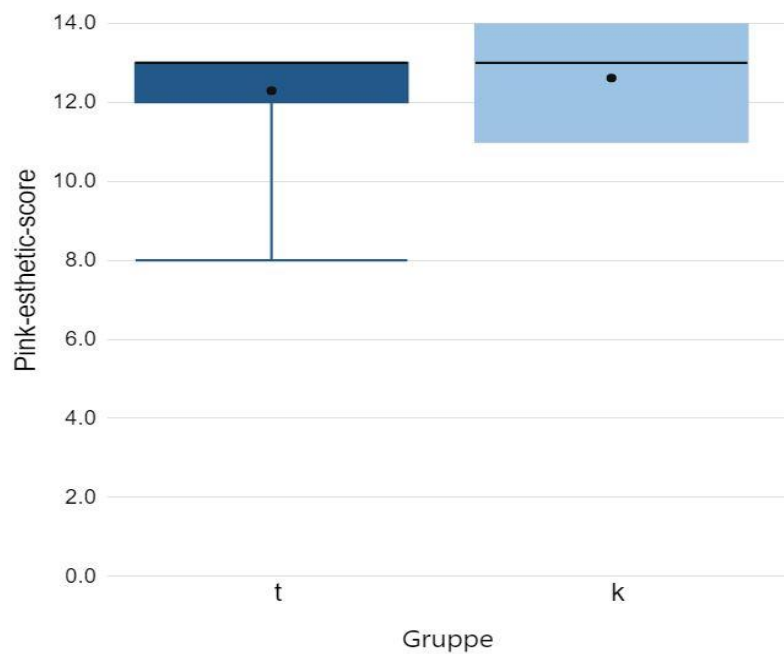
Durch den Behandler wurden Punktwerte zum „pink-esthetic-score“ (Fürhauser et al., 2005) und „white-esthetic-score“ (Belser et al., 2009) ermittelt. Zusätzlich wurden anhand der subjektiven Patientenmeinung Bewertungen zur Ästhetik der eigenen Gingiva rund um das Implantat, der implantatgetragenen Suprakonstruktion sowie des selbstempfundenen Schmerzes nach Zahnextraktion erhoben (Abbildung 57).

Der durchschnittlich erreichte Punktwert des PES lag bei allen Patienten bei 12,5 von 14 möglichen Punkten, wobei der Punktabzug fast ausschließlich dem fehlenden

## Ergebnisse

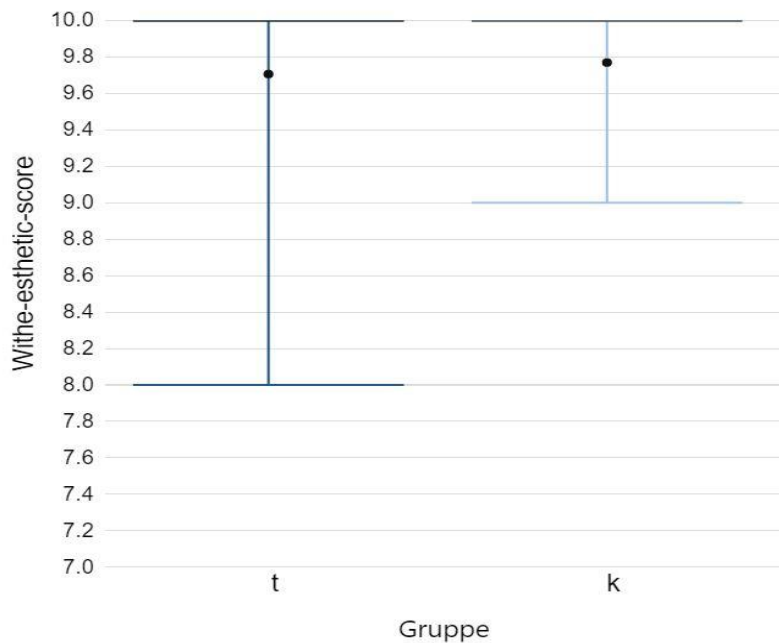
bukkalen Alveolarfortsatzvolumen (n=24) und bei endständigen Implantatversorgungen dem Fehlen der distalen Papille (n=2) geschuldet war (Abbildung 33).

Beim WES wurde ein Durchschnittswert aller Patienten von 9,8 von möglichen 10 Punkten erreicht. In sechs Fällen war das fehlende vestibulo-orale Volumen des ZE und in zwei Fällen außerdem die Zahnfarbe ausschlaggebend für einen Punktabzug (Abbildung 34).



**Abbildung 33:** In der Testgruppe lag der durchschnittlich erreichte Wert bei 12,3, in der Kontrollgruppe bei 12,6 von 14 möglichen Punkten.

## Ergebnisse

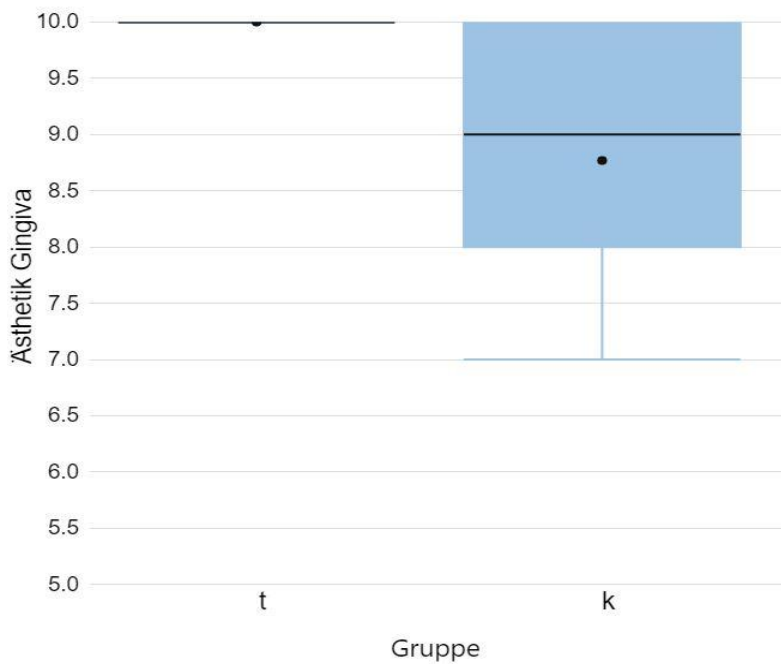


**Abbildung 34:** In der Testgruppe lag der durchschnittlich erreichte Wert bei 9,7, in der Kontrollgruppe bei 9,8 von 10 möglichen Punkten.

Die Patienten bewerteten die selbst empfundene Ästhetik der Gingiva um das Implantat mit durchschnittlich 9,5 von 10 Punkten, wobei keine Bewertung schlechter als 7 Punkte war. Abzüge gab es laut Aussage der Betroffenen ausschließlich durch anhaltende Schwellung der Schleimhaut direkt nach der Implantation oder aufgrund anhaltender Entzündungen (Abbildung 35). Diese Fälle konnten ausschließlich der Kontrollgruppe zugewiesen werden. Bei der Testgruppe bewerteten alle Patienten ihre Gingiva mit 10 von 10 Punkten, bei der Kontrollgruppe wurde ein Durchschnitt von 8,8 Punkten erreicht (Abbildung 36).



**Abbildung 35:** Links: Implantat regio 35 mit umliegender Gingiva, die mit Punktabzug durch den Patienten aufgrund von immer wiederkehrender Gingivitis bewertet wurde; Rechts: Implantat regio 46; hier wurde die Gingiva, trotz Rezession, mit der vollen Punktzahl seitens des Patienten bewertet (eigene Abbildungen)



**Abbildung 36:** Alle Patienten der Testgruppe vergaben in Bezug auf die Ästhetik ihrer Gingiva die Höchstpunktzahl. Bei den Patienten der Kontrollgruppe war 7 die niedrigste Bewertung.

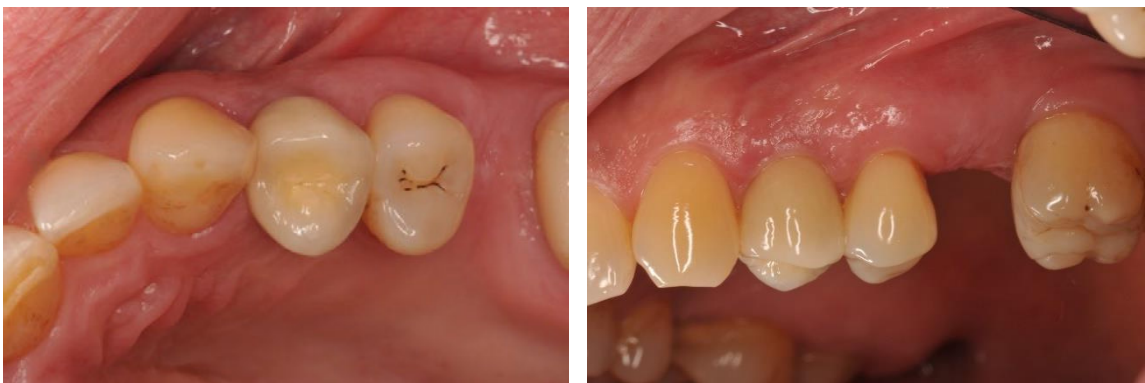
Die Bewertung der eigenen Suprakonstruktion in Bezug auf Ästhetik und Funktionalität ergab einen durchschnittlichen Wert von 9,7 Punkten. Ein Patient vergab dabei nur 6 Punkte aufgrund eines fehlenden Kontaktpunktes zum Nachbarzahn mit kontinuierlicher Speiseimpaktion (Abbildung 37). Zweimal wurden je 8 und 9 Punkte bei der Umfrage

verteilt. Mit Ausnahme einer Bewertung waren alle Patientenfälle mit Punktabzug der Kontrollgruppe zuzuordnen (Abbildung 39). Die restlichen Suprakonstruktionen wurden allesamt mit der vollen Punktzahl bewertet (Abbildung 38).



**Abbildung 37:** Klinische Situation einer Suprakonstruktion regio 36, die mit 6 Punkten bewertet wurde. Der mesiale Kontaktpunkt wurde als zu schwach und der Interdentalraum als zu groß empfunden.

Links: Ansicht von okklusal; rechts: Ansicht von bukkal (eigene Abbildungen)

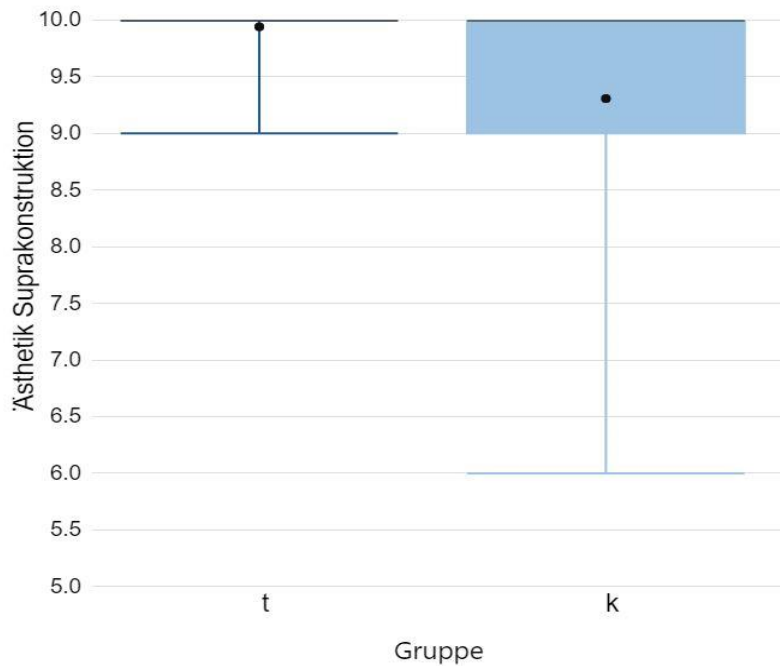


**Abbildung 38:** Klinische Situation einer Suprakonstruktion regio 24, die mit voller Punktzahl bewertet wurde.

Links: Ansicht von okklusal; rechts: Ansicht von bukkal (eigene Abbildungen)

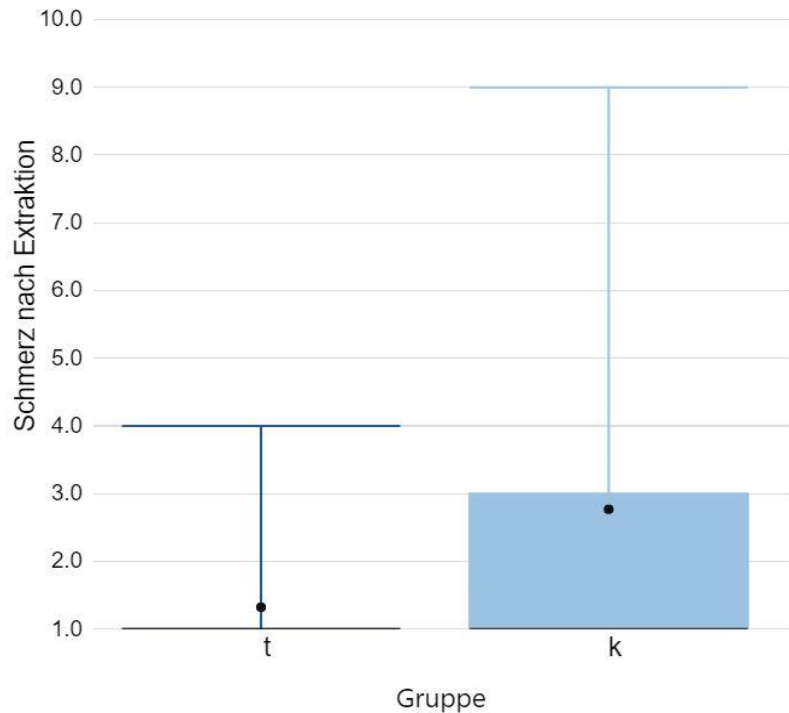


## Ergebnisse



**Abbildung 39:** In der Testgruppe lag der Durchschnitt aller Patienten bei 9,9 von 10 möglichen Punkten. Die Patienten der Kontrollgruppe bewerteten die Suprakonstruktion mit durchschnittlich 9,3 Punkten.

Bei der Bewertung des empfundenen Schmerzes nach Zahnextraktion wurde ein Durchschnittswert aller Patienten von 1,95 erreicht. Nur ein Patient gab nach der Zahnextraktion extreme Schmerzen (Punktwert 9 von 10) an. Alle anderen Werte überschritten nie die Punktzahl 4, 20-mal wurde sogar kein Schmerz (Punktwert 1) nach der Extraktion angegeben (Abbildung 40). Die Punktabzüge konnten keiner der beiden Gruppen eindeutig zugewiesen werden.



**Abbildung 40:** In der Testgruppe lag der Durchschnitt aller Patienten bei 1,3 Punkten. Die Patienten der Kontrollgruppe bewerteten den selbst empfundenen Schmerz nach dem chirurgischen Eingriff mit durchschnittlich 2,8 Punkten.

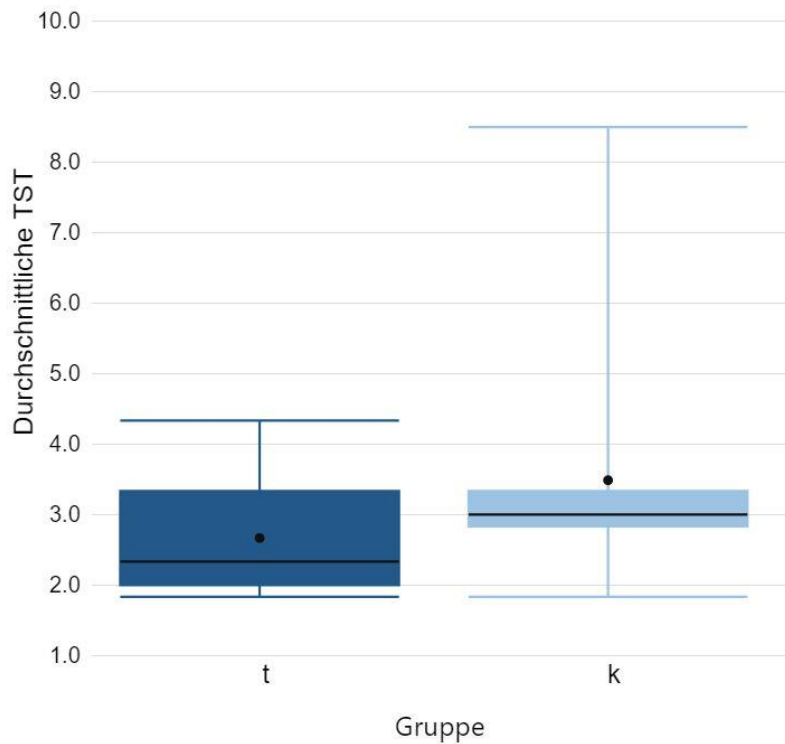
#### 3.1.4.2 TST, BOP, Suppuration

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass pathologische Taschensondierungstiefen bei Implantaten erst ab einem Messwert von  $>4\text{mm}$  vorliegen und höhere Messwerte zusätzlich von Entzündungszeichen wie BOP oder Suppuration begleitet werden müssen, um von einer Periimplantitis sprechen zu können (The American Academy of Periodontology [AAP], 2013).

Durch die Messung der Taschensondierungstiefen an sechs Stellen um jedes Implantat dieser Studie ergaben sich insgesamt 180 Messwerte bei insgesamt 30 Implantaten. Bei 20 Implantaten, also 120 Messstellen, konnten keine pathologischen Sondierungstiefen gemessen werden (t:  $n=12$ ; k:  $n=8$ ). Bei den restlichen zehn Implantaten waren 41 der 60 Messstellen ebenfalls als nicht pathologisch vertieft anzusehen. Insgesamt waren damit

## Ergebnisse

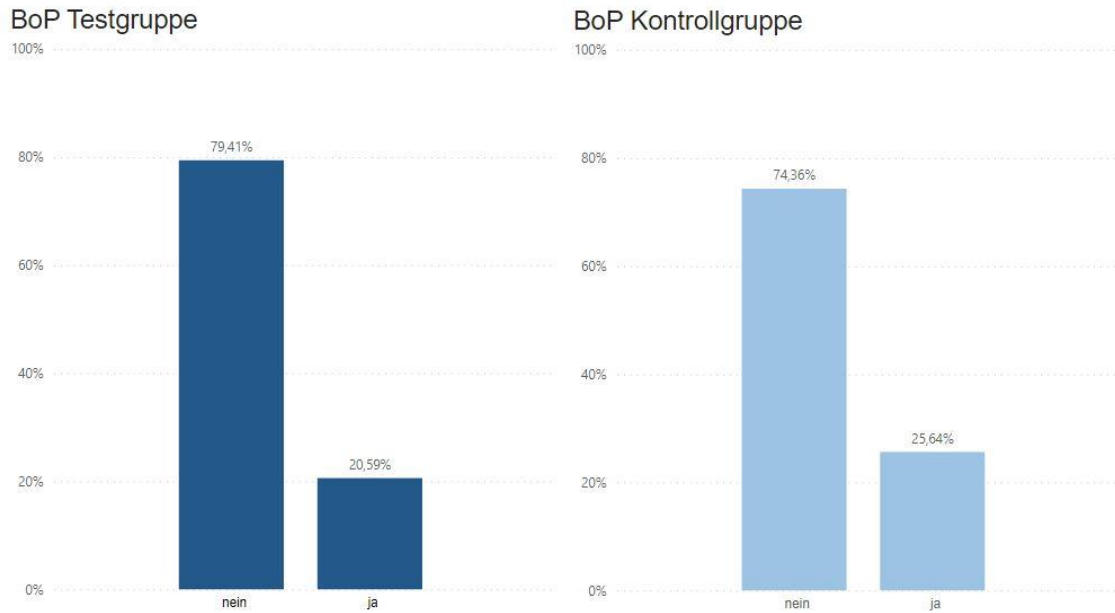
89,4% aller Sondierungstiefen nicht größer als 4mm und somit als klinisch gesund anzusehen (Abbildung 41, Abbildung 43).



**Abbildung 41:** Durchschnittlich lag die TST der Testgruppe bei 2,67mm. Die Kontrollgruppe erreichte durchschnittlich einen Wert von 3,49mm.

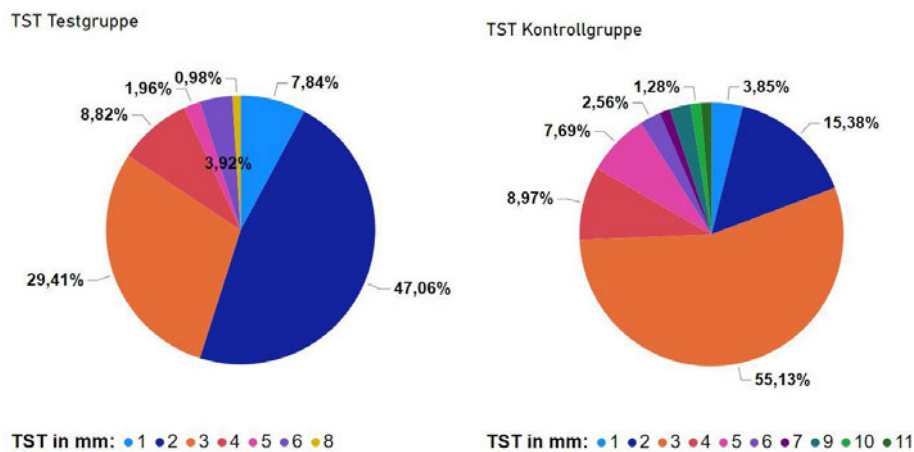
Von den insgesamt 180 Messstellen konnten 139 Messpunkte ohne Blutung befundet werden. Das entspricht 77% aller Messungen. Bei 41 Messungen wurde eine Blutung durch die Sondierung hervorgerufen (Abbildung 42). Eine Suppuration war bei keiner Messung feststellbar.

## Ergebnisse



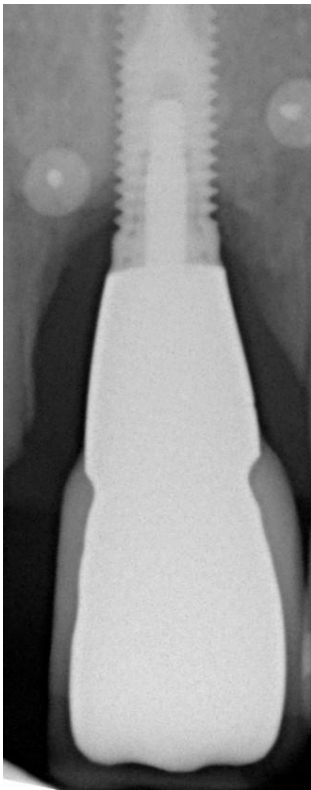
**Abbildung 42:** BOP konnte bei 20,59% aller Sondierungen der Testgruppe und bei 25,64% aller Messungen der Kontrollgruppe festgestellt werden.

Bei drei Implantaten jedoch wurden vereinzelte Taschensondierungswerte von 6mm gemessen. Bei einem Implantat konnte ein einzelner Wert von 8mm erfasst werden. Alle Messungen zeigten zusätzlich eine Blutung beim Sondieren (BOP). Eine Zuordnung der pathologisch erhöhten TST zu lediglich der Test- oder Kontrollgruppe war nicht möglich. Außerdem war bei keiner Messung eine Suppuration zu beobachten (Abbildung 43).



**Abbildung 43:** Tortendiagramm zur Darstellung aller TST im Vergleich der Testgruppe (links) mit der Kontrollgruppe (rechts). In der Testgruppe waren 93,13% aller Messungen 4mm oder geringer. In der Kontrollgruppe blieben 83,26% aller Messungen unter 5mm TST.

Bei einem Implantat im Frontzahnbereich wurden fünf erhöhte Werte zwischen 11mm und 7mm gemessen. Diese stark erhöhten Werte zeigten allerdings keinerlei Entzündungszeichen und waren auch röntgenologisch unauffällig (Abbildung 44). Ein Vergleichsröntgenbild mit der Ausgangssituation zeigte deutlich eine unveränderte, krestale Knochenlinie zirkulär um das Implantat. Durch die tiefe Implantatinsertion und der daraus entstehenden hohen Suprakonstruktion konnten die erhöhten TST erklärt werden und lassen deshalb keinen pathologischen Befund zu.

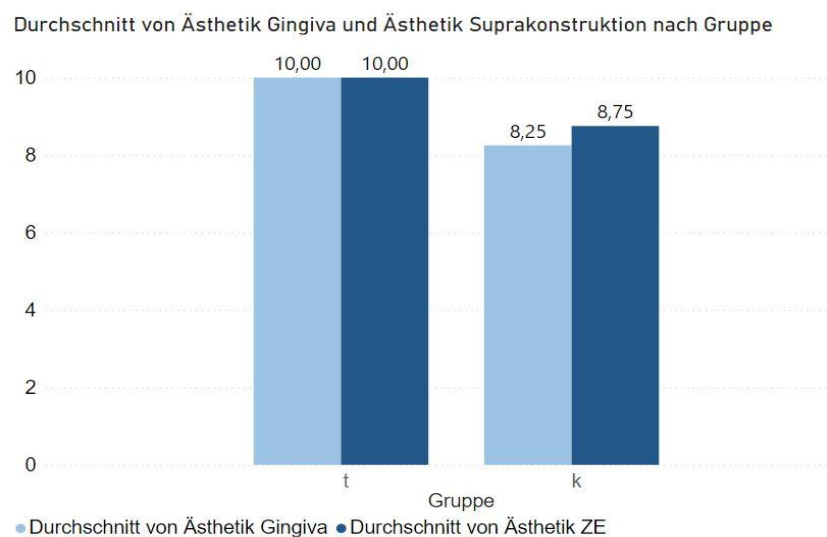


**Abbildung 44:** Ausgangsröntgenbild des Implantates regio 21; deutlich sichtbare verlängerte Suprakonstruktion aufgrund eines tief gesetzten Implantates. TST von bis zu 11mm ohne erkennbare Zeichen einer Periimplantitis nach klinischer Untersuchung (eigene Abbildung)

### 3.2 Nebenbefunde und zusätzliche Auffälligkeiten

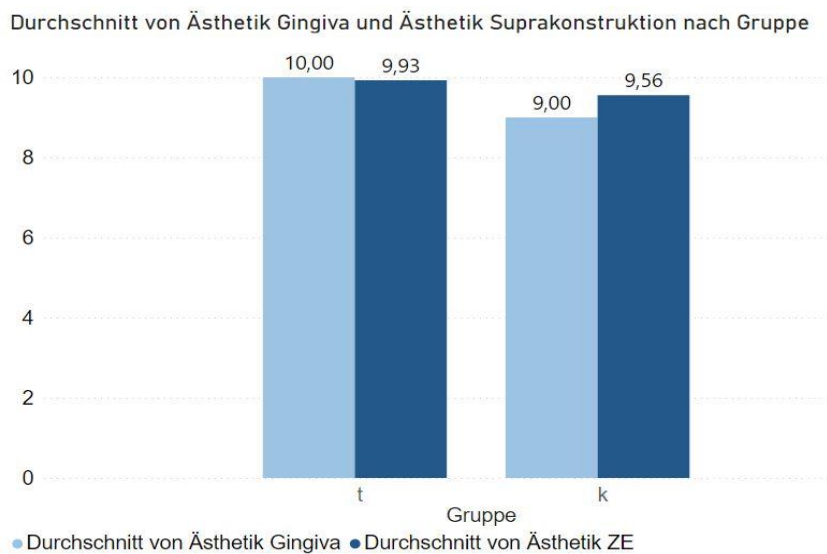
Bei der Auswertung der Ergebnisse kam es zu einigen Auffälligkeiten und Tendenzen, die unter Berücksichtigung einzelner Untergruppen von Patienten ausgewertet werden konnten.

Im Vergleich zwischen jüngeren und älteren Patienten konnte kein Unterschied zwischen dem vom Behandler erhobenen PES und WES festgestellt werden. Bei der Auswertung des Patientenfragebogens wurden allerdings die Gingiva und auch die Suprakonstruktion von jungen Patienten schlechter beurteilt. Dabei wurde die Altersgruppe bis zum einschließlich 50. Lebensjahr (Abbildung 45) mit den Patienten ab dem 51. Lebensjahr (Abbildung 46) verglichen.



**Abbildung 45:** Alle Implantate der Patienten zwischen dem 25. und 50. Lebensjahr (n=7) verglichen zwischen Test- und Kontrollgruppe. Die Patienten der Kontrollgruppe bewerteten ihre Gingiva mit 8,25 Punkten und die Suprakonstruktion mit 8,75 Punkten, während alle Patienten der Testgruppe die volle Punktzahl vergaben.

## Ergebnisse

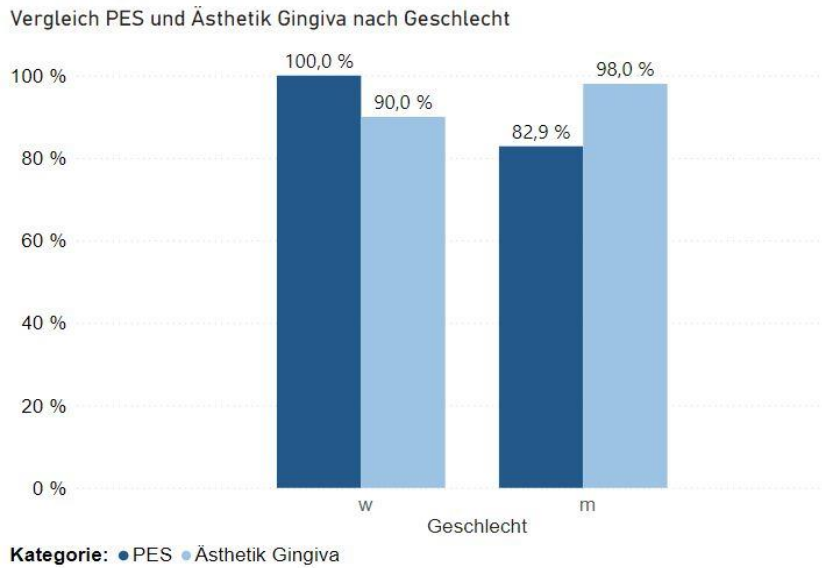


**Abbildung 46:** Die Implantate der Patienten zwischen dem 51. und 80. Lebensjahr (n=23) bewerteten ihre Gingiva (t=10; k=9) und ihre Suprakonstruktion (t=9,93; k=9,56) deutlich ähnlicher als die jüngeren Patienten.

Wenn man separat nur ältere Patienten ab dem 68. Lebensjahr betrachtet, fällt auf, dass bei männlichen Studienteilnehmern ein schlechterer PES gemessen wurde als bei weiblichen Patienten. Jedoch konnte bei den patienteneigenen Bewertungen nur ein geringerer Unterschied bezüglich der Gingiva erkannt werden. Die weiblichen Studienteilnehmer beurteilten jedoch ihre Gingiva sogar schlechter als die männlichen Patienten. Frauen bewerteten folglich ihre Gingiva schlechter als Männer derselben Altersgruppe trotz vergleichbarer PES-Werte (Abbildung 47).

Um hier vergleichbare Werte zu erhalten, wurden die Ergebnisse der folgenden Abbildungen prozentual angegeben, da allein der PES mit maximal 14 Punkten, der WES und die Patientenbewertungen jedoch mit maximal 10 Punkten bewertet werden konnten. Dies kann zu irreführenden Darstellungen in den Abbildungen führen, in denen der PES als überlegen dargestellt würde. Deshalb muss in den nachfolgenden Abbildung 47 bis Abbildung 53 besonders auf die angepasste Skalierung geachtet werden.

## Ergebnisse



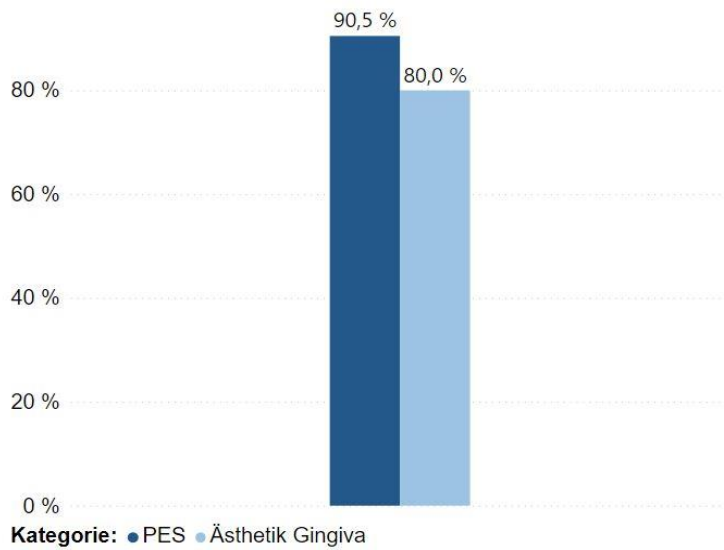
**Abbildung 47:** Männliche Patienten ab dem 68. Lebensjahr (n=5 Implantate) erreichen einen durchschnittlichen PES von 11 Punkten, während altersgleiche, weiblichen Patienten (n=2 Implantate) mit 14 Punkten den Höchstwert des PES erreichen. Trotzdem erzielen die männlichen Patienten ein besseres durchschnittliches Ergebnis als die weiblichen Patienten.

Zusätzlich konnte man eine Tendenz erkennen, dass gerade Patienten der Kontrollgruppe, deren Implantationszeitpunkt länger zurücklag, ihre Gingiva selbst schlechter bewerteten als Patienten derselben Gruppe mit erst kürzlich erfolgter Implantation. Diese Tendenz konnte aber beim Vergleich mit dem PES nicht bestätigt werden. In einer Gruppe lag die Implantation zwischen fünf und 20 Monate zurück (Abbildung 49), bei der anderen Gruppe war der chirurgische Eingriff bereits zwischen 40 und 57 Monate her (Abbildung 48).



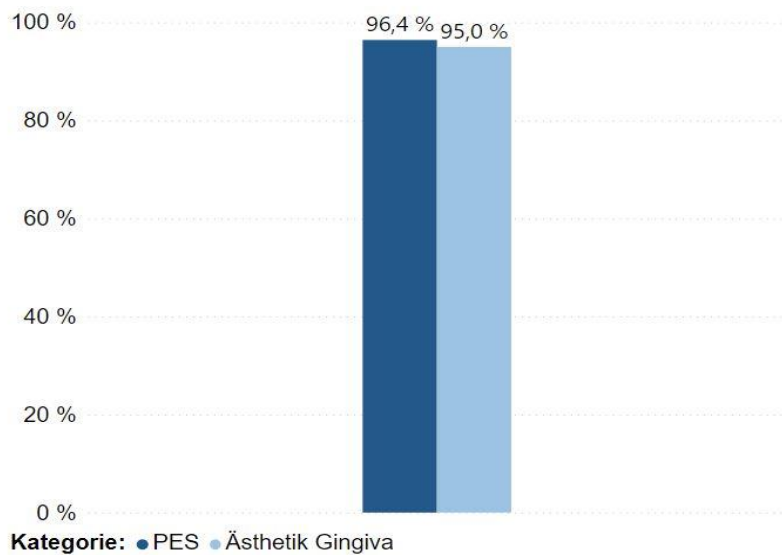
## Ergebnisse

Vergleich PES und Ästhetik Gingiva nach Implantatverweildauer



**Abbildung 48:** Alle Patienten der Kontrollgruppe, bei denen der Implantationszeitpunkt mindestens 40 Monate zurücklag (n=3); der PES fällt mit 90,5% der Maximalpunktzahl besser aus als die selbstempfundene Ästhetik der Gingiva (80% der Maximalpunktzahl).

Vergleich PES und Ästhetik Gingiva nach Implantatverweildauer

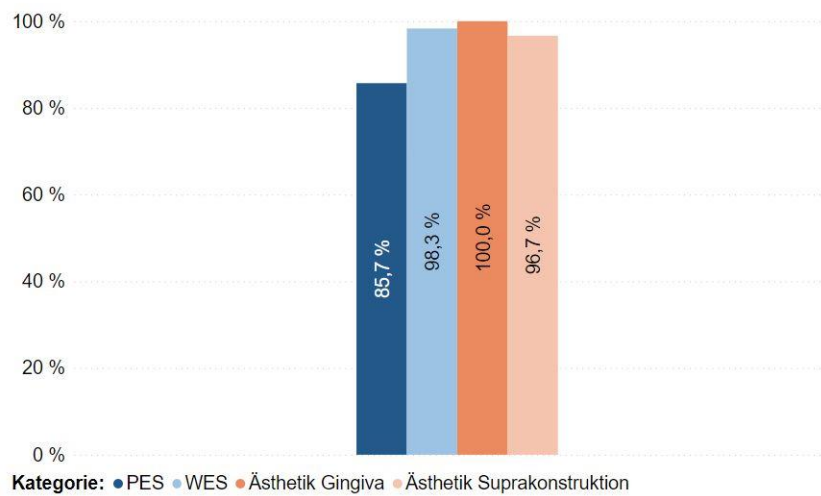


**Abbildung 49:** Alle Patienten der Kontrollgruppe, bei denen der Implantationszeitpunkt zwischen fünf und 20 Monaten zurücklag (n=4); der PES (96,4% der Maximalpunktzahl) und die Ästhetik der Gingiva (95% der Maximalpunktzahl) fallen sehr ähnlich aus.

## Ergebnisse

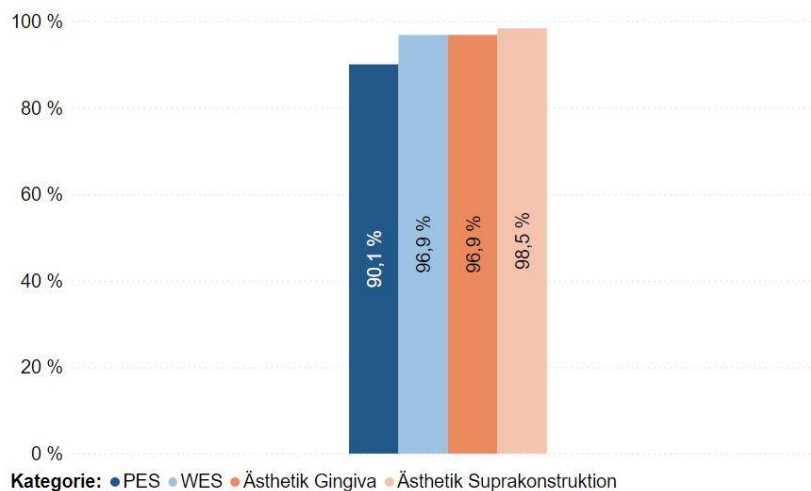
Allerdings konnte tendenziell nicht eindeutig gezeigt werden, dass PES, WES sowie die Patientenbeurteilungen zu Gingiva und Suprakonstruktion mit Verweildauer des Implantates im Mund rückläufig waren. Abbildung 50 -Abbildung 53 zeigen jeweils den Vergleich von PES, WES, Ästhetik Gingiva und Ästhetik Suprakonstruktion aufgeteilt nach zurückliegendem Implatationszeitpunkt.

Vergleich PES, WES, Ästhetik Gingiva und Suprakonstruktion nach Implantatverweildauer



**Abbildung 50:** Implantat in situ 5 - 12 Monate (n=6); in % dargestellt sind die durchschnittlichen Bewertungen in Bezug auf die maximal erreichbare Punktzahl.

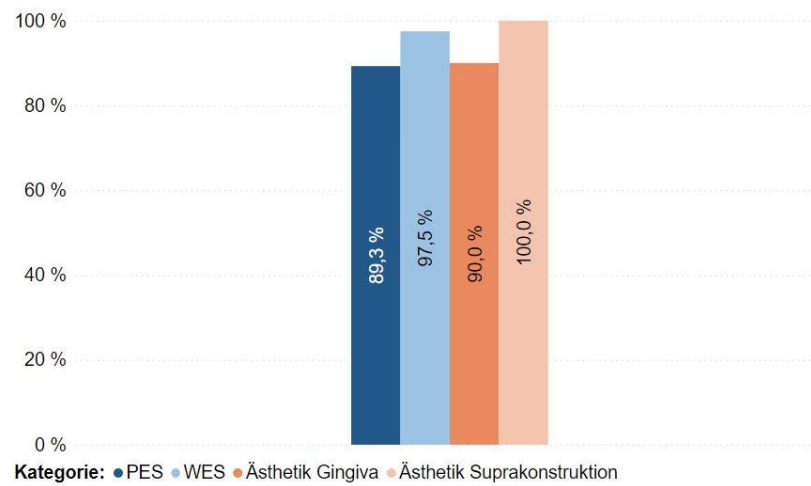
Vergleich PES, WES, Ästhetik Gingiva und Suprakonstruktion nach Implantatverweildauer



**Abbildung 51:** Implantat in situ 13 - 24 Monate (n=13); in % dargestellt sind die durchschnittlichen Bewertungen in Bezug auf die maximal erreichbare Punktzahl.

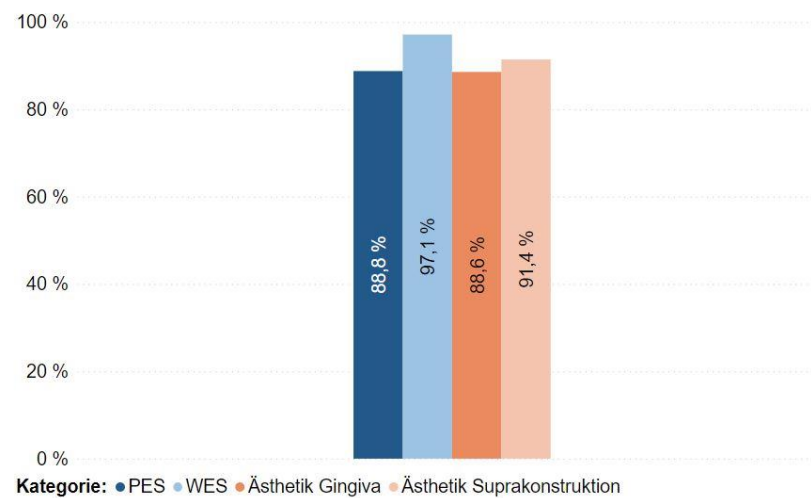
## Ergebnisse

Vergleich PES, WES, Ästhetik Gingiva und Suprakonstruktion nach Implantatverweildauer



**Abbildung 52:** Implantat in situ 25 - 36 Monate (n=4); in % dargestellt sind die durchschnittlichen Bewertungen in Bezug auf die maximal erreichbare Punktzahl.

Vergleich PES, WES, Ästhetik Gingiva und Suprakonstruktion nach Implantatverweildauer



**Abbildung 53:** Implantat in situ 37 - 58 Monate (n=7); in % dargestellt sind die durchschnittlichen Bewertungen in Bezug auf die maximal erreichbare Punktzahl.

## 4 Diskussion

In dieser Studie wurde untersucht, ob eine ARP mit dem allogenen KEM Puros® Allograft Spongiosa Partikel (Zimmer Dental GmbH, München) auch bei längeren Beobachtungszeiträumen einer unversorgten Extraktionsalveole nach Implantation im Volumenerhalt überlegen ist.

Dass ein kurzfristiger, positiver Effekt auf den Kieferkammerhalt nicht von der Hand zu weisen ist, bestätigten bereits mehrere Studien (Jung et al., 2013; MacBeth et al., 2017; Thalmair et al., 2013). Besonders allogenem KEM wird dabei ein potentiell osteoinduktiver Effekt nachgesagt. Dieser unterscheidet es von tierischem oder künstlich hergestellten KEM (Mollen et al., 2014). Zusätzlich ist allogenes KEM im Vergleich zum autologen KEM unbegrenzt verfügbar und muss nicht über einen weiteren Eingriff, ein zusätzliches Operationsgebiet und eine damit verbundene erhöhte Morbidität gewonnen werden (Younger & Chapman, 1989). Die Frage, ob jedoch allogenes KEM einen positiven Effekt auf die Knochenheilung einer Extraktionsalveole hat, wurde von Aspenberg et al., (1988) bereits verneint. Demzufolge hatte der Volumenerhalt keinen Vor- oder Nachteil gegenüber einer natürlichen Ausheilung gezeigt. Zudem konnte verglichen mit autologem KEM auch schon ein deutlich geringerer Heilungsprozess auf das umliegende Knochengewebe nachgewiesen werden (Becker et al., 1994; Froum et al., 2002).

Entscheidend für die Volumenstabilität bei der Heilung einer Extraktionsalveole bleibt aber zusätzlich die vorangehende Zahnentfernung an sich, die möglichst atraumatisch sein sollte (Herrera & Zöller, 2001), und die verbleibende Knochendicke der bukkalen Wand (Brownfield & Weltman, 2012). Auch die Knochenqualität des Extraktionsgebietes oder die Dicke und Stabilität der Gingiva spielen eine große Rolle (Januário et al., 2011). So ist es ein komplexes Zusammenspiel aus vielen Kriterien, die darüber entscheiden, ob und wie viel Knochenvolumen einer Extraktionsalveole erhalten werden kann.

In dieser Untersuchung konnte nicht allen Aspekten gleichermaßen Rechnung getragen werden. So hätte man bei der Auswahl der Patienten in Bezug auf das Alter auf eine gleichmäßigere Sortierung in die unterschiedlichen Altersgruppen achten können, um

aussagekräftigere Ergebnisse zu bekommen. Auch der Extraktionsgrund der später ersetzten Zähne ist, wie in Abb. 2 dargestellt, etwas einseitig zugunsten von endodontisch erkrankten Zähnen ausgefallen. Leider machte aber auch einen Dropout von fast 20% bei der Nachuntersuchung die von Beginn an überschaubare Stückzahl noch geringer und die Gesamtergebnisse dadurch sprunghafter. Um die Validität der Studie zu erhöhen, wäre eine höhere Anzahl an Patienten und Implantaten wünschenswert gewesen. Leider war durch die vorangegangene Behandlung und ein Dropout von ca. 20% die Teilnehmerzahl der Studie fest vorgegeben und konnte nicht beliebig erhöht werden.

Die Nachuntersuchung wurde für alle Patienten zeitgleich durchgeführt, die Implantation allerdings fand im Zeitrahmen von mehreren Jahren statt. Dementsprechend wurden die jeweiligen Situationen zu unterschiedlichen Zeitpunkten untersucht, wodurch ein Vergleich untereinander erschwert wird. Außerdem scheint eine Nachuntersuchung nach mehr als fünf oder sogar 10 Jahren interessant zu sein, was Anlass für weitere Studien geben könnte.

Außerdem soll nicht unbeachtet bleiben, dass einige patienteneigene, individuelle Faktoren, die Einfluss auf die Wundheilung nehmen können, nicht in der Studie berücksichtigt wurden. Weder die Mundhygiene noch Vorerkrankungen oder Einfluss von Noxen, wie z.B. Alkohol oder Nikotin, wurden als Kriterien in die Studie aufgenommen. Gerade Nikotinabusus hat einen erheblichen Einfluss auf den Heilungsprozess und demzufolge vermutlich auch auf den Volumenerhalt (Fang & Svoboda, 2005).

### **4.1 Volumenanalyse**

Gerade bei der Volumenmessung und dem Vergleich der Test- und Kontrollgruppe miteinander wurde deutlich, dass aufgrund der niedrigen Studienteilnehmerzahl eine höhere Schwankung entstand. So konnten zwar Tendenzen erkannt werden, die sich jedoch nicht immer medizinisch begründen ließen oder den Erwartungen entsprachen. Durch teilweise unvollständige Teilabdrücke fiel eine genaue Analyse der Kieferkambereiche manchmal schwer und sorgte zum einen für sprunghafte Ergebnisse, zum anderen für nicht signifikante Messungen. Auch waren einige

Messflächen dadurch so gering, dass die Ergebnisse, die daraus entstanden, kritisch hinterfragt werden müssen. So stellte sich bei einigen Messungen die Testgruppe und bei anderen Messungen die Kontrollgruppe als überlegen dar. Auch hatte in Einzelfällen die Pressung der Gingiva zirkulär um die Suprakonstruktion dazu geführt, dass die Volumenmessung höhere positive Werte anzeigte, als es gegebenenfalls im Knochen gewesen wäre.

Aufgrund dieser Problematiken wurde anhand der Screenshots, Röntgenbilder und Intraoralfotos der Ausgangssituation und Nachuntersuchung eine optische Bewertung durchgeführt. Dabei wurden die Fälle auch anhand der persönlichen Erfahrung und Einschätzung bewertet und eingeteilt. So konnten auch Implantate, die aufgrund einzelner unauswertbarer Daten nicht näher analysiert werden konnten, für ein Ergebnis gewonnen werden. Die Signifikanz und Aussagekraft dieser Untersuchung ist allerdings in Bezug auf die Bedeutung der Ergebnisse zu hinterfragen.

Ein letzter Punkt, der gegebenenfalls noch kritisch hinterfragt werden muss, ist die Tatsache, dass sich alle Volumenmessungen auf der Annahme begründen, dass die Gingivadicke der Messbereiche bei allen Abdrücken unverändert blieb und somit die Volumenänderungen direkt auf den Knochen übertragbar sind. Eine genauere Analyse des Knochenvolumens wäre nur mit einem 3D-Röntgenbild möglich gewesen, welches aber durch die erhöhte Strahlenbelastung ethisch schwieriger zu vertreten gewesen wäre.

## **4.2 Statistische Auswertung**

Da sowohl bei dem Zweistichproben-T-Test und danach auch dem Mann-Whitney-U-Test die kritischen Werte für signifikante Aussagen ( $<0,05$ ) überschritten wurden, ist in keiner Untersuchung ein signifikantes Ergebnis darstellbar gewesen. Zudem konnten manche Tests aufgrund einer zu geringen Stückzahl gar kein Ergebnis liefern.

### 4.3 Aussagekraft der Sekundärhypothesen

Im Gegensatz zu natürlichen Zähnen, bei denen es eine klare Definition von physiologischen Taschensondierungstiefen gibt, können bei Implantaten diese exakten Werte nicht eindeutig bestimmt werden. Sind bei natürlichen Zähnen Messwerte von 1mm bis 3mm als unbedenklich anzusehen, beeinflussen bei Implantaten noch weitere Faktoren die vorliegenden TST und können nicht allein als Indikator für entzündliche Prozesse herangezogen werden. Es ist durchaus möglich, dass durch anatomische Besonderheiten, wie z.B. ein tief inseriertes Implantat (Abbildung 44) oder einen dicken gingivalen Biotypen, deutlich erhöhte TST ohne einen pathologischen Prozess vorliegen. Zur Diagnose Periimplantitis oder periimplantäre Mukositis müssen also zusätzliche Entzündungszeichen wie BOP oder Suppuration auf bereits leichtes Sondieren vorliegen, andernfalls ist die reine Orientierung an der TST in Bezug auf eine periimplantäre Entzündung eher schwierig und als nicht aussagekräftig anzusehen (Berglundh et al., 2018).

Jedoch werden TST bei Implantaten ohne anatomische oder bautechnische Besonderheiten von >5mm als problematisch behandelt und in dieser Arbeit auch so bewertet (Berglundh et al., 2018; AAP, 2013).

Eine verlässliche Aussagekraft hat aber im Zweifelsfall immer der Vergleich der Ausgangssituation mit einem erneuten Röntgenbild oder der Abgleich der TST mit Werten, die direkt nach der Implantation und Einheilungsphase erhoben wurden (AAP, 2013). Solche Ausgangsbefunde wurden allerdings nicht zur Untersuchung eingebunden. So ist eine Ausgangsmessung und ein Röntgenbild nach direkter Eingliederung des Zahnersatzes als sinnvoll zu erachten, um für nachfolgende Untersuchungen erhöhte TST besser einordnen zu können. Ein einzeln erhöhter Messwert hat folglich nur bedingt eine pathologische Ursache (Berglundh et al., 2018).

Durch Remodeling-Prozesse kann allein zwischen Implantation und prothetischer Versorgung bis zu 3,5mm marginaler Knochen des Implantates verloren gehen. Der anschließende, marginale Knochenschwund kann mit ca. 0,2mm jährlich beziffert werden (Cochran et al., 2009).

Zusätzlich ergibt die TST bei inserierter Suprakonstruktion nur bei 37% der Messungen den gleichen Wert wie bei einer Messung, bei der die Suprakonstruktion vorher entfernt wurde (Serino et al., 2013).

Die PES- und WES- Werte, die durch den Behandler ermittelt wurden, zeigten keine Auffälligkeiten oder größeren Unterschiede. Das Ergebnis hätte aber durch einen zweiten, unabhängigen Behandler und eine erneute Messung noch validiert werden können.

Beim Fragebogen, den die Patienten selbst auszufüllen hatten, muss hinterfragt werden, inwieweit die Antworten der Teilnehmer unterbewusst beeinflusst wurden. Durch die Aufklärung zur Teilnahme an dieser Studie wurde jeder Patient natürlich auf Unterschiede in der Behandlung hingewiesen und konnte nach der Zahnextraktion durch die Teilnahme an der Behandlung unter Lokalanästhesie auch durch eigene Erfahrung abschätzen, ob ein Knochenaufbau stattgefunden hatte oder nicht. Zumindest aber wie aufwändig der Vorgang der Zahnentfernung gewesen ist, blieb den Patienten während der Behandlung wahrscheinlich nicht verborgen. Dies wäre ein durchaus denkbarer Erklärungsansatz, weshalb gerade bei der Bewertung der eigenen Gingiva die Testgruppe besser abschnitt als die Kontrollgruppe. Als Patient der Kontrollgruppe könnte man gegebenenfalls annehmen, dass man mit einer „schlechteren“ Behandlungsmethode auch „schlechtere“ Heilungsprozesse und Ergebnisse zu erwarten hätte.

Ein anderer verdächtiger Hinweis darauf könnte außerdem sein, dass der empfundene Schmerz, den jeder Patient nach der Zahnextraktion angab, bei der Kontrollgruppe höher war, obwohl der chirurgische Eingriff bei der Testgruppe deutlich größer ausfiel. Die Frage, ob die Psyche der Teilnehmer durch das Wissen, der Kontrollgruppe anzugehören, negativ beeinflusst wurde, und sie dadurch gewisse Aspekte negativer empfinden ließ, wäre ein interessanter Ansatz, der ebenfalls in weiteren Studien untersucht werden könnte.



#### **4.4 Kritische Auseinandersetzung mit den Nebenergebnissen**

Da in Bezug auf kleinere Untergruppen noch Tendenzen festgestellt wurden, soll noch etwas näher auf die Hintergründe eingegangen werden.

Durch die Arbeit mit dem Statistikprogramm Microsoft Power BI (Version 2.99.862.0, Microsoft Corporation) wurde gezielt nach Auffälligkeiten der Ergebnisse im Vergleich mehrerer Untergruppierungen gesucht.

Dabei fiel auf, dass jüngere Patienten der Kontrollgruppe sowohl Gingiva als auch Suprakonstruktion schlechter bewerteten als ältere Patienten derselben Gruppe. Folglich macht es den Anschein, dass jüngere Patienten die Arbeit des Behandlers kritischer hinterfragten. Diese Tendenzen konnten allerdings in der Testgruppe nicht bestätigt werden. Auch in der Bewertung des PES und WES konnten keine größeren Unterschiede ausgemacht werden. Vermutlich ist das Alter auch nur ein Mosaikstein. Daneben spielen sicher auch der sozio-ökonomische Status sowie eine Vielzahl individueller Faktoren eine gewichtige Rolle. Für eine bessere Aussagekraft und Validität könnte man also das Problem mit einer höheren Teilnehmerzahl minimieren.

Ähnlich verhält es sich auch mit der Erkenntnis, dass Frauen und Männer ab dem 68. Lebensjahr tendenziell gegenteilige Abstimmungsergebnisse im Fragebogen abgaben. So schien es, als ob Männer dieser Altersgruppe mit ihrer Gingiva und der Suprakonstruktion deutlich zufriedener waren als weibliche Patienten der gleichen Altersgruppe. Die Beurteilung des PES und WES konnten diese Vermutung bestätigen, da sie gegensätzlich zur eigenen Bewertung ausfielen.

Im Vergleich der Ergebnisse bezugnehmend auf den zurückliegenden Implantationszeitpunkt, konnte keine Tendenz erkannt werden. PES, WES sowie die Patientenbewertungen waren nie eindeutig mit Implantatverweildauer im Mund rückläufig. Auch das scheint jedoch aufgrund der geringen Teilnehmerzahl eine eher unzuverlässige Aussage zu sein.

## 5 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war es, durch Nachuntersuchung von Patienten, die nach erfolgter ARP oder spontaner Abheilung ein Implantat erhielten, einen Unterschied beider Techniken zu eruieren. Dabei sollte geprüft werden, inwieweit sich anfänglich gemessene Volumina im Lauf der Jahre unterschieden.

Zu diesem Zweck wurden 30 Implantate von 23 Patienten aufgeteilt in eine Test- (ARP) und eine Kontrollgruppe (spontane Ausheilung), nachuntersucht und volumetrisch vermessen.

Es zeigte sich, dass keine Gruppe der anderen im Knochenerhalt zur Ausgangssituation überlegen war. Einzelne positive oder negative Ergebnisse konnten nie ausschließlich der Test- oder Kontrollgruppe zugeschrieben werden. Einzig beim bukkalen Volumen schnitt die Testgruppe durchweg, wenn auch nur minimal, besser ab als die Kontrollgruppe.

Nach optischer Begutachtung und subjektiver Einschätzung aller vorhandenen Daten konnte die Testgruppe ebenfalls minimal bessere Ergebnisse erzielen. Somit scheint es zwar nur einen geringen, aber messbaren Vorteil einer ARP gegenüber einer spontanen Ausheilung - auch nach mehreren Jahren - zu geben. Inwieweit die geringe Teilnehmerzahl der Studie oder Messungenauigkeiten aufgrund sehr kleiner Nachuntersuchungsbereiche allerdings diese Aussagen verifizieren können, muss skeptisch hinterfragt werden.

Nach Analyse der zusätzlich erhobenen Daten, wie dem PES, WES oder des Fragebogens, konnten im Vergleich der Gruppen keine Unterschiede festgestellt werden. Erst nach weiterer Unterteilung in Geschlecht, Alter oder Implantationszeitpunkt wurden geringe Unterschiede erkennbar. So scheinen junge bzw. weibliche Patienten kritischer gegenüber ihrer Gingiva und der Suprakonstruktion zu sein als ältere bzw. männliche Patienten, da bei besagten Personengruppen im Vergleich kein Unterschied zum PES, bzw. WES festgestellt werden konnte.

Auch nahmen die PES- und WES-Werte mit zurückliegender Implantation ab. Die Unterschiede waren allerdings in allen Gruppen sehr gering. Scheinbar unterliegen aber vor allem Gingiva und Suprakonstruktion im Laufe der Jahre einem Wandel, der nach

mehreren Jahren noch nicht abgeschlossen zu sein scheint. Allerdings konnten nicht alle Ergebnisse dieser Vermutung zugeordnet werden.

Bei der TST schnitten beide Gruppen, gerade wenn man die Messtoleranz berücksichtigt, sehr ähnlich ab. Bei der Testgruppe wurden durchschnittlich 2,67mm und bei der Kontrollgruppe 3,49mm gemessen. Die Blutung auf Sondierung lag insgesamt bei 20 - 25% aller Messungen vor.

In keiner Gruppe konnten Zeichen von Periimplantitis gefunden werden. Erhöhte TST konnten mit tief gesetzten Implantaten erklärt werden. Außerdem waren alle Implantate der Test- als auch der Kontrollgruppe noch intakt und in situ.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es sinnvoll erscheint, weiterführende Untersuchungen zur Langzeit-Volumenstabilität von allogenem Knochenersatzmaterial in der Zahnmedizin voranzubringen, da großes Potential in dieser Art der Wundversorgung zu stecken scheint.

## 6 Literaturverzeichnis

- The American Academy of Periodontology (2013). Peri-implant mucositis and peri-implantitis:: a current understanding of their diagnoses and clinical implications. *Journal of periodontology*, 84(4), 436–443. <https://doi.org/10.1902/jop.2013.134001>
- Amler, M. H. (1993). Age factor in human alveolar bone repair. *The Journal of oral implantology*, 19(2), 138–142.
- Araújo, M. G [Mauricio G.] & Lindhe, J [Jan] (2005). Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *Journal of clinical periodontology*, 32(2), 212–218. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2005.00642.x>
- Aspenberg, P., Kålebo, P. & Albrektsson, T. (1988). Rapid bone healing delayed by bone matrix implantation. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 3(2).
- Bavetta, G. & Licata, M. E. (2012). The use of human allogenic graft (HBA) for maxillary bone regeneration: review of literature and case reports. *Current pharmaceutical design*, 18(34), 5559–5568. <https://doi.org/10.2174/138161212803307572>
- Becker, W., Becker, B. E. & Caffesse, R. (1994). A comparison of demineralized freeze-dried bone and autologous bone to induce bone formation in human extraction sockets. *Journal of periodontology*, 65(12), 1128–1133. <https://doi.org/10.1902/jop.1994.65.12.1128>
- Belser, U. C., Grütter, L., Vailati, F., Bornstein, M. M., Weber, H.-P. & Buser, D. (2009). Outcome Evaluation of Early Placed Maxillary Anterior Single-Tooth Implants Using Objective Esthetic Criteria: A Cross-Sectional, Retrospective Study in 45 Patients With a 2- to 4-Year Follow-Up Using Pink and White Esthetic Scores. *Journal of Periodontology*, 80(1), 140–151. <https://doi.org/10.1902/jop.2009.080435>

- Berglundh, T., Armitage, G., Araujo, M. G., Avila-Ortiz, G., Blanco, J., Camargo, P. M., Chen, S., Cochran, D., Derks, J., Figuero, E., Hämmerle, C. H. F., Heitz-Mayfield, L. J. A., Huynh-Ba, G., Iacono, V., Koo, K.-T., Lambert, F., McCauley, L., Quirynen, M., Renvert, S., . . . Zitzmann, N. (2018). Peri-implant diseases and conditions: Consensus report of workgroup 4 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of clinical periodontology*, *45 Suppl 20*, S286-S291. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12957>
- Brownfield, L. A. & Weltman, R. L. (2012). Ridge preservation with or without an osteoinductive allograft: a clinical, radiographic, micro-computed tomography, and histologic study evaluating dimensional changes and new bone formation of the alveolar ridge. *Journal of periodontology*, *83(5)*, 581–589. <https://doi.org/10.1902/jop.2011.110365>
- Cardaropoli, G., Araújo, M [M.] & Lindhe, J [J.] (2003). Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites. An experimental study in dogs. *Journal of clinical periodontology*, *30(9)*, 809–818. <https://doi.org/10.1034/j.1600-051x.2003.00366.x>
- Chen, S. T. & Darby, I. (2017). The relationship between facial bone wall defects and dimensional alterations of the ridge following flapless tooth extraction in the anterior maxilla. *Clinical oral implants research*, *28(8)*, 931–937. <https://doi.org/10.1111/clr.12899>
- Cochran, D. L., Nummikoski, P. V., Schoolfield, J. D., Jones, A. A. & Oates, T. W. (2009). A prospective multicenter 5-year radiographic evaluation of crestal bone levels over time in 596 dental implants placed in 192 patients. *Journal of periodontology*, *80(5)*, 725–733. <https://doi.org/10.1902/jop.2009.080401>
- Devlin, H., Garland, H. & Sloan, P. (1996). Healing of tooth extraction sockets in experimental diabetes mellitus. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, *54(9)*, 1087–1091. [https://doi.org/10.1016/s0278-2391\(96\)90166-4](https://doi.org/10.1016/s0278-2391(96)90166-4)
- DGZMK. (2011). *Implantologische Indikationen für die Anwendung von Knochenersatzmaterialien S2k.: DGI, DGZMK: „Knochenersatzmaterialien zur*

Verwendung bei Kieferkammdefiziten und -defekten“, Langversion 2020, AWMF-Registriernummer: 083-009, <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/083-009.html>, (Zugriff am: 28.02.2021).

- Fang, Y. & Svoboda, K. K. H. (2005). Nicotine inhibits human gingival fibroblast migration via modulation of Rac signalling pathways. *Journal of clinical periodontology*, 32(12), 1200–1207. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2005.00845.x>
- Fickl, S., Fischer, K., Petersen, N., Happe, A., Schlee, M., Schlagenhaut, U. & Kebschull, M. (2017). Dimensional Evaluation of Different Ridge Preservation Techniques: A Randomized Clinical Study. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*, 37(3), 403–410. <https://doi.org/10.11607/prd.2629>
- Fickl, S., Zuhr, O., Wachtel, H., Bolz, W. & Huerzeler, M. (2008). Tissue alterations after tooth extraction with and without surgical trauma: a volumetric study in the beagle dog. *Journal of clinical periodontology*, 35(4), 356–363. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051X.2008.01209.x>
- Fretwurst, T., Spanou, A., Nelson, K., Wein, M., Steinberg, T. & Stricker, A. (2014). Comparison of four different allogeneic bone grafts for alveolar ridge reconstruction: a preliminary histologic and biochemical analysis. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*, 118(4), 424–431. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2014.05.020>
- Froum, S., Cho, S.-C., Rosenberg, E., Rohrer, M. & Tarnow, D. (2002). Histological comparison of healing extraction sockets implanted with bioactive glass or demineralized freeze-dried bone allograft: a pilot study. *Journal of periodontology*, 73(1), 94–102. <https://doi.org/10.1902/jop.2002.73.1.94>
- Fürhauser, R., Florescu, D., Benesch, T., Haas, R., Mailath, G. & Watzek, G. (2005). Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score. *Clinical oral implants research*, 16(6), 639–644. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2005.01193.x>

- Glockmann, Panzner, Huhn, Sigusch, Glockmann. (2011). *Ursachen des Zahnverlustes in Deutschland: Dokumentation einer bundesweiten Erhebung 2007, Informationsdienst des Instituts der deutschen Zahnärzte.*
- Grünberg, Kaiser, Bauer (2017). Knochenregeneration mit Knochenersatzmaterialien: Ein praktischer Überblick. *Bayerisches Zahnärzteblatt, 54. Jahrgang*(April), S.58–63.
- Herrera, J. M. & Zöller, J. E. (2001). Alveolarfortsatzresorption nach Zahnentfernung mit zwei unterschiedlichen Extraktionsmethoden - Eine vergleichende Studie. *Quintessenz Zahnmedizin, 52*(9), 0.
- Houston, J. P., McCollum, J., Pietz, D. & Schneck, D. (2002). Alveolar osteitis: a review of its etiology, prevention, and treatment modalities. *General dentistry, 50*(5), 457-63; quiz 464-5.
- Iizuka, T., Miller, S. C. & Marks, S. C., JR (1992). Alveolar bone remodeling after tooth extraction in normal and osteopetrotic (ia) rats. *Journal of oral pathology & medicine : official publication of the International Association of Oral Pathologists and the American Academy of Oral Pathology, 21*(4), 150–155. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0714.1992.tb00092.x>
- Januário, A. L., Duarte, W. R., Barriviera, M., Mesti, J. C., Araújo, M. G [Mauricio Guimarães] & Lindhe, J [Jan] (2011). Dimension of the facial bone wall in the anterior maxilla: a cone-beam computed tomography study. *Clinical oral implants research*(10), 1168–1171. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2010.02086.x>
- Johannes Hain. *Verteilungsanalyse: Lehrstuhl für Mathematik VIII – Statistik.* Vorlesung, Universität Würzburg.
- Jung, R. E., Philipp, A., Annen, B. M., Signorelli, L., Thoma, D. S., Hämmerle, C. H. F., Attin, T. & Schmidlin, P. (2013). Radiographic evaluation of different techniques for ridge preservation after tooth extraction: a randomized controlled clinical trial. *Journal of clinical periodontology, 40*(1), 90–98. <https://doi.org/10.1111/jcpe.12027>
- MacBeth, N., Trullenque-Eriksson, A., Donos, N. & Mardas, N. (2017). Hard and soft tissue changes following alveolar ridge preservation: a systematic review. *Clinical oral implants research, 28*(8), 982–1004. <https://doi.org/10.1111/clr.12911>

- Methodenberatung, U. Z. (2021, 18. Januar). *Methodenberatung der Universität Zürich, Datenanalyse Statistik: Datenanalyse*.  
[https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse\\_spss/unterschiede/zentral.html](https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/unterschiede/zentral.html)
- Mollen, I., Filippi, A. & Kühl, S. (2014). Socket preservation following tooth extraction: Advantages and disadvantages. *Implantologie*, 22, 299–306.
- Müller, C. K., Fröbisch, S., Chen, J. & Schultze-Mosgau, S. (2011). Evaluation of the influence of preoperative factors on soft tissue consolidation around single tooth implants in the esthetic zone - A pilot study. *Zeitschrift für Zahnärztliche Implantologie*, 133–143. <https://doi.org/10.3238/ZZI.2011.0133>
- Nevins, M., Camelo, M., Paoli, S. de, Friedland, B., Schenk, R. K., Parma-Benfenati, S., Simion, M., Tinti, C. & Wagenberg, B. (2006). A study of the fate of the buccal wall of extraction sockets of teeth with prominent roots. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*, 26(1), 19–29.
- Nkenke, E. & Neukam, F. W. (2014). Autogenous bone harvesting and grafting in advanced jaw resorption: morbidity, resorption and implant survival. *European journal of oral implantology*, 7 Suppl 2, S203-17.
- Peck, M. T. (2015). Alveolar Ridge Augmentation using the Allograft Bone Shell Technique. *The journal of contemporary dental practice*, 16(9), 768–773. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-1755>
- Schoepf, C. (2008). *The Tutoplast® Process: A Review of Efficacy*.
- Schropp et al. (2003). Bone Healing and Soft Tissue Contour Changes Following Single-Tooth Extraction: A Clinical and Radiographic 12-Month Prospective Study. *The International journal of periodontics & restorative dentistry*, 313–323.
- Serino, G., Turri, A. & Lang, N. P. (2013). Probing at implants with peri-implantitis and its relation to clinical peri-implant bone loss. *Clinical oral implants research*, 24(1), 91–95. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02470.x>
- Solakoglu, Ö., Götz, W., Heydecke, G. & Schwarzenbach, H. (2019). Histological and immunohistochemical comparison of two different allogeneic bone grafting materials for alveolar ridge reconstruction: A prospective randomized trial in



humans. *Clinical implant dentistry and related research*, 21(5), 1002–1016.  
<https://doi.org/10.1111/cid.12824>

Thalmair, T., Fickl, S., Schneider, D., Hinze, M. & Wachtel, H. (2013). Dimensional alterations of extraction sites after different alveolar ridge preservation techniques - a volumetric study. *Journal of clinical periodontology*, 40(7), 721–727.  
<https://doi.org/10.1111/jcpe.12111>

Tutogen Medical GmbH. (2013). *Daten und Fakten 2013*. Neunkirchen am Brand, Deutschland.

Younger, E. M. & Chapman, M. W. (1989). Morbidity at bone graft donor sites. *Journal of orthopaedic trauma*, 3(3), 192–195. <https://doi.org/10.1097/00005131-198909000-00002>

Zimmer Dental. (2006). *Puros Allografts: Filling nature`s void*.

## Appendix

### I. Abkürzungsverzeichnis

ARP	Alveolar-Ridge-Preservation-Technik
BOP	Bleeding on Probing (Blutung bei Sondierung)
k	Kontrollgruppe
KEM	Knochenersatzmaterial
M	Median
PES	pink-esthetic-score
t	Testgruppe
TST	Taschensondierungstiefen
WES	white-esthetic-score
ZE	Zahnersatz
Ø	Durchschnitt

## II. Patienteninformationen und Fragebogen

Zahnklinik Würzburg, den 05.01.2018

Sehr geehrter Herr xy,

vor einiger Zeit wurden Sie in der Abteilung für Parodontologie der Universität Würzburg im Rahmen einer Implantatstudie behandelt.

Um unseren Patienten auch in Zukunft eine optimale Versorgung gewährleisten zu können, würden wir uns sehr freuen, wenn wir die aktuelle Situation bei Ihnen nachuntersuchen könnten.

Hierfür werde ich (Maximilian Popp) mich in den kommenden Tagen mit Ihnen in Verbindung setzen.

Die Untersuchung umfasst einen weiteren kleinen Abdruck wie Sie ihn von vor Beginn der Studie kennen, die Messung der Taschentiefen um das Implantat, ein Kontrollbild und einige Fragen zu Ihrer Zufriedenheit. Insgesamt dauert die Nachkontrolle nur ca. 15 Minuten.

Selbstverständlich können Sie sich auch bei mir melden, falls sie Fragen haben oder wegen der Terminvereinbarung. Ich stehe Ihnen unter der Rufnummer: 0175/6642238 zur Verfügung. Falls Sie mich telefonisch einmal nicht erreichen können, rufe ich Sie baldmöglichst zurück.

Diesbezüglich können Sie mir gerne auch eine E-Mail an [popp.wuerzburg@gmail.com](mailto:popp.wuerzburg@gmail.com) schreiben.

Vorab herzlichen Dank für Ihre Mitarbeit!

Viele Grüße,

Maximilian Popp

**Abbildung 54:** Brief an die Patienten mit Bitte um Terminvereinbarung (eigene Abbildung)

**Patienteninformation  
Zum Studienvorhaben:  
Quantitative Dimensionsveränderung des Kieferkamms nach Socket-  
Preservation und Implantation**

Studienleiter:  
Dr. Frederic Kauffmann  
Abteilung für Parodontologie in der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie  
Pleicherwall 2  
97070 Würzburg  
Tel. +49 - 931-20174708

Sehr geehrter Patient,

vor einiger Zeit wurde bei Ihnen ein Zahn durch ein Implantat ersetzt. Damals wurde hierfür bei Ihnen nach der Zahnentfernung die Extraktionsalveole (Knochenfach) entweder mit einem Knochenersatzmaterial aufgefüllt oder nicht weiter behandelt.

Im Rahmen dieser Studie möchten wir dieses Vorgehen nachuntersuchen um sicherzustellen, dass in Zukunft das richtige und für den Patienten schonendste Verfahren gewählt wird welches den längsten Langzeiterfolg bietet.

Der Ablauf der Studie umfasst die Erhebung der Taschensondierungstiefen als auch eine Abformung (Teil-Abdruck) des Bereichs um das Implantat wie sie es von vergangenen Behandlungen bereits kennen, als auch die visuelle Kontrolle des Implantats und der umliegenden Weichgewebe. Abschließend würden wir Sie bitte noch einige Fragen zu beantworten. Der zeitliche Aufwand für die Untersuchung beträgt ca. 15 Minuten.

Im Rahmen dieser Untersuchung treten keine Risiken auf, da die Messungen einer zahnärztlichen Routineuntersuchung entsprechen und rein optisch und mithilfe einer stumpfen Messsonde (Parodontalsonde) erfolgen.

Wir danken Ihnen für Ihre Bereitschaft, eine Teilnahme an dieser Studie zu erwägen. Sie leisten damit einen wichtigen Beitrag zur weiterführenden Erschließung der bestmöglichen Therapieform. Die Teilnahme erfolgt selbstverständlich freiwillig. Bei einer Ablehnung der Teilnahme entstehen für Sie hierdurch keinerlei Nachteile und weitere oder laufende Behandlungen in der Abteilung für Parodontologie bleiben davon unberührt. Ebenso können Sie Ihre Mitarbeit an der Untersuchung jederzeit ohne Angabe von Gründen beenden.

Bei dieser Studie werden die Vorschriften über die ärztliche Schweigepflicht und dem Datenschutz eingehalten. Es werden persönliche Daten und Befunde über Sie erhoben, gespeichert und nur in verschlüsselter (pseudonymisierter) Form, d.h. weder Ihr Name noch Ihre Initialen oder das exakte Geburtsdatum erscheinen im Verschlüsselungscode (für die Studie erstellter Buchstaben- und Zahlencode). Der Zugang zu den Originaldaten und zum Verschlüsselungscode ist auf folgende Personen beschränkt: Dr. Frederic Kauffmann, Prof. Dr. Stefan Fickl, Prof. Dr. Ulrich Schlagenhauf. Die Unterlagen werden für einen Zeitraum von 10 Jahren in der Abteilung für Parodontologie an der Universität Würzburg aufbewahrt.

Im Falle der Veröffentlichung der Studienergebnisse bleibt die Vertraulichkeit Ihrer persönlichen Daten ebenfalls gewährleistet, da, wenn überhaupt, die Daten einzelner Studienteilnehmer nur in strikt anonymisierter Form verwendet werden.

Im Fall eines Widerrufs der Studienteilnahme werden die von Ihnen gewonnenen Daten vernichtet. Eine alternative Weiterverwendung ist nur mit Ihrer ausdrücklichen Zustimmung möglich.

Im Voraus vielen Dank für Ihre Mithilfe!

**Abbildung 55:** Patienteninformation zum Studienvorhaben (eigene Abbildung)

**Einwilligungserklärung zur Teilnahme am Studienvorhaben  
„Quantitative Dimensionsveränderung des Kieferkamms nach  
Socket-Preservation und Implantation“**

Studienleiter:  
Dr. Frederic Kauffmann  
Abteilung für Parodontologie in der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie  
Pleicherwall 2  
97070 Würzburg  
Tel. +49 - 931-20174708

<b>Name:</b>		<b>Geburtsdatum:</b>	
<b>Anschrift:</b>		<b>Name des aufklärenden Untersuchers:</b>	
<b>Patienten ID</b>			
<b>Implantatposition</b>			

Ich wurde mündlich über die Vorgehensweise informiert und ich habe die schriftliche Information über die Studie und meine bevorstehende Untersuchung zur Kenntnis genommen. Außerdem hatte ich die Möglichkeit, zu der Studie und zu meiner Behandlung Fragen zu stellen. Ich stimme zu, an der Studie mitzuwirken, und meine Teilnahme erfolgt absolut freiwillig. Mir ist bekannt, dass ich jederzeit meine Teilnahme an der Studie ohne Angabe von Gründen widerrufen kann und dass in einem solchen Fall keine Nachteile für mich entstehen. In diesem Fall werden die erhobenen Daten vollständig gelöscht. Darüber hinaus erfolgt keine Auswertung oder Weitergabe meiner persönlichen Daten an Dritte. Ich bin darüber hinaus einverstanden, dass Veröffentlichungen der Studienergebnisse ohne Angabe meiner persönlichen Daten erfolgen. Alle datenschutzrechtlichen Bestimmungen werden streng eingehalten.

Datum: ..... (Patient)

Datum: ..... (aufklärender Behandler)

**Abbildung 56:** Einverständniserklärung vor der Nachuntersuchung (eigene Abbildung)

**Datenerhebung zum Studienvorhaben „Quantitative  
Dimensionsveränderung des Kieferkamms nach Socket-  
Preservation und Implantation“**

Patientennummer:

Datum:

Implantatposition:

Pink esthetic score PES (0-14 Punkte):

White esthetic score WES (0-10 Punkte):

Intraorales Bild gemacht: ja / nein

mb	meb	db	do	meo	mo	mb	meb	db	do	meo	mo
BOP	BOP	BOP	BOP	BOP	BOP	BOP	BOP	BOP	BOP	BOP	BOP

Röntgenbild: ja / nein

Abdruck: ja / nein

Dem Patienten werden folgende Fragen gestellt:

1. „Auf einer Skala zwischen 1 und 10 (10 stellt den besten Wert dar) wie würden Sie die Ästhetik Ihres Zahnfleisches um Ihr Implantat/Brückenglied einschätzen
2. „Auf einer Skala zwischen 1 und 10 (10 stellt den besten Wert dar) wie bewerten Sie die Ästhetik des Zahnersatzes?“
3. „Auf einer Skala zwischen 1 und 10 (10 stellt den größten Schmerz dar) wie würden Sie die Schmerzen nach der Zahnentfernung beschreiben?“

Frage	Score
1	
2	
3	

**Abbildung 57:** Fragebogen zur Nachuntersuchung; Bewertet wurde PES, WES, TST, BOP, sowie 3 Fragen an die Patienten (eigene Abbildung).

### III. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Häufigkeit verschiedener Gründe der durchgeführten Zahnextraktionen (eigene Abbildung) 5
- Abbildung 2: oben: klinische Situation regio 21 mit eingezeichneten Hilfslinien zur Beurteilung des „pink-esthetic-score“ (Müller et al., 2011) (eigene Abbildung) 8
- Abbildung 3: Bewertungskriterien mit zugehörigen Punktwerten des „white-esthetic-score“ (Belser et al., 2009) (eigene Abbildung) 9
- Abbildung 4: Intraorale Fotos, Ansicht von okklusal (links) und von bukkal (rechts); (eigene Abbildungen) 10
- Abbildung 5: Der durchschnittliche Abstand des Follow-up-Modells zum Baseline-Modell nach Überlagerung; hier beträgt der Wert 0,07mm (eigene Abbildung). 13
- Abbildung 6: Hier ist der Zahn 24 durch ein Implantat ersetzt worden. Man erkennt in grün die ausgewählten Zahnregionen, die herangezogen wurden, um das Baseline-Modell mit dem Follow-up-Modell möglichst genau zu überlagern (eigene Abbildung). 13
- Abbildung 7: Implantat regio 24 mit Suprakonstruktion. Der in rot ausgewählte Bereich geht jeweils entlang der Zahnhartsubstanz und bis zur Mitte der Nachbarzähne. Hier beträgt die ausgewählte Fläche 121,01mm<sup>2</sup> (eigene Abbildung). 14
- Abbildung 8: Analyse der Volumendifferenz durch farbliche Kennzeichnung und gleichzeitiger Reduktion der Transparenz des Baseline-Modells. Ein Volumendefekt des bukkalen Gewebes ist sichtbar durch blau eingefärbte Bereiche des bukkalen Kieferkamms (eigene Abbildung). 14
- Abbildung 9: Maximaler Wert des bukkalen Gewebeschwundes durch einen Cursor dargestellt und separat gemessen (eigene Abbildung). 15

## Appendix

- Abbildung 10: Klinische Situation zum Vergleich der Scandatensätze (Abbildung 8, Abbildung 9); (eigene Abbildung) 15
- Abbildung 11: Analyse der Volumendifferenz durch farbliche Kennzeichnung und gleichzeitige Reduktion der Transparenz des Baseline-Modells. Hier ist kein Volumendefekt des bukkalen Knochens erkennbar. Rot dargestellt ist sogar eine leichte Zunahme des Gewebes erkennbar (eigene Abbildung). 16
- Abbildung 12: Maximaler Wert der Zunahme des bukkalen Gewebes durch einen Cursor dargestellt und separat gemessen (eigene Abbildung). 16
- Abbildung 13: Klinische Situation zum Vergleich der Scandatensätze (Abbildung 11, Abbildung 12), (eigene Abbildung) 16
- Abbildung 14: Schematische Darstellung der Methoden (eigene Abbildung) 17
- Abbildung 15: Vergleich von Test- und Kontrollgruppe zum Thema Implantat in situ 19
- Abbildung 16: Untersuchte Kieferkammfläche oral; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe 21
- Abbildung 17: Untersuchte Kieferkammfläche vestibulär; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe 21
- Abbildung 18: Untersuchte Kieferkammfläche gesamt; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe 21
- Abbildung 19: Volumenänderung oral; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe; 23
- Abbildung 20: Volumenänderung vestibulär; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe;  $\bar{t}=+4,0\text{mm}^3$ ;  $\bar{k}=+3,7\text{mm}^3$  ( $p=0,49$ ) 23
- Abbildung 21: Volumenänderung gesamt; aufgeteilt in Test- und Kontrollgruppe; 24
- Abbildung 22: Volumenänderung oral; Implantate in situ in den ersten 18 Monaten; 25



## Appendix

- Abbildung 23: Volumenänderung oral; Implantate in situ zwischen 19 – 36 Monate;  
25
- Abbildung 24: Volumenänderung oral; Implantate in situ zwischen 37 – 56 Monate;  
26
- Abbildung 25: Volumenänderung vestibulär; Implantate in situ in den ersten 18  
Monaten; 26
- Abbildung 26: Volumenänderung vestibulär; Implantate in situ zwischen 19 – 36  
Monate; 27
- Abbildung 27: Volumenänderung vestibulär; Implantate in situ zwischen 37 – 56  
Monate; 27
- Abbildung 28: Volumenänderung gesamt; Implantate in situ in den ersten 18 Monaten;  
28
- Abbildung 29: Volumenänderung gesamt; Implantate in situ zwischen 19 – 36 Monate;  
28
- Abbildung 30: Volumenänderung gesamt; Implantate in situ zwischen 37 – 56 Monate;  
29
- Abbildung 31: Die optische Begutachtung des oralen Schleimhautareals ergab bei der  
Testgruppe in 5,9% der Fälle einen optisch erkennbaren  
Volumenschwund, wohingegen in der Kontrollgruppe 27,3% der Fälle  
einen Volumenverlust zeigten. 30
- Abbildung 32: Die optische Begutachtung des vestibulären Schleimhautareals ergab  
bei der Testgruppe in 6,3% der Fälle einen optisch erkennbaren  
Volumenschwund, wohingegen in der Kontrollgruppe 62,5% der Fälle  
einen Volumenverlust zeigten. 31
- Abbildung 33: In der Testgruppe lag der durchschnittlich erreichte Wert bei 12,3, in  
der Kontrollgruppe bei 12,6 von 14 möglichen Punkten. 32
- Abbildung 34: In der Testgruppe lag der durchschnittlich erreichte Wert bei 9,7, in der  
Kontrollgruppe bei 9,8 von 10 möglichen Punkten. 33

Abbildung 35: Links: Implantat regio 35 mit umliegender Gingiva, die mit Punktabzug durch 34

Abbildung 36: Alle Patienten der Testgruppe vergaben in Bezug auf die Ästhetik ihrer Gingiva die Höchstpunktzahl. Bei den Patienten der Kontrollgruppe war 7 die niedrigste Bewertung. 34

Abbildung 37: Klinische Situation einer Suprakonstruktion regio 36, die mit 6 Punkten bewertet wurde. Der mesiale Kontaktpunkt wurde als zu schwach und der Interdentalraum als zu groß empfunden. 35

Abbildung 38: Klinische Situation einer Suprakonstruktion regio 24, die mit voller Punktzahl bewertet wurde. 35

Abbildung 39: In der Testgruppe lag der Durchschnitt aller Patienten bei 9,9 von 10 möglichen Punkten. Die Patienten der Kontrollgruppe bewerteten die Suprakonstruktion mit durchschnittlich 9,3 Punkten. 36

Abbildung 40: In der Testgruppe lag der Durchschnitt aller Patienten bei 1,3 Punkten. Die Patienten der Kontrollgruppe bewerteten den selbst empfundenen Schmerz nach dem chirurgischen Eingriff mit durchschnittlich 2,8 Punkten. 37

Abbildung 41: Durchschnittlich lag die TST der Testgruppe bei 2,67mm. Die Kontrollgruppe erreichte durchschnittlich einen Wert von 3,49mm. 38

Abbildung 42: BOP konnte bei 20,59% aller Sondierungen der Testgruppe und bei 25,64% aller Messungen der Kontrollgruppe festgestellt werden. 39

Abbildung 43: Tortendiagramm zur Darstellung aller TST im Vergleich der Testgruppe (links) mit der Kontrollgruppe (rechts). In der Testgruppe waren 93,13% aller Messungen 4mm oder geringer. In der Kontrollgruppe blieben 83,26% aller Messungen unter 5mm TST. 39

Abbildung 44: Ausgangsröntgenbild des Implantates regio 21; deutlich sichtbare verlängerte Suprakonstruktion aufgrund eines tief gesetzten Implantates. TST von bis zu 11mm ohne erkennbare Zeichen einer Periimplantitis nach klinischer Untersuchung (eigene Abbildung)  
40

Abbildung 45: Alle Implantate der Patienten zwischen dem 25. und 50. Lebensjahr (n=7) verglichen zwischen Test- und Kontrollgruppe. Die Patienten der Kontrollgruppe bewerteten ihre Gingiva mit 8,25 Punkten und die Suprakonstruktion mit 8,75 Punkten, während alle Patienten der Testgruppe die volle Punktzahl vergaben. 41

Abbildung 46: Die Implantate der Patienten zwischen dem 51. und 80. Lebensjahr (n=23) bewerteten ihre Gingiva (t=10; k=9) und ihre Suprakonstruktion (t=9,93; k=9,56) deutlich ähnlicher als die jüngeren Patienten. 42

Abbildung 47: Männliche Patienten ab dem 68. Lebensjahr (n=5 Implantate) erreichen einen durchschnittlichen PES von 11 Punkten, während altersgleiche, weiblichen Patienten (n=2 Implantate) mit 14 Punkten den Höchstwert des PES erreichen. Trotzdem erzielen die männlichen Patienten ein besseres durchschnittliches Ergebnis als die weiblichen Patienten.  
43

Abbildung 48: Alle Patienten der Kontrollgruppe, bei denen der Implantationszeitpunkt mindestens 40 Monate zurücklag (n=3); der PES fällt mit 90,5% der Maximalpunktzahl besser aus als die selbstempfundene Ästhetik der Gingiva (80% der Maximalpunktzahl).  
44

Abbildung 49: Alle Patienten der Kontrollgruppe, bei denen der Implantationszeitpunkt zwischen fünf und 20 Monaten zurücklag (n=4); der PES (96,4% der Maximalpunktzahl) und die Ästhetik der Gingiva (95% der Maximalpunktzahl) fallen sehr ähnlich aus. 44

## Appendix

- Abbildung 50: Implantat in situ 5 - 12 Monate (n=6); in % dargestellt sind die durchschnittlichen Bewertungen in Bezug auf die maximal erreichbare Punktzahl. 45
- Abbildung 51: Implantat in situ 13 - 24 Monate (n=13); in % dargestellt sind die durchschnittlichen Bewertungen in Bezug auf die maximal erreichbare Punktzahl. 45
- Abbildung 52: Implantat in situ 25 - 36 Monate (n=4); in % dargestellt sind die durchschnittlichen Bewertungen in Bezug auf die maximal erreichbare Punktzahl. 46
- Abbildung 53: Implantat in situ 37 - 58 Monate (n=7); in % dargestellt sind die durchschnittlichen Bewertungen in Bezug auf die maximal erreichbare Punktzahl. 46
- Abbildung 54: Brief an die Patienten mit Bitte um Terminvereinbarung (eigene Abbildung) 62
- Abbildung 55: Patienteninformation zum Studienvorhaben (eigene Abbildung) 63
- Abbildung 56: Einverständniserklärung vor der Nachuntersuchung (eigene Abbildung) 64
- Abbildung 57: Fragebogen zur Nachuntersuchung; Bewertet wurde PES, WES, TST, BOP, sowie 3 Fragen an die Patienten (eigene Abbildung). 65

#### IV. Herstellerverzeichnis

Abformung	Abformsilikon Aquasil Ultra light und heavy Smart Wetting Impression Material Dentsply Sirona Deutschland GmbH 64625 Bensheim, Deutschland
	Duomix II Anmischgerät Dentsply Sirona Deutschland GmbH 64625 Bensheim, Deutschland
	Miratray® Mini Abdrucklöffel Hager & Werken GmbH & Co. KG 47269 Duisburg, Deutschland
	Handanmischgerät Dispenser Coltène/Whaledent GmbH + Co. KG 89129 Langenau, Germany
Dentale Einheit	Sirona C4+ Modellnummer D3412 Seriennummer 3001 Sirona Dental Systems GmbH 64625 Bensheim, Deutschland

## Appendix

### Laborscanner

inEOS X5  
Modellnummer D3586  
Seriennummer 5122  
REF 6324649  
Sirona Dental Systems GmbH  
64625 Bensheim,  
Deutschland

### Modellherstellung

Gipstrimmer HSS 99  
Wassermann Dental-Maschinen GmbH  
21031 Hamburg,  
Deutschland

Pinbohrgerät PINDEX®  
Coltène/Whaledent GmbH + Co. KG  
89129 Langenau,  
Germany

Rüttler D-R 644  
Harnisch und Rieth GmbH & Co.KG  
73650 Winterbach,  
Deutschland

Vakuum Anmischgerät  
Wamix Classic  
Wassermann Dental-Maschinen GmbH  
21031 Hamburg, Deutschland

## Appendix

VarioStar Superhartgips  
Klasse 4 Dental GmbH  
86159 Augsburg,  
Deutschland

Parodontalsonde

PCP 12  
Hu-Friedy Mfg. Co., LLC.  
60528 Frankfurt am Main,  
Deutschland

Software

CEREC Premium (SW 4.5)  
Dentsply Sirona Deutschland GmbH  
64625 Bensheim,  
Deutschland

Citavi (Version 6)  
Swiss Academic Software GmbH  
8820 Wädenswil,  
Schweiz

Microsoft Excel und Word  
(Office 365 Apps)  
Microsoft Corporation  
Redmond, WA 98052-6399,  
USA

Microsoft Power BI  
(Version 2.99.862.0)  
Microsoft Corporation  
Redmond, WA 98052-6399,  
USA

## Appendix

OraCheck (SW Version 2.13)

Cyflex AG

8050 Zürich,

Schweiz



## **V. Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich allen beteiligten Personen, die mich bei der Anfertigung meiner Dissertation unterstützt haben, meinen Dank aussprechen.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Stefan Fickl, Oberarzt der Abteilung für Parodontale Medizin des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kiefergesundheit des Universitätsklinikums Würzburg, für die Möglichkeit zur Promotion.

Außerdem danke ich meinem Betreuer Herrn Dr. Frederic Kauffmann für die Vorleistung zu meiner Arbeit.

Ich danke Frau Prof. Dr. Kathleen Wermke für die kompetente und hervorragende Vorbereitung auf das Schreiben meiner Dissertation durch das Doktorandenseminar.

Für die unübertroffenen Fähigkeiten als Lektor bedanke ich mich bei Matthias.

Von ganzem Herzen bedanke ich mich bei denjenigen, die mir fachlich oder seelisch zur Seite standen. Ohne die Motivation meines Umfeldes hätte ich diese Arbeit wohl nicht fertig stellen können.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern Irmgard und Harry, meinen Großeltern Agnes und Alois, meiner Schwester Beate und ihrem Mann Andreas und vor allem meiner Freundin Katharina!

Appendix

## **VI. Lebenslauf**