

Aus der Anatomischen Anstalt der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl: Anatomie II – Neuroanatomie
Vorstand: Univ. Prof. Dr. med. Christoph Schmitz

**Klinische und röntgenologische
Untersuchung an vollkeramischen Dentalimplantaten.
Eine retrospektive Studie bei 87 Patienten.**

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

vorgelegt von
Kristian Heinz Kniha
aus München
Jahr 2016

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Stefan Milz

Mitberichterstatter: Prof. Dr. rer. nat. Mechthild Stöckelhuber

PD Dr. med. dent. Miriam Draenert

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 06.07.2016

Gliederung

1 Einleitung.....	1
1.1 Nutzungseinschränkungen bei dentalen Titanimplantaten.....	1
1.2 Problematik in der ästhetisch einsehbaren Zone.....	1
1.3 Faktoren für das ästhetische Ergebnis.....	2
1.4 Frage zu alternativen Materialien.....	3
1.5 Klinischer Bezug.....	4
1.6 Zielsetzung der Arbeit.....	5
1.6.1 Fragestellungen.....	
2 Methodik.....	6
2.1 Patienten.....	6
2.1.1 Einteilung der Patienten nach Behandlungsverlauf in vier Gruppen.....	7
2.2 Methode der Datenerhebung.....	11
2.2.1 Klinische Parameter.....	13
2.2.2 Beschreibung des Messverfahrens.....	13
2.2.3 Röntgenologische Untersuchung.....	15
2.2.4 Messprogramm.....	17
2.2.5 Statistische Auswertung.....	18
3 Ergebnisse.....	19
3.1 Wiederholungsgenauigkeit der einzelnen Längenmessungen.....	19
3.2 Verteilung der Messstrecken auf die Zahnpositionen.....	20
3.3 Klinische Auswertung.....	20

3.3.1 Ergebnisse der Distanzmessungen, statistische Auswertung und graphische Präsentation.....	20
3.3.1.1 Patientenscore, Sondierungstiefe, Papillenblutungsindex und der Plaqueindex für die Gesamtheit der Patienten und für die einzelnen Gruppen.....	20
3.3.1.2 Distanz vom Knochenansatz am Implantat zum untersten Kontaktpunkt der Kronen im Verhältnis zur Papillenformation.....	23
3.3.1.3 Distanz vom Knochenansatz am Nachbarzahn zum untersten Kontaktpunkt der Kronen im Verhältnis zur Papillenformation.....	26
3.3.1.4 Veränderung der Länge der Strecke vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter im zeitlichen Verlauf (Beobachtungszeitraum 1 Jahr).....	29
3.3.1.5 Viele Patienten weisen ein günstiges Verhältnis von Kronenlänge zu Papillenhöhe auf.....	32
4 Diskussion.....	34
4.1 Problematik der Messkonzeption.....	34
4.2 Messgenauigkeit.....	38
4.3 Subjektive Patientenzufriedenheit – Patientenscore.....	39
4.4 Der Zusammenhang zwischen den gemessenen Strecken vom Knochenansatz an dem Implantat und dem Nachbarzahn zu dem Kontaktpunkt und einer vollen Papillenformation.....	39
4.5 Die Veränderung des crestalen Knochenansatzes am Implantat zu drei verschiedenen Zeitpunkten.....	40
4.6 Ästhetisches Potential der ZrO ₂ -Implantate.....	40
4.7 Die Betrachtung verschiedener Ausgangssituationen.....	42
4.7.1 Konventionelle Versorgung (Kohorte 1).....	43
4.7.2 Sofortimplantationen (Kohorte 2).....	43
4.7.3 Parodontal kompromittierte Patienten (Kohorte 3).....	43
4.7.4 Interimplantäre Situationen (Kohorte 4).....	44
4.8 Schlussfolgerung.....	44

5 Zusammenfassung.....45

6 Literaturverzeichnis.....46

1. Einleitung

Biologische Werkstoffe, die nicht nur vom Organismus toleriert, sondern auch integriert werden, waren der große Durchbruch beim Ersatz natürlicher Strukturen. Zahnersatz in Form dentaler Implantate zur Verankerung im Alveolarfortsatz der Kiefer, fanden in den 80er und 90er Jahren zunehmende Verbreitung, so dass allein in Deutschland heute über eine Million dentaler Implantate pro Jahr platziert werden. Der Werkstoff Titan stellt aufgrund seiner Oberflächenchemie ein biologisch geeignetes Material dar, welches noch vor der Verwendung von keramischen Implantatmaterialien eine weite Verbreitung fand und bis heute als Goldstandart in der dentalen Implantologie gilt. Titanoberflächen in biologischen Systemen weisen eine Dioxidschicht auf, welche über ein hydroxyliertes Wasserstoffatom chemische Verbindungen mit den umgebenden Geweben eingehen kann, die auch biomechanisch hinreichend stabil sind (Branemark et al. 1977, Schmidt 1992).

1.1 Nutzungseinschränkungen bei dentalen Titanimplantaten

Obwohl es sich bei Titan um ein Metall mit überzeugender biologischer Oberflächenqualität und einem hohen Integrationspotential handelt, wurden auch negative Effekte beobachtet (Depprich et al. 2012). Ohne eine erkennbare Ursache gib es klinische Verläufe, bei denen plötzlich, auch nach längerer Liegezeit, Knochenabbauerscheinungen auftreten (Tarnow et al. 2000, Vela et al. 2012). Inwieweit langfristig ablaufende Veränderungen der Oberflächenchemie oder gar Korrosionsvorgänge eine Rolle spielen ist bis heute ungeklärt.

1.2 Problematik in der ästhetisch einsehbaren Zone

Bei mehr als 90 % der untersuchten Individuen lässt die Oberlippenlachlinie eine sog. Rot-Weiß Ästhetik im Bereich der Zahnreihe erkennen (Hochmann et al. 2012). Dabei sind die roten Gingivaanteile und die interdental Papillenformationen für das Erscheinungsbild des Menschen von besonderer Bedeutung. Das individuelle Lachen stellt einen sehr starken Persönlichkeitsausdruck dar, den der Patient nach Zahnverlust ohne Einschränkung rehabilitiert haben möchte. Mag es in früheren Zeiten durchaus Patienten gegeben haben, die allein mit der Wiederherstellung der vollen Kaufunktion zufrieden waren und Abstriche bei der ästhetischen Erscheinung hingenommen haben, so ist das heute bei deutlich gewachsenem Anspruchsdenken in der Bevölkerung eher die Seltenheit.

Wenn Titanimplantate in der sensiblen ästhetischen Zone zum Einsatz kommen, belastet ein dunkler Metallschatten, der durch die vestibuläre Schleimhaut gerade bei dünneren Gingivatypen sichtbar wird, das Ergebnis (Wohlwend et al. 1996, Heydecke et al. 1999, Depprich et al. 2012, MI-SI et al. 2012, Bidra et al. 2013). Erst ab einer Schleimhautdicke von drei Millimetern ist keinerlei Durchschimmern des dunkelgrauen Metalls mehr erkennbar (Jung et al. 2007).

Zudem beobachtet man im Zuge der Heilungsvorgänge und Integration je nach individueller Ausgangslage eine mehr oder weniger ausgeprägte Geweberezeption von Gingiva und Alveolarknochen (Tarnow et al. 1992, Small und Tarnow 2000, Evans und Chen 2008).

Die Folgen sind ein Verlust der interdentalen Papillenformationen mit dem Resultat sogenannter interdentaler Leerräume, welche auch als sogenannte „schwarze Dreiecke“

beschrieben werden. Mitunter nicht kalkulierbar sind zudem Rezessionen im Verlauf der Gingivagirlande im Implantatschulterbereich, die in der Zahnreihe zu unharmonisch verlängerten klinischen Kronenlängen führen können (Tarnow et al. 2000). Trotz verschiedenster Augmentationskonzepte wird auf Kongressen und in der Literatur längst diskutiert, dass das ästhetische Ergebnis bei dentaler Implantatrehabilitation im Oberkieferfrontbereich nicht mit zufriedenstellender Sicherheit vorhergesagt werden kann (Choquet et al. 2001).

Mag dies in den Seitenbereichen des Gebisses tolerabel sein und zu einer besseren Möglichkeit der Interdentalreinigung führen, so ist die Gewebereduktion im ästhetischen Bereich ein fatales Problem, da eine operative Volumenvermehrung im Hart- und Weichgewebereich des Implantatkörpers kaum und wenn nur mit großem Aufwand und hohem Risiko zu bewerkstelligen ist (Nemcovsky et al. 2000, Chen 2014).

Da es sich bei dentalen Implantaten häufig um zweiteilige Systeme (*Abutment* und Implantatkörper getrennt) handelt und im ästhetischen Bereich die Implantatschulter aus kosmetischen Gründen tiefer gelegt werden muss, resultiert daraus ein subgingivaler Spaltraum, der wiederum im Zusammenhang mit Bakterienanlagerungen eine Rolle spielt (Scarano et al. 2004, Tetè et al. 2009, Salihoglu et al. 2011, Nascimento et al. 2014).

1.3 Faktoren die das ästhetische Ergebnis beeinflussen

Das ästhetische Gesamtergebnis wird im Wesentlichen durch zwei Gruppen von Faktoren bestimmt. Dabei ist die individuelle biologische und konstitutionelle Situation des Patienten eine wesentliche Einflussgröße, die für ein zufriedenstellendes Endergebnis zu analysieren ist. Heilungskapazität, Knochenverhältnisse, parodontaler Typ mit oder ohne wesentliche entzündliche Belastung, zuvor abgelaufene Entzündungsprozesse, die das Knochenlager belastet haben und Okklusions- und Funktionsverhältnisse sind nur typische Beispiele, die bei personenbezogener Planung berücksichtigt werden müssen. Das ITI (*International Team for Implantology*) – Team hat eine *Guideline* mit Risikopotentialtabelle erstellt, die verschiedene Einflussfaktoren bewusst machen sollen. Diese gilt es individuell zu erfassen und danach das Behandlungskonzept nach Risikoeinschätzung auszurichten (Dawson et al. 2009).

Der zweite Einwirkungskomplex, der das ästhetische Endergebnis bestimmt, liegt in den Produkt- oder auch Hardwarekomponenten; also bei Materialfrage, Herstellungsqualität und Design der Implantatkörper.

In besonderer Weise hat sich die Gruppe um Tarnow (Tarnow et al. 1992) um die ästhetische Problematik bei Titanimplantaten in der Oberkieferfront bemüht. Sie konnte darstellen, dass die Distanz vom interdentalen Knochenkamm zum untersten Punkt der Kontaktzone der Kronen für die Papillenformation ausschlaggebend ist. Tarnow kommt zu dem Ergebnis, dass eine Distanz bis zu 5mm kaum ein Problem darstellt und man in fast allen Fällen eine ausgefüllte interdental Situation ohne „Leerraum“ erzielt. Je länger die Strecke, desto häufiger ist mit interdentalen Leerräumen zu rechnen. Leider ist der Patientenanteil mit Distanzen bis 5mm auf ca. 25% begrenzt. Bei Distanzen mit 6mm zeigen sich bei ca. 50% der Patienten Leerräume, bei 7mm sogar bei ca. 75%. Bei größeren Distanzen lag kaum noch das Ergebnis einer vollen Interdentalsituation vor. Der Großteil der untersuchten Patienten liegt somit im kritischen Distanzbereich von 6 mm und mehr (Tarnow et al. 1992), was bedeutet, dass bei etwa 40% dieser Patienten kein zufriedenstellendes Ergebnis der Ästhetik im Hinblick auf die Papillenformation zu

erwarten ist. Nach Choquet ergibt sich nur eine Wahrscheinlichkeit von etwa 50% für eine kosmetisch, ästhetisch ansprechende Papillenformation (Choquet et al. 2001). Andere Publikationen sprechen von erfolgreichen Ergebnissen bis zu 75% (Priest 2003).

1.4 Verwendung alternativer Materialien

Mit dieser in der ästhetisch relevanten Zone unbefriedigenden Ergebnissituation ist der Wunsch nach alternativen Materialien und Konzepten, die eine bessere Wiederherstellung der anatomischen Situation ermöglichen, verständlich. Noch während der Entwicklung dentaler Implantate aus Titan hat es immer wieder Versuche gegeben, keramische Werkstoffe zur Anwendung zu bringen (Andreotelli et al. 2009). Zu den bekanntesten Versuchen zählt das vollkeramische Implantat aus Aluminiumhydroxyd nach Schulte (Schulte und Heimke 1976, Schulte et al. 1978).

Allerdings scheitern bislang alle Ansätze an der für den Knochenanbau biologisch nicht ausreichend attraktiven Oberfläche, insbesondere wegen der fehlenden Mikrorauigkeit, aber auch aufgrund von Designproblemen, instabilen Implantatkörpern und mangelnder Bruchsicherheit (Schlegel et al. 1994, Kohal et al. 2008).

Das Aufkommen des vollkeramischen Hochleistungswerkstoffes Zirkondioxid (ZrO_2) schürt die Hoffnung auf einen geeigneten vollkeramischen Werkstoff, der den Eigenschaften eines dentalen Implantates aus Titan mindestens ebenbürtig ist (Ichikawa et al. 1992, Sennerby et al. 2005, Kohal et al. 2009). Die extreme Stabilität des neuen Werkstoffes, die durch Einbringung von Magnesium-, Aluminium-, oder Yttriumionen weiter verbessert werden kann, führt zu einer gesteigerten Produktsicherheit (Tinschert et al. 2001, Luthardt et al. 2002, Zhang et al. 2004, Rochietta et al. 2009).

Bei ZrO_2 handelt es sich um eine vollständig oxydierte Form des Metalls Zirkon, die es chemisch zu einer Metalloxydkeramik macht; letztlich entsteht so eine vollkeramische Struktur mit besserer Biokompatibilität, die keine metallischen Eigenschaften mehr besitzt (Özkurt und Kazazoglu 2011, Möller et al. 2012, Depprich et al. 2012).

Im Zeitraum 2004 bis 2012 erfolgte in Zusammenarbeit mit der Firma Institut Straumann AG (Peter Merian-Weg 12, CH-4002 Basel) die präklinische Forschung für die Schaffung eines einteiligen vollkeramischen Implantates mit mikrorauer Oberfläche. Schließlich konnte in tierexperimentellen Studien evidenzbasiert eine dem Titanimplantatkörper vergleichbare Produktqualität gezeigt werden (Gahlert et al. 2007, Gahlert et al. 2009). Wesentliche histomorphometrisch bestimmbare Parameter für das Implantateinheilverhalten sind die periimplantäre Knochendichte und das Knochen-Implantat Kontaktverhältnis. Biomechanisch waren die Ausdrehmomente (*Torque-Out* Werte) beider Implantatmaterialien ebenfalls ebenbürtig (Gahlert et al. 2010, Gahlert et al. 2012, Gahlert et al. 2015). Damit war die wissenschaftliche Voraussetzung für den klinischen Einsatz eines derartigen Implantatmaterials gegeben. Besonderer Wert ist dabei auf die Feststellung zu legen, dass eine vollkeramische Struktur, wie sie ein Zirkonimplantat besitzt, nicht in gleicher Weise wie ein Metallimplantat behandelt werden darf (Gahlert et al. 2012).

Die Implantatindustrie ist bei dem Herstellungsprozess besonders gefordert, um zu einem Produkt zu gelangen, das im Hinblick auf Haltbarkeit und biologische Kompatibilität einem Titanimplantat ebenbürtig ist (Buser et al. 1998). Dies betrifft speziell das Implantat- und Gewindedesign, eine stabile mikrorauere Oberfläche, die Bruchsicherheit des Implantatkörpers, sowie eine lang andauernde Resistenz des Materials gegen Alterung (Andreotelli und Kohal 2009).

Verglichen mit Titanimplantaten zeigten die Untersuchungen der klinisch eingesetzten

Zirkonimplantate zunächst keine gleichwertige Ergebnisqualität. Als besondere Risikofaktoren wurden Materialbrüche (Gahlert et al. 2012), Lockerungen auf Grund einer zu glatten Oberfläche (Borgonovo et al. 2012) und ungünstige Zellreaktionen an der Materialoberfläche bei den verschiedensten Systemen (Saulacic et al. 2013) beschrieben. Es wird offensichtlich, dass die herstellungstechnischen Belange bei keramischen Implantaten andere komplexe Anforderungen erfüllen müssen, um die gleichen Produkteigenschaften der Titanimplantate zu gewährleisten. Diesen Anforderungen entspricht eine immer größere Zahl der derzeit sich auf dem Markt befindlichen Zirkondioxid basierten Implantate. Ein wesentlicher Grund dafür sind verbesserte Qualitätskontrollen im Herstellungsprozess, die eine höhere Produktsicherheit gewährleisten sollen.

Im Hinblick auf das optische Ergebnis übertrifft jedes Zirkonimplantat allerdings materialbedingt immer vergleichbare Titanimplantate, da die weiße, der natürlichen Zahnfarbe ähnliche Färbung von ZrO₂-Implantaten die Problematik des Metallschattens, der durch die Gingiva erkennbar wird, nicht aufkommen lässt. Darüber hinaus besitzt die vollkeramische Struktur keine metallischen Eigenschaften mehr, insbesondere keine Oberflächenionenladungen. In mikrobiologischen und klinischen Studien zeigt sich im Vergleich zu Titanimplantaten eine wesentlich geringere Plaqueaffinität (Krekeler et al. 1984, Rimondini et al. 2002, Scarano et al. 2004, Salihoglu et al. 2011, Nascimento et al. 2014). Zudem findet an keramischen Stoffen eine biologisch kompatiblere Heilung und Gewebeanlagerung als an Metall statt (Albrektsson et al. 1985, Blaschke und Volz 2006, De Medeiros et al. 2013). Die Verwendung von einteiligen Implantatkörpern vermeidet zudem eine mit Spaltbildungen einhergehende Problematik der zweiteiligen Systeme.

Mittlerweile hat sich eine größere Anzahl von Herstellern von vollkeramischen Dentalimplantaten aus Zirkondioxyd etabliert, die daran arbeiten eine neue Alternative zu dentalen Titanimplantaten entstehen zu lassen (Akagawa et al. 1998, Josset et al. 1999, Mellinghoff 2006).

Die Literaturübersichtsarbeit von Koutayas weist einen Erfolgsbereich bei der Verwendung verschiedener einteiliger Zirkonimplantattypen von 93% bis 100% aus (Koutayas et al. 2009).

1.5 Klinischer Bezug

Der derzeitige Weltmarktführer für die Herstellung dentaler Implantate, die Firma Institut Straumann AG (Peter Merian-Weg 12, CH-4002 Basel, Schweiz), hat seit 2004 erkannt, dass es vielversprechend ist, sich um die Entwicklung vollkeramischer Implantatsysteme zu kümmern.

In ausgedehnten präklinischen Studien konnte gezeigt werden, dass die ZrO₂-Implantate Titanimplantaten, in Bezug auf Oberflächentopographie, Osseointegration, Bruchsicherheit, Ausdrehverhalten und periimplantäre Knochendichte, vergleichbar sind (Gahlert et al. 2007, Gahlert et al. 2009, Gahlert et al. 2010, Gahlert et al. 2012, Gahlert et al. 2015).

Seit September 2011 stand der Praxis Kniha-Gahlert (München, Deutschland) ein vollkeramisches Monotypimplantat aus Zirkondioxyd der Firma Straumann zur Verfügung, das in Bezug auf seine klinische Anwendung untersucht werden soll.

Bis zum Jahr 2014 wurden über 500 vollkeramische Implantate bei Patienten mit den unterschiedlichsten Indikationen in Ober- und Unterkiefer implantiert. Gemäß dem chirurgischen Grundsätzen der Operateure Gahlert und Kniha wurde ausnahmslos autologer Knochen ohne Beimischungen von Fremdmaterialien zur Augmentation bei

unzureichenden alveolären Knochenverhältnissen verwendet, mit der Intention ein biologisch einwandfreies und leistungsfähiges periimplantäres Knochenlager zu erzeugen. Dies ist ein wichtiger klinischer Aspekt, da so die Problematik der teilweise narbigen Durchbauung mit zu geringer oder fehlender ossärer Heilungskapazität des Lagerknochens, wie bei Verwendung von Knochenersatzmaterialien beschrieben, vermieden werden kann (Araujo et al. 2008). Für eine optimale Platzierung des Implantatkörpers ist ein ausreichend großes, anatomisch fast vollständiges Kieferkammvolumen nötig. Nach ungünstig verlaufenden Voroperationen und reduzierenden Umbauvorgängen liegt nahezu immer eine mehr oder weniger umfangreiche verminderte Volumensituation mit kompromittierter Weichteilsituation vor.

Nach der individuellen Einschätzung der Operateure pro Patientenfall erfolgte die Implantatsetzung entweder mit begleitender Augmentation (einzeitiges Vorgehen) oder bei zu umfangreichem Defizit mit zunächst alleiniger Volumenaugmentation und nach knöcherner Konsolidierung (mindestens 3 Monate) zeitlich getrennt die Aufbaurealisierung (zweizeitiges Vorgehen). Uneingeschränkte Zielsetzung war in jedem Fall eine Rehabilitation auf der Basis ganzheitlicher alveolärer Verhältnisse, die eine Implantatkörperplatzierung in perfekter Form zulässt.

1.6 Zielsetzung der Arbeit

Um Informationen über das mittelfristige Verhalten der bei einer größeren Anzahl von Patienten eingesetzten dentalen Zirkonimplantate zu erhalten, wurde die vorliegende retrospektive Studie durchgeführt.

An einer Patientengruppe, die implantologische Rehabilitationen mit vollkeramischen Monotypimplantaten der Firma Straumann erhalten hat, soll neben allgemeinen Befundkriterien wie Überlebensrate (engl. *survival rate*) und Erfolgsquote (engl. *success rate*), der Parodontalstatus und die Papillensituation erfasst werden. Aufgrund des begrenzten Zeitfensters in dem Zirkondioxid Implantate beim Patienten zum klinischen Einsatz kommen, wurde der maximale Beobachtungszeitraum auf ein Jahr festgelegt.

Es stellt sich grundsätzlich die Frage ob die hier verwendeten vollkeramischen Zirkonimplantate ein ähnliches ästhetisches Ergebnis aufweisen wie für Titanimplantate in der Literatur berichtet und ob dies sowohl bei einzeln stehenden Implantaten, wie auch bei mehreren nebeneinander eingesetzten Implantaten gleichermaßen zutrifft?

Im Detail sollen dazu folgende Fragen beantwortet werden:

1. Wie stellen sich die Patientenzufriedenheit und klinische Parameter dar?
2. Besteht ein Zusammenhang zwischen der Länge der Strecke vom Knochenansatz am Implantat zum Kontaktpunkt der Kronen und der Ausprägung der Papillenformation?
3. Besteht ein Zusammenhang zwischen der Länge der Strecke vom Knochenansatz des Nachbarzahnes zum Kontaktpunkt der Kronen und der Ausprägung der Papillenformation?
4. Wie verändert sich die Länge der Strecke vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter an drei unterschiedlichen Zeitpunkten (Implantatsetzung, Osseointegration nach 3 Monaten unbelasteter Einheilphase, nach 1 Jahr Tragezeit der definitiven Prothetik)?
5. In wie vielen Fällen erreichen die Patienten das als „ästhetisches Ideal“ definierte Verhältnis von klinischer Kronenlänge zur Papillenhöhe (Bewertung analog zu Chu et al. 2009)?

Da es sich, gerade in der einsehbaren Zone der Front- und vorderen Seitenzähne, um ein hinsichtlich Erscheinung und Selbstwertgefühl relevantes Gebiet handelt, und das Ergebnis von jedem Patienten subjektiv bewertet wird, ist das Empfinden jedes Einzelnen von großer Bedeutung.

Um auch diesen Einflussgrößen nachzuspüren, wurde ein Patientenfragebogen entwickelt, der anhand eines Punktwertes (Patientenscore) ähnlich wie bei Schulnoten Aufschluss über die Zufriedenheit aus Patientensicht geben soll.

2 Methodik

2.1 Patienten

Um in die vorliegende Studie aufgenommen zu werden, mussten die Patienten verschiedene Einschlusskriterien erfüllen. Aufgenommen wurden nur Patienten die im Zeitraum von 22.09.2011 - 18.01.2013 mit vollkeramischen Monotypimplantaten der Firma Straumann versorgt und deren Implantate von zwei bestimmten Operateuren mit langjähriger klinischer Erfahrung implantiert wurden.

Im vorliegenden Fall waren das 117 Personen beiderlei Geschlechts bei denen 170 ZrO₂-Implantate zum Einsatz kamen. Von diesen stimmten 87 Patienten zu, an der Studie teilzunehmen. Nachfolgend ist ein typisches Implantat abgebildet, welches ohne Zahnkrone dargestellt ist (Abb. 1).



Abbildung 1: Darstellung eines Monotypimplantates. (Quelle: Straumann Produktinformation, Die Verwendung der Abbildung erfolgt mit freundlicher Genehmigung der Fa. Straumann).

Verwendet wurden bei den hier untersuchten Patienten drei Implantatlängen (8 mm, 10 mm und 12 mm), mit 4 mm und 5,5 mm *Abutmentgrößen*. Der enossale Durchmesser des Implantats beträgt 4,01 mm. Das Gewinde entspricht dem *Bonelevel* Typ und ist mit Gewindeabstand 0,8mm selbstschneidend. Die Schulterformation ist leicht konisch und besitzt zur Schulterkante hin 1,2 mm polierte Oberfläche für die Weichteilanlagerung. Eine Übersicht der verwendeten Implantatgrößen ist in Tabelle 1 gegeben.

<i>Abutment- länge</i>	Implantatlänge 8 mm	Implantatlänge 10 mm	Implantatlänge 12 mm	Summe
4 mm	12	30	34	76
5,5 mm	9	25	60	94
Summe	21	55	94	170

Tabelle 1: Verteilung der verwendeten Implantat- und *Abutmentlängen*.

Die mittlere Tragedauer der definitiven Prothetik betrug 1,2 Jahre. Insgesamt wurden 87 Patienten mit 71 Einzelimplantaten und 16 mit zwei oder mehreren Implantaten nebeneinander versorgt.

Vor Beginn der Studie wurde die Genehmigung der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Ludwig- Maximilians- Universität München (Registriernummer 213/10) eingeholt. Alle Patienten gaben vor Studienbeginn nach ausführlicher Information ihre schriftliche Einwilligung zur Teilnahme an der Studie.

2.1.1 Einteilung der Patienten nach Behandlungsverlauf in vier Kohorten:

Für eine möglichst aussagekräftige Auswertung wurden die Patienten in verschiedene Kohorten eingeteilt. Die nachfolgend beschriebene Kohorteneinteilung orientiert sich an

der unterschiedlichen klinischen Ausgangssituation und den verschiedenen, daraus resultierenden Behandlungskonzepten. Für jede Gruppe werden charakteristische Bilddokumentationen vorgestellt.

Bei den Behandlungskonzepten wurden die konventionelle- und die Sofortimplantation unterschieden, um Aussagen zur Gleichwertigkeit der Behandlung machen zu können.

Patienten mit parodontal ungünstiger Ausgangssituation wurden von Patienten mit Normalbefund unterschieden.

Patienten mit zwei oder mehr nebeneinander liegenden Implantaten wurden der Gruppe mit nur einem Implantat gegenübergestellt. Hier interessiert vor allem die interimplantäre Situation, im Vergleich zur Situation zwischen einem natürlichen Zahn und einem Implantat.

Patienten mit konventioneller Versorgung

Die Versorgung mit dem Implantat erfolgte in der Regel 3 Monate nach Zahnverlust um eine knöcherne Ausheilung des zukünftigen Implantatlagers als Basis zu haben. Nach der Implantation gegebenenfalls mit begleitender Augmentation folgte eine unbelastete 3 - monatige Integrationsphase des Implantatkörpers. Im Anschluss erfolgte eine provisorische feste Kronenversorgung zur Weichteilformung. Erst nach zufriedenstellender Konditionierung der gingivalen Verhältnisse wurde die definitive Krone gesetzt (Abb. 2).

Dieser Kohorte wurden auch diejenigen Patienten zugeordnet, bei denen Augmentation und Implantatsetzung in getrennten chirurgischen Sitzungen (Intervall 3 Monate) erfolgten.

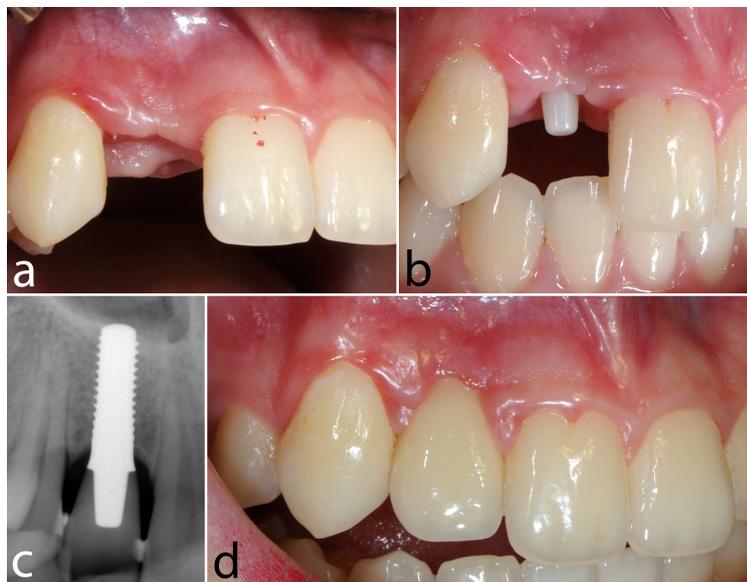


Abbildung 2: Beispiel eines Patienten mit einer konventionellen Versorgung (Kohorte 1).

a) Ausgangssituation bei einer Einzelzahnlücke in Zahnposition 12 (rechter oberer seitlicher Schneidezahn) (vestibuläre Ansicht).

b) Exakte Positionierung des Keramikimplantates in Zahnposition 12. Vestibulär wurde mit autologem Knochen augmentiert (Vestibuläre Aufnahme).

c) Standardisierte Röntgenaufnahme des Implantats in Zahnposition 12 nach einem Jahr zur Erfassung der Papillenlänge.

d) Weichteilprofil des Implantats in Zahnposition 12 nach 1 Jahr.

Patienten mit Sofortversorgung

Bei einigen Patienten konnte auf Grund einer günstigen Ausgangssituation sofort nach Zahnextraktion der Implantatkörper gegebenenfalls mit begleitender Augmentation platziert werden und ein sog. *Chairside* Provisorium erstellt werden, welches trotzdem eine unbelastete und ungestörte Einheilphase gewährt. Nach Osseointegration des Implantates hatte sich meist bereits eine zufriedenstellende Weichteilformung eingestellt, die häufig das sofortige Setzen der definitiven Krone erlaubte. In einzelnen Fällen wurde über eine provisorische Prothetik eine weitere Gingivakonditionierung bis zur definitiven Prothetik durchgeführt (Abb. 3).

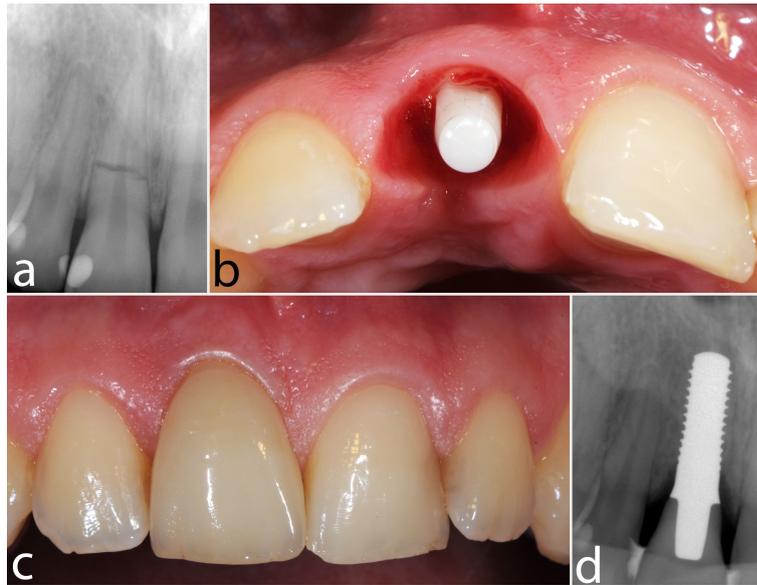


Abbildung 3: Beispiel eines Patienten mit Sofortimplantation und Sofortversorgung (Kohorte 2).
a) Rechtwinkelaufnahme des Zahnes in Zahnposition 11 (rechter oberer mittlerer Schneidezahn) mit einer Querfraktur im mittleren Wurzeldrittel.
b) Okklusale Ansicht des Weichteilprofils nach Abnehmen der provisorischen Krone in Zahnposition 11 nach 3 Monaten.
c) Definitive Versorgung in Zahnposition 11 in situ.
d) Röntgenmessaufnahme des Implantats in Zahnposition 11 bei der Einjahresmessung mit Erfassung der Papillenlänge.

Patienten mit ungünstigen parodontalen Verhältnissen

Patienten bei denen die Distanz von der Papillenspitze zum Kontaktpunkt der Kronen im Gesamtgebiss generell 2 mm oder größer war oder die an röntgenologisch generalisiertem Knochenabbau und allgemeinen interdentalen Leerräumen litten, wurden der dritten Kohorte (parodontal kompromittierte Patienten) zugeordnet (Abb. 4).

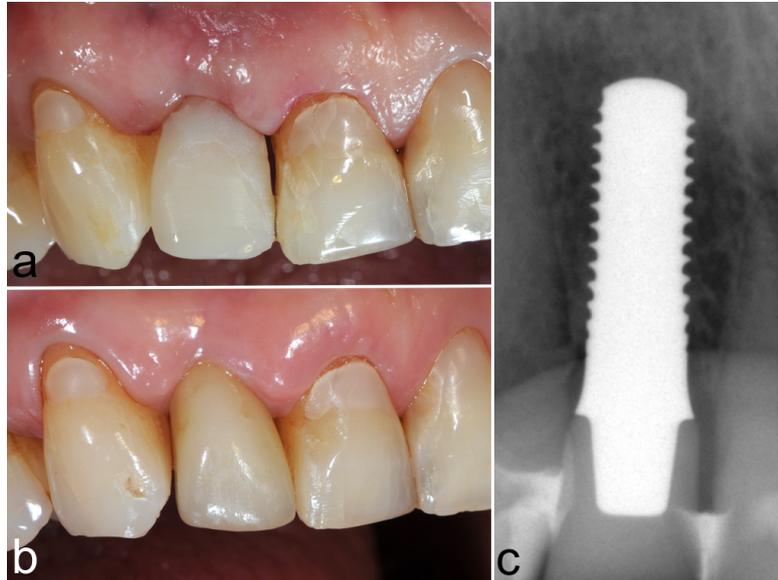


Abbildung 4: Beispiel für einen Patienten mit ungünstiger parodontaler Ausgangssituation (Kohorte 3).

- a) Zustand nach Eingliederung der provisorischen Krone in Zahnposition 12 (rechter oberer seitlicher Schneidezahn).
- b) Definitive Versorgung in Zahnposition 12 mit einer Keramikkrone zum Zeitpunkt der Einjahresmessung.
- c) Röntgenmessaufnahme des Implantats in Zahnposition 12 bei der Einjahresmessung mit Erfassung der Papillenspitze.

Patienten mit zwei oder mehr nebeneinanderliegenden Implantaten

In dieser Kohorte befanden sich alle Patienten, bei denen mindestens zwei nebeneinanderliegende Implantate vorlagen (Abb. 5).

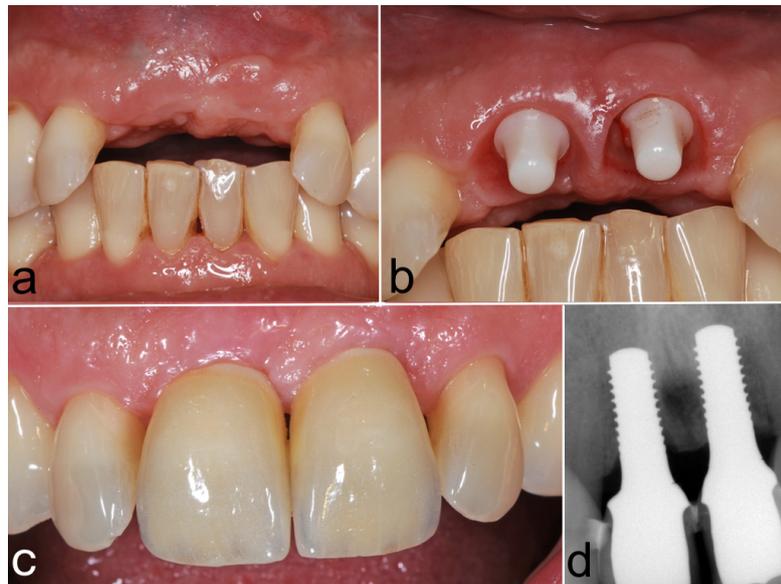


Abbildung 5: Beispiel eines Patienten mit zwei oder mehr Implantaten nebeneinander (Kohorte 4).

- a) Tiefbiss in Zahnposition 11, 21 (rechter und linker oberer mittlerer Schneidezahn).
- b) Weichteilformation nach Entfernung der provisorischen Kronen in Zahnposition 11 und 21 nach dreimonatiger Tragedauer.
- c) Definitive Keramikprothesen in Zahnposition 11 und 21 bei der Einjahresmessung.
- d) Röntgenmessaufnahme des Implantats in Zahnposition 12 und 21 bei der Einjahresmessung mit Erfassung der Papillenlänge.

2.2 Methode der Datenerhebung

Die verschiedenen Strecken wurden, entweder nativ am Patienten, an einem klinischen Bild, oder anhand von Röntgenaufnahmen bestimmt. Dabei kamen ein Messzirkel und eine spezielle Messsoftware (MB Ruler Pro, EOS-Metrology, Deutschland, Heidenheim) zum Einsatz. Die verschiedenen Strecken werden in Abbildung 6 graphisch und in Tabelle 2 verbal beschrieben.

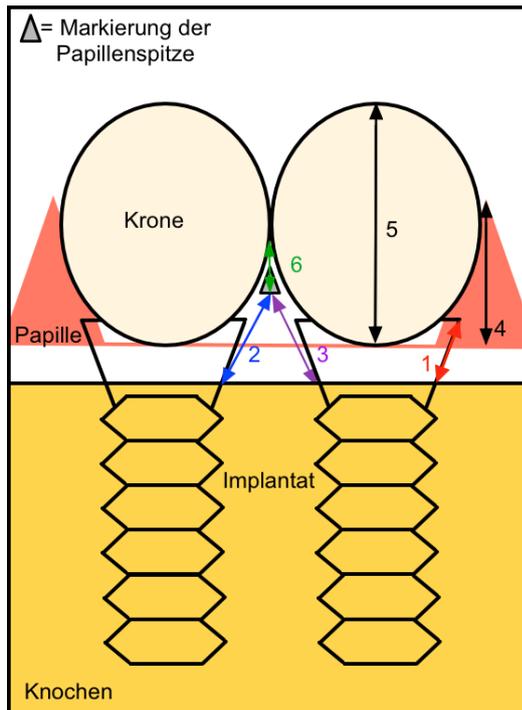


Abbildung 6: Skizze aller gemessenen Streckenlängen. Die genaue Beschreibung der einzelnen Strecken erfolgt in Tabelle 2a.

Jede der 6 Strecken ist mit Ihrer Nummer entsprechend Tabelle 2a bezeichnet. Die Strecken 1 bis 6 sind direkt gemessene Strecken

Distanz	Beschreibung
Strecke 1	Abstand zwischen Knochenansatz am Implantat und der Implantatschulter, wurde am Röntgenbild bestimmt.
Strecke 2	Abstand zwischen Knochenansatz am Implantat und der Papillenspitze, wurde am Röntgenbild bestimmt.
Strecke 3	Abstand zwischen dem Knochenansatz am Nachbarzahn und der Papillenspitze, wurde am Röntgenbild bestimmt.
Strecke 4	Papillenhöhe, wurde am klinischen Bild bestimmt.
Strecke 5	Kronenlänge, wird direkt beim Patienten bestimmt.
Strecke 6 (Papillendefizit)	Abstand der Papillenspitze vom untersten Punkt der Kontaktflächen der Kronen, wurde am klinischen Bild bestimmt.

Tabelle 2a: Beschreibung der verschiedenen gemessenen 6 Streckenlängen. Zusätzlich zu den gemessenen Streckenlängen wurden die Werte der Strecken 7 und 8 berechnet (Tab. 2b).

Strecke 7	Berechnete Distanz vom Knochenansatz am Implantat zum untersten Punkt der Kontaktflächen der Kronen (Summe Strecke 2 + Strecke 6)
Strecke 8	Berechnete Distanz vom Knochenansatz am Nachbarzahn zum untersten Punkt der Kontaktflächen der Kronen (Summe: Strecke 3 + Strecke 6)

Tabelle 2b: Definition der zwei berechneten Streckenlängen.

2.2.1 Klinische Parameter

Bei der 1-Jahres Nachuntersuchung wurde der parodontale Status an jedem Implantat und dem zugehörigen gesunden benachbarten Zahn erhoben. Zur Beurteilung des periimplantären Weichgewebes wurde der modifizierte Plaqueindex und der modifizierte Sulkusblutungsindex verwendet (Mombelli et al. 1987, Tonetti & Schmid 1994, Brägger et al. 1996). Der modifizierte Plaqueindex gliederte sich von 0 bis 3 (0=keine Plaque, 1=Plaque nicht mit Auge, jedoch mit Sonde sichtbar, 2=sichtbare Plaqueablagerungen, 3=massive Plaqueablagerungen), ebenso der modifizierte Sulkusblutungsindex (0=keine Blutung, 1=isolierte Blutung, 2=konfluierende, linienförmige Blutung, 3=starke Blutung). Weitere wichtige klinische Parameter waren die Sondierungstiefe, sowie die Implantatmobilität und die Perkussion. Die klinischen Werte wurden pro Implantat an vier Seiten (mesial, distal, bukkal und palatinal) mit einer von der WHO entwickelten Parodontalsonde gemessen. Es erfolgte eine Fotodokumentation, bei der klinische Bilder mit einer digitalen Kamera (Nikon D3S, Mikro Nikkor 105mm Objektiv) gefertigt und später am PC vermessen wurden.

2.2.2 Beschreibung des Messverfahrens – Papillengirlande Photographie

Mit einer digitalen Kamera wurde ein standardisiertes Bild angefertigt (Blickrichtung annähernd senkrecht zur Oberfläche des Zahnes). Zur Kalibrierung der computergestützten Längenmessungen diente die klinische Kronenlänge. Diese Referenzlänge wurde am Patienten mit einem Messzirkel an den Frontzähnen genau vom gingivalen Zenit zur Mitte der Schneidekante und an den Seitenzähnen vom gingivalen Zenit zur mesialen Höckerspitze abgegriffen (Abb. 7).



Abbildung 7:

- a) Abgreifen der klinischen Kronenlänge (Zahn 22) mit einem Zirkel.
- b) Ablesen der genauen Kronenlänge mit Hilfe eines Lineals.

Im Anschluss konnte die Papillenhöhe (Strecke 4) mesial und distal am Implantat erfasst werden. Zur Bestimmung der Höhe der Papillenformation wurde eine horizontale Linie vom gingivalen Zenit im 90 Grad Winkel angelegt, von der parallel zur Zahnachse die exakte Höhe in der Mitte der Papillenformation gemessen wurde (Abb. 8).

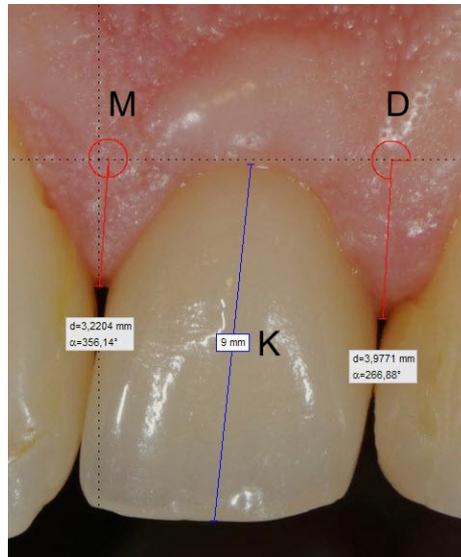


Abbildung 8: Streckenmessung der mesialen (M) und distalen (D) Papillenhöhe des linken oberen seitlichen Schneidezahnes in Zahnposition 22. Zur Kalibrierung (K) der Messung diente die bekannte klinische Kronenlänge (hier 9 mm).

Ähnlich wie die Papillenhöhe wurde das Papillendefizit (Strecke 6) mesial und distal am Implantat gemessen. Um den Kontaktpunkt der Kronen eindeutig darstellen zu können, wurde ein feiner kieferorthopädischer Ligaturendraht (Durchmesser 0,09mm), mit einem 50g Gewicht unter Zugspannung gesetzt, interdental als Schlinge eingebracht und an der Kontaktzone zweier Zähne eingehängt. Auf dem standardisierten klinischem Bild konnte die Distanz der klinischen Papillenspitze zum Schlingenaustritt des Drahtes als Repräsentanz des untersten Punktes der Kontaktzone ausgemessen wurden (Abb. 9).

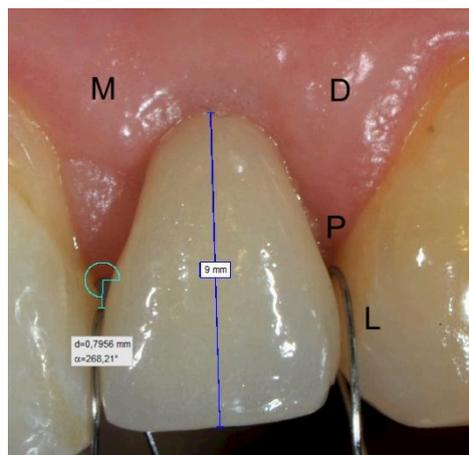


Abbildung 9: Streckenmessung des Papillendefizits am linken oberen seitlichen Schneidezahn von der Paillenspitze (P) zu dem untersten Punkt der Kontaktfläche, welcher durch den Ligaturendraht (L) markiert wird. Distal (D) erkennt man eine volle Papille. Mesial (M) fehlt eine Strecke von 0,6 mm.

2.2.3 Beschreibung des Messverfahrens – Röntgenbild

Die röntgenologische Befunderhebung erfolgte mit standardisierten Zahnfilm aufnahmen nach der Paralleltechnik mit individuellem Filmhalter. Zuvor wurden die Papillenspitzen punktförmig interdental mit einer Zement – Wolframpulvermischung (50% zu 50%) aus Temp-Bond (Kerrdental) und Wolframpulver markiert. In einigen Ausnahmefällen in denen kein standardisierter Zahnfilm verwendet werden konnte, wurde die Orthopantomographie als Bildgebung verwendet. Die provisorische Markierung kann nach dem Röntgen unkompliziert und vollständig entfernt werden (Abb. 10 und 11).



Abbildung 10: Platzierung der Markierungspunkte aus einem röntgenopaken Gemisch. So werden die Papillenspitzen im Röntgenbild sichtbar dargestellt.



Abbildung 11: Entfernte röntgendichte Markierung nach der Röntgenaufnahme.

Die röntgenologische Befunderhebung erfolgte unmittelbar nach Implantatsetzung (T1), nach Osseointegration (mindestens 3 Monate nach Op., T2) und nach Tragen der definitiven Prothetik (mindestens ein Jahr nach Op., T3) (Abb. 12).

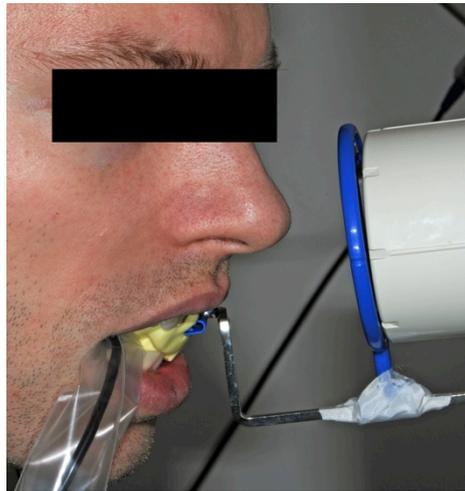


Abbildung 12: Röntgenaufnahme mittels eines standardisierten Zahnfilms. Genauer Aufbiss auf eine Silikonmasse.

Anhand der Röntgenbilder konnte die Strecken 1 (a, b und c), gemessen vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter, zu 3 verschiedenen Zeitpunkten (T 1-3) bestimmt werden. Für die Kalibrierung wurde der bekannte Abstand einer Schraubenwindung am Implantatkörper zur Nächsten (= 0,8 mm) verwendet. Um den Messfehler möglichst gering zu halten, erfolgte das Abgreifen über 5 Schraubenwindungen hinweg, was eine Gesamtstrecke von 4 mm ergibt (Abb. 13).

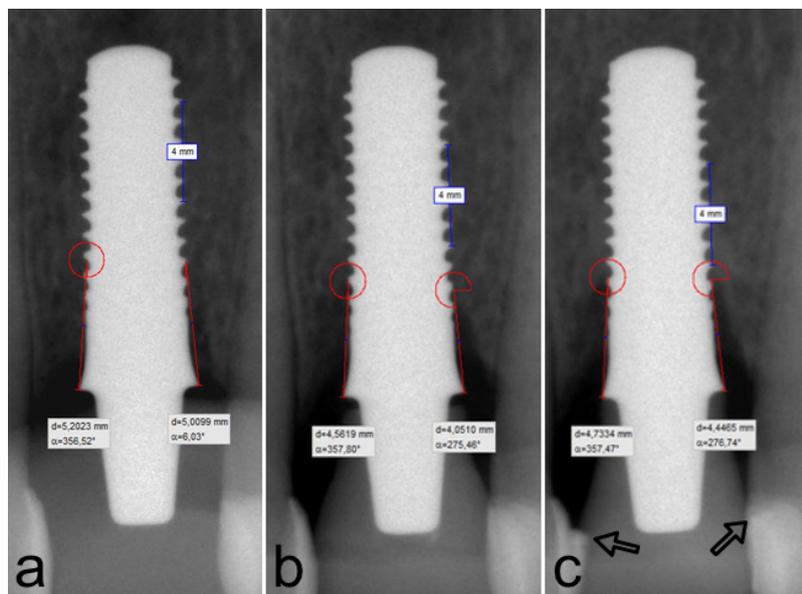


Abbildung 13: Bestimmung der Länge der Strecke 1 zu verschiedenen Zeitpunkten.

- a) Messung der Strecke vom Knochenansatz am Implantat bis zur Implantatschulter (direkt nach der Implantation).
- b) Röntgenologische Messaufnahme zum Zeitpunkt nach drei Monaten.
- c) Röntgenologische Messaufnahme zum Zeitpunkt nach einem Jahr. Die Pfeile zeigen auf die Markierung der Papillenspitze.

Die Strecke 2 spiegelte die Distanz vom Knochenansatz am Implantat zur interdentalen Papillenspitze wieder (Abb. 14a), wobei die Strecke 3 vom Knochenansatz des Nachbarzahnes zur interdentalen Papillenspitze verlief (Abb. 14b).

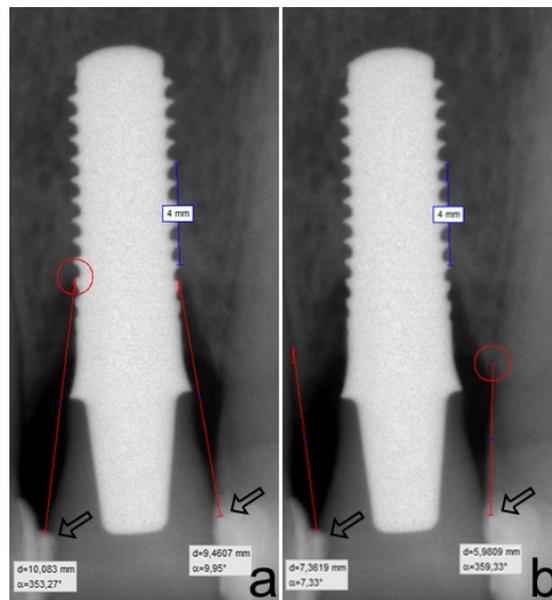


Abbildung 14:

- a) Messung der Länge der Strecke vom Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze (Pfeile).
 b) Messung der Länge der Strecke vom Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze (Pfeile).

Es wurde generell nach der *Worst-Case-Messtechnik* verfahren, bei der im Zweifel immer der schlechteste Wert gemessen wurde, folglich der unterste Punkt am Knochenansatz am Implantat oder der unterste Punkt in einem erweiterten parodontalen Spalt am Nachbarzahn. Gerade bei der typischen kelchförmigen Knochenformation an den meisten Implantaten war so bei allen Messungen ein einheitliches Verfahren gegeben, welches die Willkür eines Beobachters begrenzte, den Knochenansatz einmal höher oder tiefer zu definieren, und so zuverlässig reproduzierbare Werte ermöglichte.

2.2.4 Messprogramm

Die Streckenmessung an den digital aufgenommenen Bildern der Zahnzwischenräume erfolgte mit dem Computerprogramm MB-Ruler Pro der Firma MB-Softwaresolutions (DE -76473 Iffezheim). Das Programm erlaubte das Positionieren der Messpunkte im digitalen Bild unter Lupenfunktion mit zwei bis 16-facher Vergrößerung des Bildabschnittes.

Die Kontrolle der Messkonzeption und Messausführung erfolgte in Kooperation mit der auf derartige Auswertungen spezialisierten Klinik für Kronen und Brückenprothetik des Universitätsspitals Bern (Direktor Prof. Dr. Urs Brägger). Jede einzelne Messung wurde zusammen mit einem Vertreter der Klinik (Dr. Hicklin) kontrolliert und im Bedarfsfall korrigiert.

2.2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse erfolgte unter Zuhilfenahme eines von Frau Prof. Dr. Engelhardt-Wölfli entwickelten Makros für das Programm Stata 13. Die erhobenen Daten wurden sowohl mit den Programmen Stata 13, als auch SPSS 22 ausgewertet. Die statistische Auswertung beinhaltet deskriptive Statistiken, Ranggruppenkorrelationen und Student's t-Tests (gepaart).

Anhand der Messwerte der Papillenkonfiguration (Strecke 6) fand eine Zuordnung der einzelnen Patienten zu 4 verschiedene Gruppen statt. Traditionell wird nach Kokich (Kokich et al. 1999, 2006) und Lavacca (Lavacca et al. 2005) eine sichtbar defizitäre Papillensituation bei Länge der Strecke 6 von mehr als 2 mm diagnostiziert. In unserer Untersuchung wurde die Population mit kleinerer Strecke nochmals in drei weitere Gruppen unterteilt. Daraus ergibt sich die Zuordnung zu den einzelnen Gruppen wie folgt (Tab. 3; Abb. 27 bis 30):

<i>Gruppe</i>	<i>Länge der Strecke 6</i>	<i>Definition</i>
Gruppe 1	0mm	Kein sichtbarer Leerraum, kein Defizit, perfektes Ergebnis
Gruppe 2	$0\text{mm} < x < 0,6\text{mm}$	Kein sichtbarer Leerraum, geringes Defizit, sehr zufriedenstellendes Ergebnis
Gruppe 3	$0,6\text{mm} \leq x \leq 2,0\text{mm}$	Kein sichtbarer Leerraum, mäßiges Defizit, eingeschränktes aber dennoch zufriedenstellendes Ergebnis
Gruppe 4	$2.0\text{mm} < x$	Sichtbarer Leerraum, defizitäre Papillenkonfiguration, kein zufriedenstellendes Ergebnis

Tabelle 3: Klassifizierung der Befunde der Papillenkonfiguration anhand der Länge der Strecke 6.

Eine weitere Unterteilung der Patienten erfolgte anhand der Art der Implantatversorgung (konventionelles Versorgung, Sofortimplantation mit Sofortversorgungen, parodontal kompromittierte Patienten und interimplantäre Situationen). Entsprechend der Art der Versorgung wurden so vier verschiedene Kohorten unterschieden (Abb. 2 bis 5).

Der Patientenscore zeigte die subjektive Bewertung des Endergebnisses durch den Patienten. Dieser konnte für die Bewertung der Behandlung als Ganzes nach einem Jahr eine Schulnote von 1 (bestes Ergebnis) bis 6 (schlechtestes Ergebnis) vergeben. Zwischennoten wurden zur schlechteren Notenstufe hin gerundet.

3 Ergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden 117 Patienten mit 170 Implantaten versorgt. Bei der Geschlechterverteilung überwiegte das weibliche Geschlecht mit 52 Frauen in Vergleich zu 35 Männern. Die Altersverteilung aller Patienten reichte von 22 bis 94 Jahren, der Mittelwert lag bei 55 Jahren. Acht Implantate gingen während der frühen Einheilungsphase verloren. Die betroffenen Patienten wurden im Rahmen dieser Studie nicht weiter untersucht. Auch Patienten die nach einem Jahr nicht zur Nachuntersuchung erschienen, konnten im Rahmen dieser Studie nicht weiter berücksichtigt werden. Nach einem Jahr konnten noch 87 Patienten mit 125 Implantaten und 250 Papillen vermessen werden. Daraus ergab sich für alle Implantate eine Überlebensrate (engl. *survival rate*) von 95,6% und eine Erfolgsquote (engl. *success rate*) von 94,0%. Die Bewertung erfolgte anhand der Kriterien die andere Autoren bei vergleichbaren Untersuchungen angewandt haben (Schnitman et al. 1980, Albrektsson et al. 1986, Buser et al. 1990, Jahn und d`Hoedt 1992, Naert et al. 1992). Allerdings wiesen die in diesen Publikationen beschriebenen Auswertungsverfahren große Unterschiede auf, obwohl sie sich in der internationalen Literatur als häufig zitierte Standardarbeiten durchgesetzt haben.

3.1 Wiederholungsgenauigkeit der einzelnen Längenmessungen

Zur Bestimmung der Wiederholungsgenauigkeit wurde bei einem zufällig ausgewählten Implantat die klinische und röntgenologische Messung mit 8 Messstrecken zehnmal wiederholt. Jede der einzelnen Auswertungen erfolgte an unterschiedlichen Tagen zu unterschiedlichen Uhrzeiten. Die statistische Auswertung der Wiederholungsmessungen ist in Tabelle 4 aufgeführt. Der ermittelte Variationskoeffizient von höchstens 0.08 spiegelt die sehr genaue Reproduzierbarkeit der Messung wieder.

Messstrecke	Anzahl der Messungen	Mittelwert	SD	MIN	MAX	CV
Strecke 1a	10	2.14	.17	1.9	2.5	.083
Strecke 1b	10	2.01	.15	1.8	2.3	.079
Strecke 1c	10	2.18	.18	1.9	2.4	.083
Strecke 2	10	2.12	.13	2	2.4	.062
Strecke 3	10	3.5	.07	3.4	3.7	.022
Strecke 4	10	1.89	.15	1.5	2.1	.080
Strecke 5	10	6.86	.12	6.7	7.1	.018
Strecke 6	10	7.49	.09	7.3	7.7	.013
Strecke 7	10	5.27	.10	5	5.4	.020
Strecke 8	10	4.19	.09	4	4.4	.023

Tabelle 4: Bestimmung der Wiederholungsgenauigkeit der gemessenen und berechneten Strecken; SD= Standardabweichung, MIN= Minimum, MAX= Maximum, CV=Variationskoeffizient, Messstrecke 1 a – c wurde zu den Zeitpunkten T 1-3 gemessen.

3.2 Verteilung der Messstrecken auf die Zahnpositionen

Betrachtet man die Verteilung der Implantationsorte in beiden Kiefern, so zeigt sich, dass der Hauptanteil der Implantationen im Oberkiefer erfolgte. Dagegen wurden im Unterkiefer im Frontzahnbereich praktisch keine Implantate platziert. Aufgrund der geringen Fallzahl (N= 1) konnte über diese Region keine Aussage gemacht werden. Die Verteilung der Messstrecken (Tab. 5) in Ober- und Unterkiefer ist nachfolgend im Einzelnen beschrieben.

	[n]	[%]	Posterior [n]						Anterior [n]			Anterior [n]			Posterior [n]		
			34						62			68			24		
Maxilla [n]	190	68	100									92					
Implantat [n]			0	6	12	16	2	32	30	42	20	6	16	6	2	0	
Zahn-			17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	
position			47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	
Implantat [n]			8	12	12	6	0	0	0	0	2	0	4	8	8	0	
Mandibula [n]	60	32	38									22					
			36						0			2			20		
Total [n]	250	100	Posterior [n]						Anterior [n]			Anterior [n]			Posterior [n]		

Tabelle 5: Anzahl der gemessenen Strecken je Zahnposition gemäß dem Zahnschema der WHO; n= Anzahl; %= prozentualer Anteil.

3.3 Klinische Auswertung

3.3.1 Ergebnisse der Distanzmessungen, statistische Auswertung und graphische Präsentation

Die Auswertungen erfolgten für das gesamte Patientengut, sowie getrennt für die 4 gebildeten Kohorten (konventionelle Versorgungen, Sofortimplantation mit Sofortversorgungen, parodontal kompromittierte Patienten und Patienten mit interimplantären Situationen).

Zusätzlich wurden die Patienten entsprechend der erzielten Papillenformation in 4 Gruppen eingeteilt.

Die statistische Auswertung umfasste deskriptive Statistik, Ranggruppenkorrelationen nach Spearman und Student's t-Tests (gepaart).

3.3.1.1 Patientenscore, Sondierungstiefe, Papillenblutungsindex und der Plaqueindex für die Gesamtheit der Patienten und für die einzelnen Gruppen

Der Patientenscore repräsentiert die subjektive Bewertung des Endergebnisses durch den Patienten (Tab. 6a-d). In unserer Auswertung erfassten wir die Gesamtheit aller Patienten und die nach verschiedenen Kriterien gebildeten Untergruppen.

Gesamtheit aller Patienten (87 Patienten mit 125 Implantaten)	
<i>Anzahl</i>	<i>Note</i>
75x	1
10x	2
2x	3

Tabelle 6a: Der Patientenscore wurde für das gesamte Patientengut ermittelt. Der Notenmittelwert über alle Kohorten beträgt 1,13.

Konventionelles Vorgehen (77 Patienten mit 109 Implantaten)	
<i>Anzahl</i>	<i>Note</i>
71x	1
5x	2
1x	3
Sofortimplantationen mit Sofortversorgung (10 Patienten mit 16 Implantaten)	
<i>Anzahl</i>	<i>Note</i>
7x	1
2x	2
1x	3

Tabelle 6b: Der Notenmittelwert der Patientenscores wurde für die Patienten mit konventionelle Versorgung (1,09) ermittelt und den Patienten mit Sofortimplantation und Sofortversorgung (1,20) gegenübergestellt.

PA-kompromittiert (19 Patienten mit 31 Implantaten)	
<i>Anzahl</i>	<i>Note</i>
17x	1
2x	2
0x	3
Keine PA-Erkrankung (86 Patienten mit 84 Implantaten)	
<i>Anzahl</i>	<i>Note</i>
58x	1
8x	2
2x	3

Tabelle 6c: Der Notenmittelwert der Patientenscores wurde für die parodontal kompromittierten Patienten (1,11) ermittelt und den Patienten ohne parodontale Erkrankung (1,18) gegenübergestellt.

Interimplantäre Situation (16 Patienten mit 26 Implantaten)	
<i>Anzahl</i>	<i>Note</i>
15x	1
1x	2
0x	3
Einzelimplantat (71 Patienten mit 101 Implantaten)	
<i>Anzahl</i>	<i>Note</i>
60x	1

9x	2
2x	3

Tabelle 6d: Der Notenmittelwert des Patientenscores wurde für die Patienten mit zwei oder mehr Implantaten in Reihe (1,06) ermittelt und den Patienten mit Einzelimplantaten (1,18) gegenübergestellt

Betrachtet man die vergebenen Patientenscores, so wurde keine schlechtere Note als 3 (=befriedigend) vergeben. Die Note 3 wurde von 87 Patienten nur zweimal verteilt. Die Durchschnittsnote für alle Kohorten lagen durchweg im sehr guten Bereich.

In Tabelle 7 a - d wurden die gemessenen Werte für die Sondierungstiefe und den Papillenblutungsindex für die Gesamtheit der Patienten, sowie für jeden der gebildeten Kohortenvergleiche dargestellt. Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Sondierungstiefen der Implantate zu den natürlichen Vergleichszähne ($p=0,1$).

Gesamtheit aller Patienten (n=87)	Implantat	natürlicher Zahn
Sondierungstiefe M mm ($\pm SD$)	1,7 ($\pm 0,8$)	1,6 ($\pm 0,8$)
Papillenblutungsindex 0 - 3 ($M - SD$)	0,3 ($\pm 0,5$)	

Tabelle 7a: Erfassung der parodontalen Messwerte an jedem Implantat, sowie an den gegenüberliegenden natürlichen Zähnen. Mittelwert =M, Anzahl = n, Standardabweichung = SD.

Konventionelles Vorgehen (n=77)	Implantat	natürlicher Zahn
Sondierungstiefe M mm ($\pm SD$)	1,7 ($\pm 0,8$)	1,6 ($\pm 0,8$)
Papillenblutungsindex 0 - 3 ($M - SD$)	0,3 ($\pm 0,5$)	
Sofortimplantationen (n=10)	Implantat	natürlicher Zahn
Sondierungstiefe M mm ($\pm SD$)	1,9 ($\pm 0,7$)	1,6 ($\pm 0,5$)
Papillenblutungsindex 0 - 3 ($M - SD$)	0 (± 0)	

Tabelle 7b: Erfassung der parodontalen Messwerte an jedem Implantat, sowie an den gegenüberliegenden natürlichen Zähnen für die Patienten mit einer konventionellen Versorgung, sowie für Patienten mit einer Sofortimplantation und Sofortversorgung Mittelwert =M, Anzahl = n, Standardabweichung = SD.

PA-kompromittiert (n=19)	Implantat	natürlicher Zahn
Sondierungstiefe M mm ($\pm SD$)	1,9 ($\pm 0,9$)	1,8 ($\pm 0,9$)
Papillenblutungsindex 0 - 3 ($M - SD$)	0,5 ($\pm 0,6$)	
Keine PA-Erkrankung (n=86)	Implantat	natürlicher Zahn
Sondierungstiefe M mm ($\pm SD$)	1,7 ($\pm 0,7$)	1,6 ($\pm 0,7$)
Papillenblutungsindex 0 - 3 ($M - SD$)	0,2 ($\pm 0,5$)	

Tabelle 7c: Erfassung der parodontalen Messwerte an jedem Implantat, sowie an den gegenüberliegenden natürlichen Zähnen für parodontal kompromittierte Patienten, sowie für Patienten ohne Parodontalerkrankung. Mittelwert =M, Anzahl = n, Standardabweichung = SD.

Interimplantäre Situation (n=16)	Implantat	natürlicher Zahn
Sondierungstiefe M mm ($\pm SD$)	1,6 ($\pm 0,8$)	1,6 ($\pm 0,9$)
Papillenblutungsindex 0 - 3 ($M - SD$)	0,3 ($\pm 0,5$)	
Einzelimplantat (n=71)	Implantat	natürlicher Zahn
Sondierungstiefe M mm ($\pm SD$)	1,8 ($\pm 0,8$)	1,7 ($\pm 0,7$)
Papillenblutungsindex 0 - 3 ($M - SD$)	0,3 ($\pm 0,5$)	

Tabelle 7d: Erfassung der parodontalen Messwerte an jedem Implantat, sowie an den gegenüberliegenden natürlichen Zähnen für die Patienten mit einem oder mehreren Implantaten nebeneinander, sowie für Patienten mit Einzelimplantaten. Mittelwert = M, Anzahl = n, Standardabweichung = SD.

Der durchschnittliche Papillenblutungsindex mit 0,4 lag im Bereich 0 (keine Blutung auf Sondieren vorhanden).

Es gab bei keinem Implantat Anzeichen für Plaque. Somit betrug der Plaqueindex für alle Patienten 0. Auf Angabe dieses Wertes wurde daher in Tabelle 7 a - d verzichtet.

3.3.1.2 Distanz vom Knochenansatz am Implantat zum untersten Kontaktpunkt der Kronen im Verhältnis zur Papillenformation

Der hier verwendete Rangkorrelationskoeffizient (Spearman's rho = r_s) gibt an, wie gut eine beliebige monotone Funktion den Zusammenhang zwischen zwei Variablen (hier Strecke 7 zu Strecke 6) beschreiben kann. Der Wert variierte zwischen 0 (= keine Korrelation) und + oder -1 (positive oder negative Korrelation).

Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Wertebereiche des Korrelationskoeffizienten wie folgt interpretiert:

$0,0 \leq r_s \leq 0,2$ => kein bis geringer Zusammenhang.

$0,2 < r_s \leq 0,5$ => schwacher bis mäßiger Zusammenhang

$0,5 < r_s \leq 0,8$ => deutlicher Zusammenhang

$0,8 < r_s \leq 1,0$ => hoher bis perfekter Zusammenhang

Die Skizze der Abbildung 15 veranschaulicht den Abstand vom Knochenansatz am Implantat zu dem untersten Punkt der Kontaktfläche (Strecke 7).

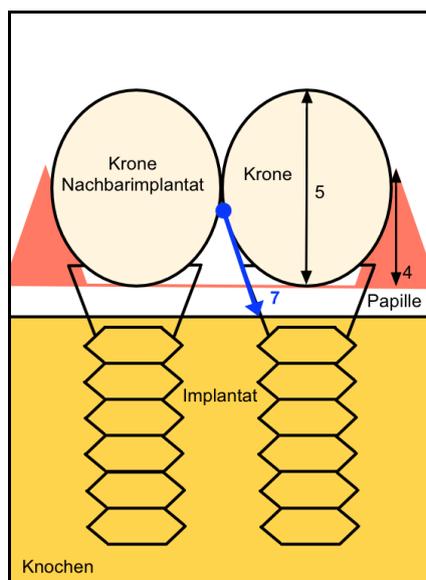


Abbildung 15: Die Skizze zeigt die Strecke vom Knochenansatz am Implantat zum untersten Punkt der Kontaktfläche der Kronen (Strecke 7 = Strecke 3 + Strecke 6).

Die nachfolgenden Balkengrafiken zeigen die Häufigkeitsverteilung der Längen der Messstrecke 7 in Millimeterschritten von 0 bis 14mm auf der X-Achse (Abb. 16 bis 17). Dabei werden die 4 verschiedene Gruppen der ästhetischen Einteilung (=Papillenkongfigurationen der Messstrecke 6) farblich unterschieden. Anders formuliert zeigt die Grafik an, wie die Längen der Distanz 7 sich zum Papillendefizit verhalten.

Für die Gesamtheit der Patienten lag eine schwache Korrelation vor, die Irrtumswahrscheinlichkeit für diese Aussage ist sehr gering ($p < 0.001$) (Abb. 16). Das gleiche galt für die weiteren Kohorten konventionelles Vorgehen (Abb. 17a), Sofortimplantation mit Sofortversorgung (Abb. 17b) und Interimplantäre Situationen (Abb. 17d). Nur bei parodontal kompromittierten Patienten bestand eine deutliche Korrelation zwischen der Distanz 7 und 6 (Abb. 17c).

Alle Kohorten zeigten bei niedrigen Längen der Strecke 7 eine volle Papille in Form der grünen Farbe (Abb. 16 und 17). Bei steigender Länge der Strecke 7 erhöhte sich auch die Häufigkeit der Papillendefizite. Bei einer Distanz der Strecke 7 von kleiner 6mm wurde niemals ein sichtbarer Leerraum für die Gesamtheit und somit auch für alle Kohorten festgestellt. Daraus ergab sich für diese Ausgangslage eine Vorhersagewahrscheinlichkeit für eine volle Papille von 100%.

Es bestand ein statistisch erkennbarer Zusammenhang zwischen der Länge der Strecke 7 und der interdentalen Weichteilformation in jeder einzelnen Gruppe.

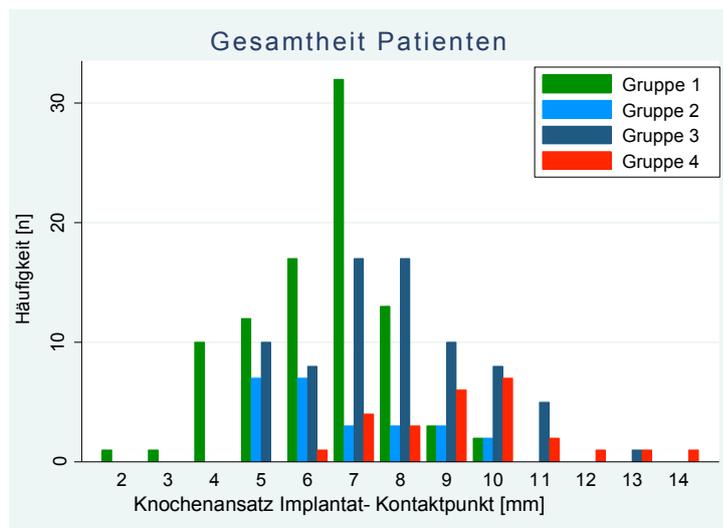


Abbildung 16: **Gesamtheit Patienten**, (87 Patienten mit 219 Messstrecken)

Spearman's rho = 0.462, $p < 0.001$, $N = 218$; Die X-Achse stellt die Distanz vom Knochenansatz am Implantat zum untersten Kontaktpunkt der Kronen (Strecke 7) dar; Die Patienten werden anhand der Länge der Strecke 6 in vier Gruppen eingeteilt (Gruppe 1=0mm, 2=0mm < x < 0,6mm, 3= 0,6mm =< x <= 2,0mm, 4=2.0mm < x).

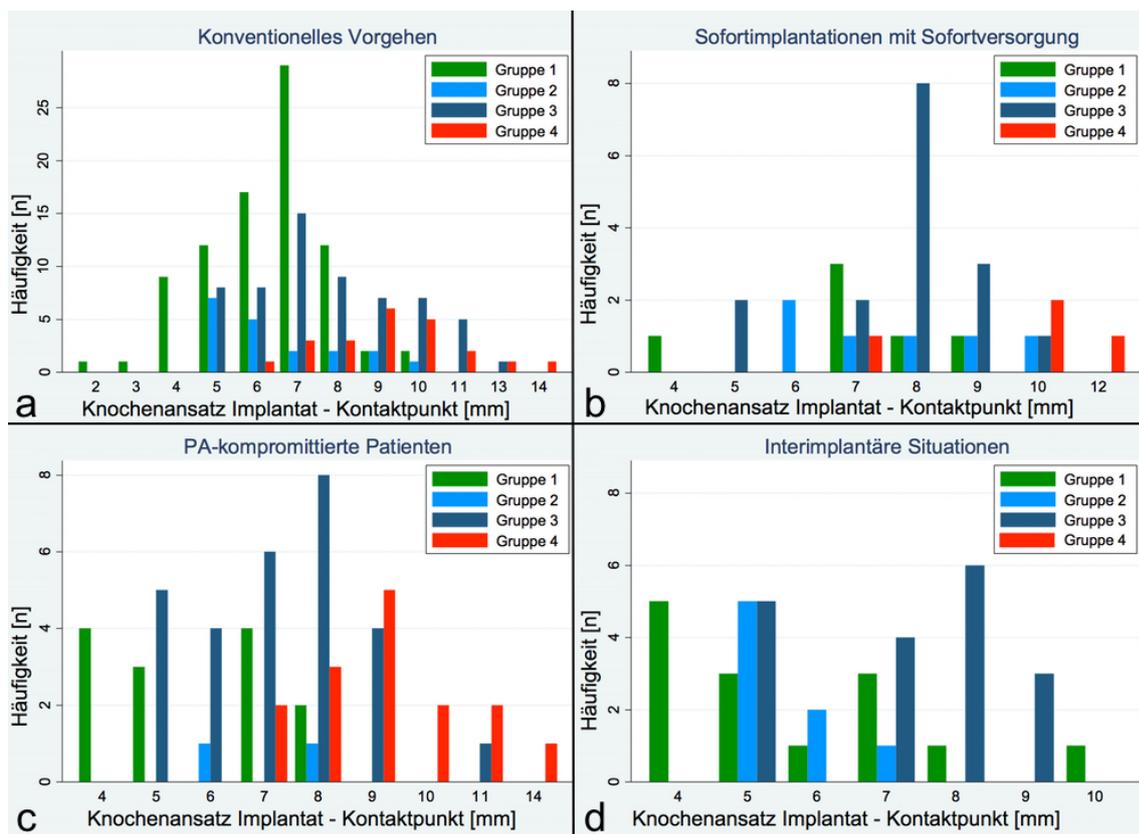


Abbildung 17: Die X-Achse stellt die Distanz vom Knochenansatz am Implantat zum untersten Kontaktpunkt der Kronen im Verhältnis zur Papillenformation (=Strecke 7) dar; Die Patienten werden anhand der Länge der Strecke 6 in vier Gruppen eingeteilt (Gruppe 1=0mm, 2=0mm < x < 0,6mm, 3= 0,6mm =< x <= 2,0mm, 4=2.0mm < x). (1=0mm, 2=0mm < x < 0,6mm, 3= 0,6mm =< x <= 2,0mm, 4=2.0mm < x). Man beachte die unterschiedlichen Skalierungen der X-und Y-Achsen.

a) **Kohorte 1: Konventionelles Vorgehen** (77 Patienten mit 186

Messstrecken); Spearman's rho = 0.449, p < 0.001, N = 186.

Mäßiger Zusammenhang zwischen der Länge der Strecke 7 und der Ausprägung eines Papillendefizites bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 1‰.

b) **Kohorte 2: Sofortimplantation mit Sofortversorgung** (10 Patienten mit 32 Messstrecken);

Spearman's rho = 0.374, p = 0.035, N = 32;

schwacher Zusammenhang zwischen der Länge der Strecke 7 und der Ausprägung eines Papillendefizites bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner 5%.

c) **Kohorte 3: PA-kompromittierte Patienten** (19 Patienten mit 58

Messstrecken); Spearman's rho = 0.617, p < 0.001, N = 58

deutlicher Zusammenhang zwischen der Länge der Strecke 7 und der Ausprägung eines Papillendefizites bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 1‰.

d) **Kohorte 4: Interimplantäre Situationen** (16 Patienten 40 Messstrecken); Spearman's rho = 0.436, p = 0.005, N = 40;

mäßiger Zusammenhang zwischen der Länge der Strecke 7 und der Ausprägung eines Papillendefizites bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%.

3.3.1.3 Distanz vom Knochenansatz am Nachbarzahn zum untersten Kontaktpunkt der Kronen im Verhältnis zur Papillenformation

Die folgende Skizze der Abbildung 18 veranschaulicht die berechnete Strecke vom Knochenansatz am Nachbarzahn zum untersten Kontaktpunkt der Kronen.

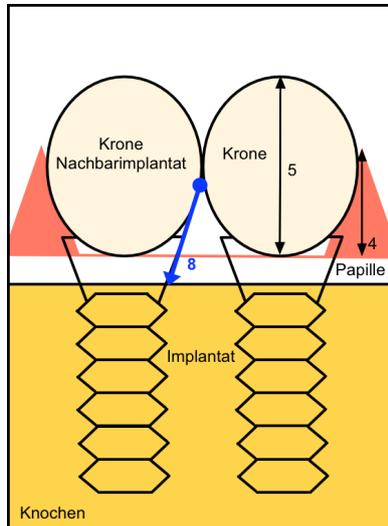


Abbildung 18: Die Skizze zeigt den berechneten Abstand vom Knochenansatz am Nachbarzahn oder wie in diesem Fall am Nachbarimplantat zu dem untersten Punkt der Kontaktfläche (Strecke 8 = Strecke 2 + Strecke 6).

Im folgenden Teil wird das Verhältnis der Längen der Distanz 8 zum Papillendefizit beleuchtet. Für die Gesamtheit aller Patienten lag eine deutliche Korrelation zwischen dieser Streckenlänge und der erzielten Papillenformation vor, die Irrtumswahrscheinlichkeit für diese Aussage war sehr gering (Abb. 19). Auch die Patienten mit konventionelles Vorgehen (Abb. 20a), Sofortimplantation mit Sofortversorgung (Abb. 20b), parodontal kompromittierte Patienten (Abb. 20c) und Interimplantäre Situationen (Abb. 20d) ließen einen mäßigen bis deutlichen Zusammenhang zwischen der Länge der Strecke 8 und der interdentalen Weichteilformation erkennen. Alle Gruppen zeigten bei niedrigen Streckenlängen eine höhere Papille. Stieg die Länge der Strecke 8, so nahmen auch die Papillendefizite zu. Defizite mit einer Strecke 2mm oder mehr traten bei allen Gruppen erst bei Längen der Strecke 8 ab 6 mm auf. Ausnahme war die interimplantäre Gruppe. Hier kam es nie zu einer fehlenden Papille (Abb. 19 und 20). Bei einer Distanz der Strecke 8 von kleiner 6mm wurde zu keinem Zeitpunkt ein sichtbarer Leerraum für die Gesamtheit oder die einzelnen Kohorten festgestellt. Daraus ergab sich eine 100% Wahrscheinlichkeit eine volle Papille zu erzielen, sobald sich die Länge der Strecke 8 im Bereich kleiner als 6mm befand.

Die Ergebnisse zeigen die Häufigkeitsverteilung der Längen der Messstrecke 8 (=Abstand Knochenansatz am Nachbarzahn zu dem untersten Punkt der Kontaktfläche) in Millimeterintervallen von 0 bis 14mm auf der X-Achse (Abb. 19 bis 20). Dabei wurden ebenfalls die 4 verschiedene Gruppen der ästhetischen Einteilung (=Papillendefizite Messstrecke 6) farblich unterschieden. Diese wurden definiert als 0mm (= volle Papille/ Gruppe 1), sowie die weiteren Unterteilungen $0\text{mm} < x < 0,6\text{mm}$ (Gruppe 2), $0,6\text{mm} < x < 2\text{mm}$ (Gruppe 3) und alles über 2mm Defizit (Gruppe 4) der Papillenhöhe. Bezüglich der Korrelation resultierten unterschiedliche Ergebnisse verglichen mit 3.3.2.1. Es wurde analog der Rangkorrelationskoeffizient (Spearman's rho = r_s) angewendet.

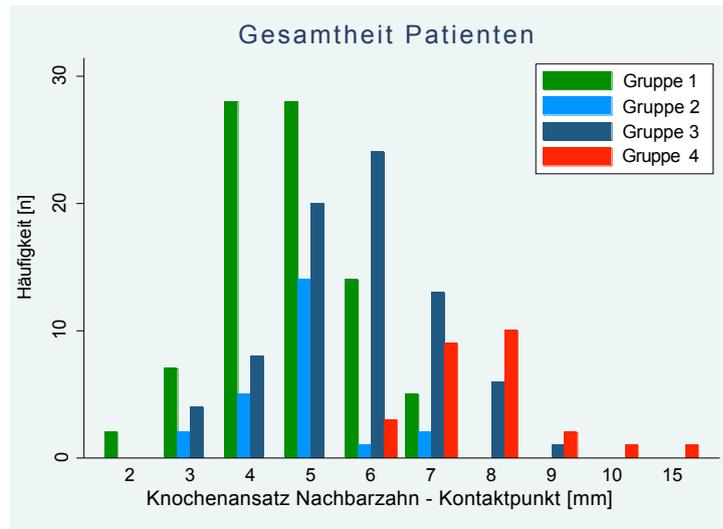


Abbildung 19: **Gesamtheit Patienten** (87 Patienten mit 210 Messstrecken)

Spearman's rho = 0.559, $p < 0.001$, $N = 210$; Die X-Achse stellt die Distanz vom Knochenansatz am Nachbarzahn zum untersten Kontaktpunkt der Kronen im Verhältnis zur Papillenformation (=Strecke 8) dar; Die Patienten werden anhand der Länge der Strecke 6 in vier Gruppen eingeteilt (Gruppe 1=0mm, 2= $0\text{mm} < x < 0,6\text{mm}$, 3= $0,6\text{mm} \leq x \leq 2,0\text{mm}$, 4= $2.0\text{mm} < x$). (1=0mm, 2= $0\text{mm} < x < 0,6\text{mm}$, 3= $0,6\text{mm} \leq x \leq 2,0\text{mm}$, 4= $2.0\text{mm} < x$).

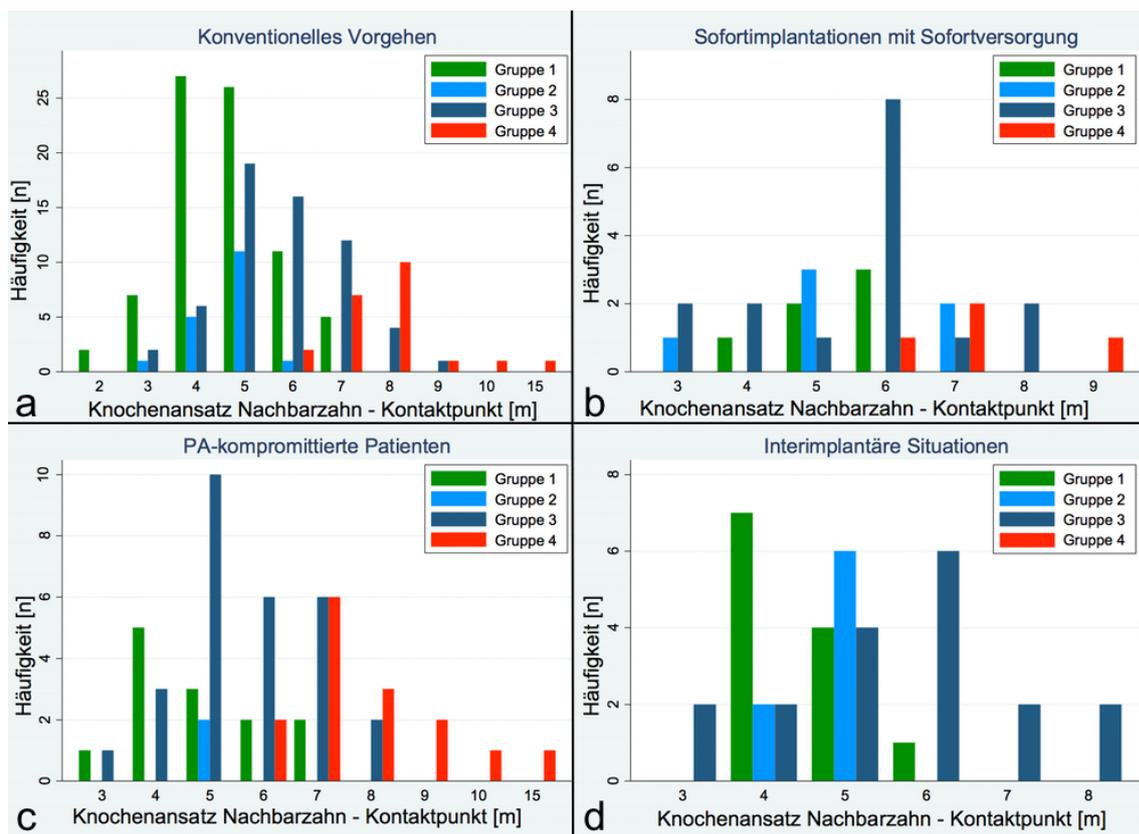


Abbildung 20: Die X-Achse stellt die Distanz vom Knochenansatz am Nachbarzahn zum untersten Kontaktpunkt der Kronen im Verhältnis zur Papillenformation (=Strecke 8) dar; Die Patienten werden anhand der Länge der Strecke 6 in vier Gruppen eingeteilt (Gruppe 1=0mm, 2=0mm < x < 0,6mm, 3= 0,6mm =< x <= 2,0mm, 4=2.0mm < x). (1=0mm, 2=0mm < x < 0,6mm, 3= 0,6mm =< x <= 2,0mm, 4=2.0mm < x). Man beachte die unterschiedlichen Skalierungen der X- und Y- Achsen.

a) **Kohorte 1: Konventionelles Vorgehen** (77 Patienten mit 125 Messstrecken); Spearman's rho = 0.584, p < 0.001, N = 125; deutlicher Zusammenhang zwischen der Strecke 8 und dem Papillendefizit bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 1‰.

b) **Kohorte 2: Sofortimplantation mit Sofortversorgung** (10 Patienten mit 32 Messstrecken); Spearman's rho = 0.358, p = 0.044, N = 32; schwacher Zusammenhang zwischen der Strecke 8 und dem Papillendefizit bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 1‰.

c) **Kohorte 3: PA-kompromittierte Patienten** (19 Patienten mit 58 Messstrecken); Spearman's rho = 0.623, p < 0.001, N = 58; deutlicher Zusammenhang zwischen der Strecke 8 und dem Papillendefizit bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner als 1‰.

d) **Kohorte 4: Interimplantäre Situationen** (16 Patienten 38 Messstrecken); Spearman's rho = 0.424, p = 0.008, N = 38; mäßiger Zusammenhang zwischen der Strecke 8 und dem Papillendefizit bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1‰.

3.3.1.4 Veränderung der Länge der Strecke vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter im zeitlichen Verlauf (Beobachtungszeitraum 1 Jahr)

Die Auswertung des vertikalen Knochenverlaufs wurde zu den drei Zeitpunkten der Operation (T1), der Untersuchung nach drei Monaten (T2) und der Untersuchung nach einem Jahr (T3) durchgeführt.

Für die Gesamtheit aller Patienten, sowie für die 4 verschiedenen Kohorten wurden Boxplotdiagramme angefertigt (Abb. 20 und 21). Die einzelnen statistischen Zusammenhänge wurden mittels Student's t-Test (gepaart) untersucht. Dieser prüfte für zwei abhängige Variablen den Unterschied zwischen der mittleren Differenz der Messwerte.

Während der unbelasteten Einheilphase der Implantate kam es in den ersten 3 Monaten zu einer Veränderung der Distanz zwischen dem Knochenansatz am Implantat und der Implantatschulter (Strecke 1). In den folgenden 9 Monaten war die weitere Veränderung meist sehr gering und häufig nicht signifikant.

Es bestand bei der Gesamtheit der Patienten eine signifikante Differenz des vertikalen Knochenverlaufs zwischen den Messungen der Zeitpunkte T1 und T2, sowie der Zeitpunkte T1 und T3. Die Zeitpunkte T2 und T3 zeigten keine signifikanten Differenzen der vertikalen Knochenverlaufslinie. Die Mittelwerte (M) der Strecke 1 betragen zum Zeitpunkt T1 M= 2,61mm bei einer Standardabweichung (SD) von 1,45mm, zum Zeitpunkt T2 M= 2,94mm bei einer SD von 1,09mm und zum Zeitpunkt T3 M= 3,07mm bei einer SD von 1,02mm.

Zu nahezu dem gleichen Ergebnis kam die Untersuchung der Patienten mit konventioneller Versorgung und Sofortimplantation mit Sofortversorgung (Abb. 21a und b). (T1 M= 2,42/ SD = 1,25, T2 M= 2,90mm/ SD= 1,02mm und T3 M= 3,06mm/ SD=1,06mm)

Deutlich höhere Werte der Distanz vom Knochenansatz zur Implantatschulter am OP-Zeitpunkt zeigten die Patienten mit Sofortimplantation im Vergleich zu denen mit konventioneller Versorgung. Nur hier erfolgte eine Knochenapposition von durchschnittlich 1,87 mm im Zeitintervall zwischen Implantationszeitpunkt T1 und der zweiten Messung T2 nach drei Monaten (Abb. 21b). (T1 M= 3,88/ SD = 2,01, T2 M= 3,24mm/ SD= 1,46mm und T3 M= 3,17mm/ SD=0,69mm)

Die parodontal kompromittierten Patienten ließen zu allen Messzeitpunkten eine stabile Knochenverlaufslinie erkennen. Keine signifikanten Veränderungen wurden nachgewiesen, wobei sich die Strecke 6 zum Zeitpunkt T3 bei 3,26mm einstellte (Abb. 21c). (T1 M= 2,91/ SD = 1,56, T2 M= 3,26mm/ SD= 1,04mm und T3 M= 3,02mm/ SD=1,09mm)

In der Kohorte mit Patienten, die zwei oder mehrere Implantate in Reihe aufwiesen, konnte nur ein signifikanter Unterschied der Knochenverlaufslinie zwischen der ersten und letzten Untersuchung (T1 zu T3) ermittelt werden (Abb. 21d). (T1 M= 2,62/ SD = 1,04, T2 M= 2,89mm/ SD= 0,93mm und T3 M= 3,06mm/ SD=0,95mm)

Der vertikale Knochenverlust der prothetisch versorgten Implantate vom Zeitpunkt T2 zu T3 liegt für die Gesamtheit der Patienten mit -0,13mm unter dem Limit von -0,2mm (vgl. Diskussion 4.5). Auch die Analysen der Knochenveränderung vom Zeitpunkt T2 zu T3 für die einzelnen Kohorten 1 – 4 zeigten niedrigere Ergebnisse unterhalb des -0,2mm Wertes. (1= -0,16mm, 2=+0,07mm, 3= +0,24mm, -0,17mm)

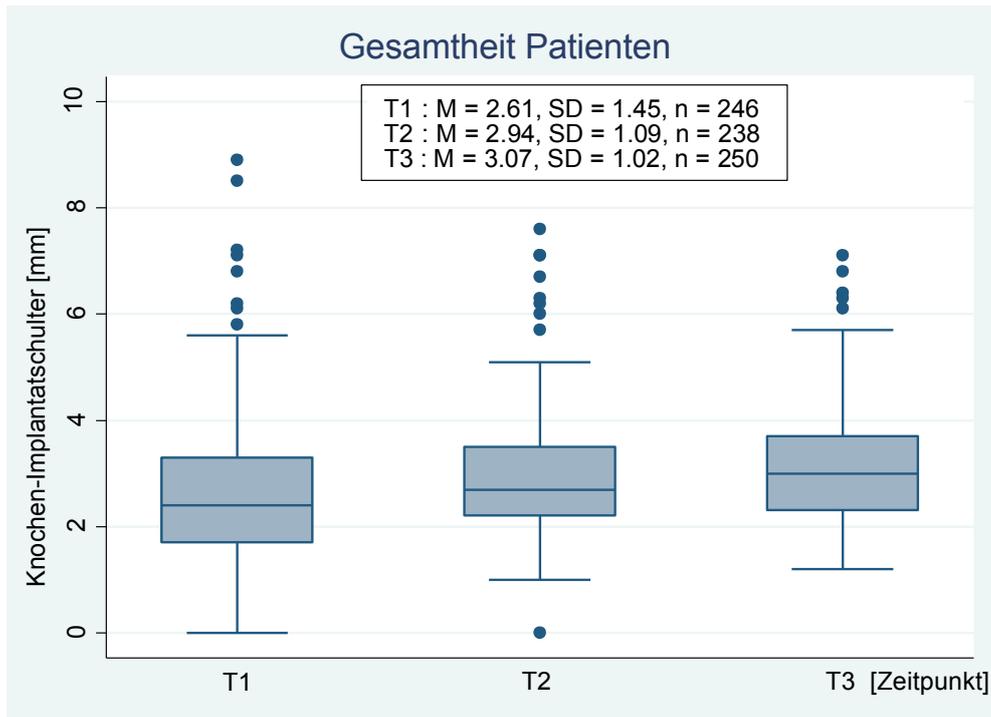


Abbildung 20: **Gesamtheit aller Patienten** (87 Patienten mit 125 Implantaten)
 Abhängiger t-test; Zeitpunkte T1= nach der Operation; T2= nach drei Monaten; T3= nach 1 Jahr;
 M= Mittelwert; N= Anzahl; SD= Standardabweichung
 Die vertikale Knochenveränderung zeigt vom Zeitpunkt T1 zu T2 ($p < 0.001$) und vom Zeitpunkt T1 zu T3 ($p < 0.001$) eine signifikante Differenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $< 1\%$.
 Keine signifikante Differenz des Knochenverlauf wurde vom Zeitpunkt T2 zu T3 ($p = 0.067$) ausgewertet.

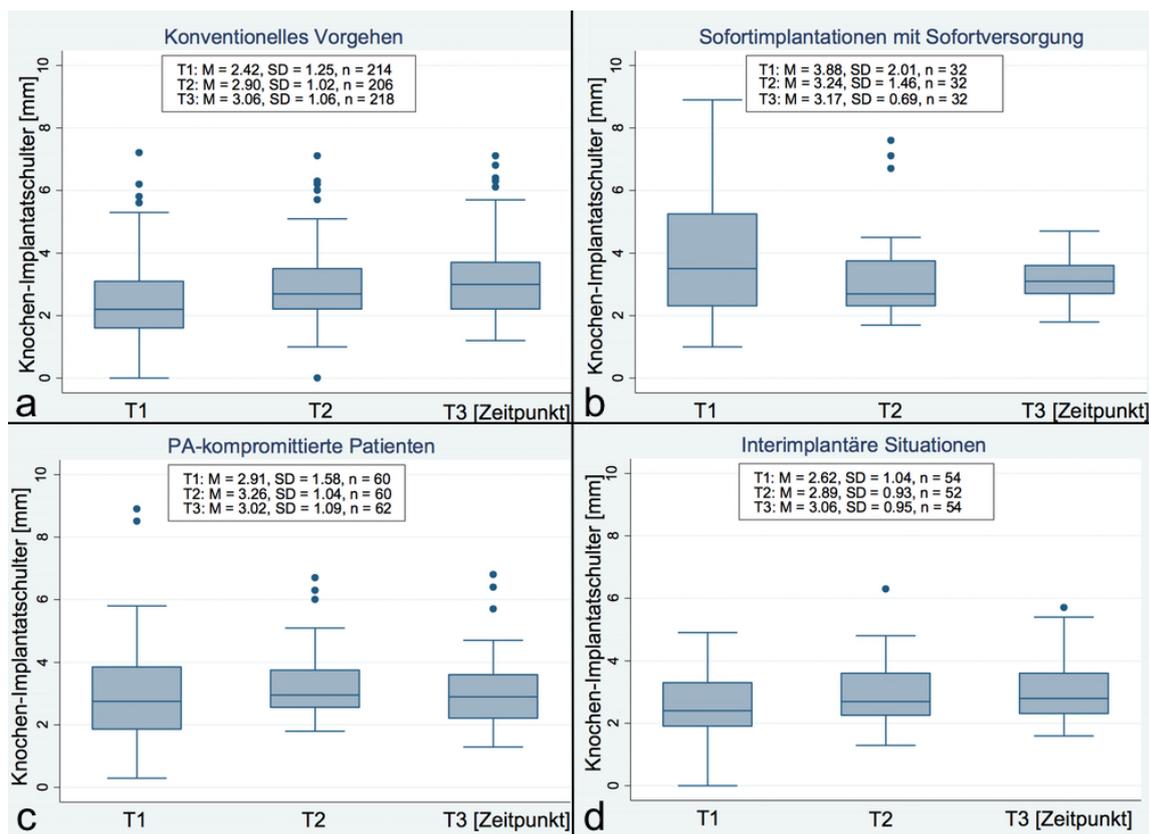


Abbildung 21: Zeitpunkte T1= nach der Operation; T2= nach drei Monaten; T3= nach 1 Jahr; M= Mittelwert, SD= Standartabweichung, n= Anzahl

a) Kohorte 1: Konventionelles Vorgehen (77 Patienten mit 109

Implantaten); Abhängiger t-test; Die vertikale Knochenveränderung zeigt vom Zeitpunkt T1 zu T2 ($p < 0.001$) und vom Zeitpunkt T1 zu T3 ($p < 0.001$) eine signifikante Differenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $< 1\%$. Im Gegensatz dazu wurde keine signifikante Differenz des Knochenverlauf vom Zeitpunkt T2 zu T3 ($p = 0.062$) ausgewertet.

b) Kohorte 2: Sofortimplantation mit Sofortversorgung (10 Patienten mit 16 Implantaten);

Abhängiger t-test; Die vertikale Knochenveränderung zeigt vom Zeitpunkt T1 zu T2 ($p < 0.038$) und vom Zeitpunkt T1 zu T3 ($p < 0.047$) eine signifikante Differenz bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $< 5\%$. Dagegen wurde keine signifikante Differenz des Knochenverlauf vom Zeitpunkt T2 zu T3 ($p = 0.777$) erfasst.

c) Kohorte 3: PA-kompromittierte Patienten (19 Patienten mit 31 Implantaten)

Abhängiger t-test; Der vertikale Knochenverlauf blieb zu den Zeitpunkten T1 zu T2 ($p = 0.059$), T2 zu T3 ($p = 0.129$) und T1 zu T3 ($p = 0.610$) stabil. Die Untersuchung ergab keine signifikante Differenz zu den gemessenen drei Zeitpunkten.

d) Kohorte 4: Interimplantäre Situationen (16 Patienten 26 Implantate)

Abhängiger t-test; Die vertikale Knochenveränderung zeigt vom Zeitpunkt T1 zu T2 ($p < 0.094$) und vom Zeitpunkt T2 zu T3 ($p < 0.138$) keine signifikante Differenz. Dagegen wurde eine signifikante Differenz des Knochenverlaufs vom Zeitpunkt T1 zu T3 ($p = 0.016$) bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $< 5\%$ erfasst.

3.3.1.5 Viele Patienten weisen ein günstiges Verhältnis von Kronenlänge zu Papillenhöhe auf

Nach Chu et al. 2009 liegt das als ideal definierte Verhältnis Kronen- zu Papillenrelationen (KPR) bei 42% (mesiale Papille) und 43% (distale Papille). Die Untersuchung gab Aufschluss darüber, in wie weit die Defektsituation nach Zahnverlust und Operation sich nach einem Jahr verbessert beziehungsweise nicht verschlechtert hat, wobei aufgezeigt wurde, wie viele Patienten an das definierte ideale Ergebnis von 42% beziehungsweise 43% heranreichten. Ausgenommen die Gruppe der Sofortimplantationen bestand als Ausgangslage immer ein Leerraum mit einem Defizit von mehr als 2 mm. Dies entsprach nach unserer Einteilung der Gruppe 4 (vgl. Diskussion Abschnitt 4.6). Die Balkendiagramme mit interpolierten Normalverteilungskurven zeigten zusätzlich die Häufigkeiten der klinisch erreichten Kronen-Papillenrelationen für alle Patienten, sowie für die verschiedenen Untergruppenvergleiche (Abb. 22 und 23 a-d).

In der Gesamtheit aller Patienten erreichten 38% (228 Messungen) ein ideales Ergebnis von 42% beziehungsweise 43% oder mehr. Die Relation der Kronenlänge zur Papillenhöhe lag bei allen Patienten im Mittel bei 36,9% (Abb. 22).

Die Patienten mit konventioneller Versorgung zeigten zu 34% (196 Messungen) das von Chu definierte, perfekte Ergebnis (Mittelwert KPR 36,8%). Im Vergleich dazu befanden sich deutlich mehr Patienten mit Sofortimplantation mit 46,9% (32 Messungen) über der Marke von 42% (Abb. 23a; Mittelwert KPR 37,5%).

Die Gegenüberstellung der Untergruppen zeigt, dass der Wert der parodontal kompromittierten Patienten (Abb. 23c; Mittelwert KPR 33%) mit einem idealem Ergebnis von 24,2% (62 Messungen) niedriger war, als der Wert der Vergleichsgruppe ohne parodontale Erkrankung mit 39,5%.

Der letzte Gruppenvergleich ergab in unserer Untersuchung einen Wert von lediglich 18,6% (43 Messungen) idealen Ergebnissen bei gemessenen interimplantären Zwischenräumen (Abb. 23d; Mittelwert KPR 29,7%), wobei die Implantate neben natürlichen Zähnen mit 40,2% besser abgeschnitten hatten.

Es wurde tendenziell eine Weichgewebevermehrung festgestellt.

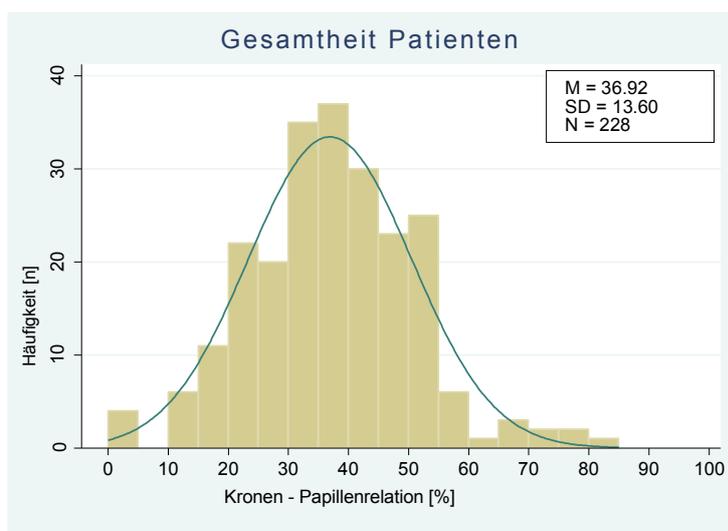


Abbildung 23:

Gesamtheit aller Patienten
(87 Patienten mit 228 Messungen)

Die X-Achse beschreibt das Verhältnis der Kronenlänge (Strecke 5) zu der Papillenhöhe (Strecke 4) nach einem Jahr; M= Mittelwert; N= Anzahl; SD= Standardabweichung.

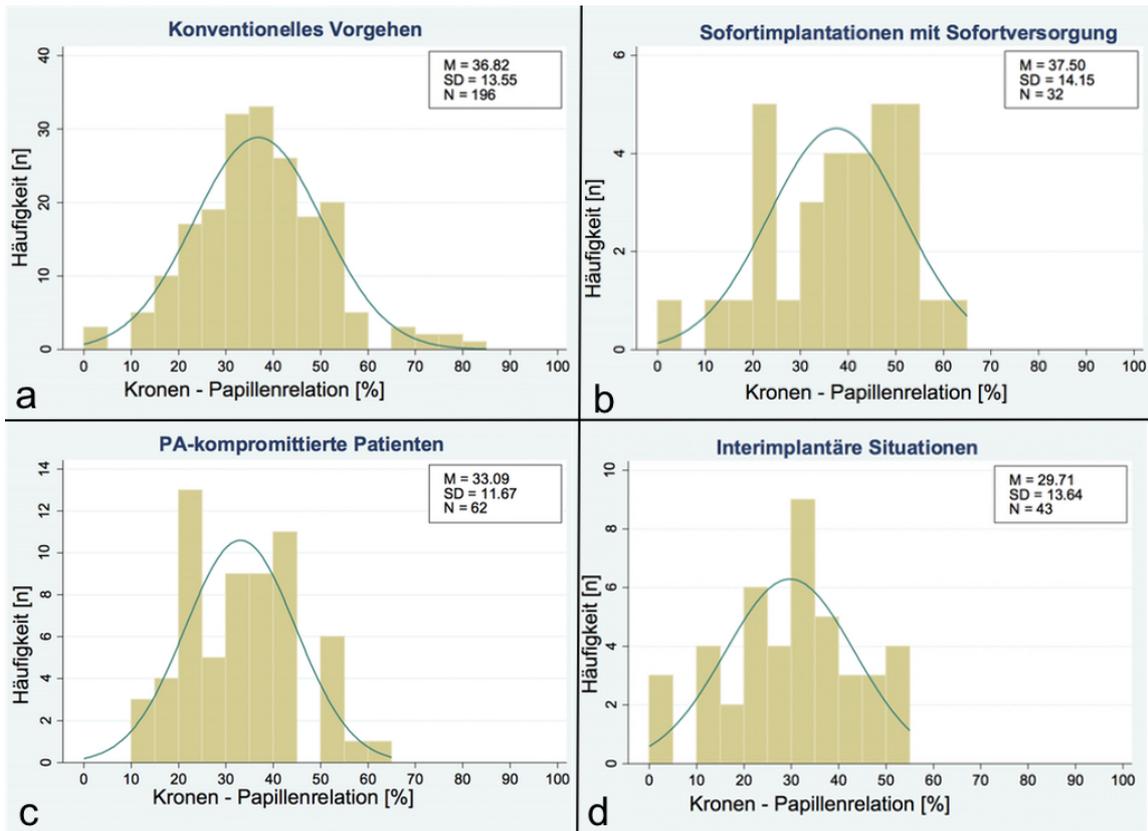


Abbildung 24: Die X-Achse beschreibt das Verhältnis der Kronenlänge (Strecke 5) zu der Papillenhöhe (Strecke 4) nach einem Jahr; M= Mittelwert; N= Anzahl; SD= Standardabweichung.

a) **Kohorte 1: Konventionelles Vorgehen** (77 Patienten mit 196 Messungen) nach einem Jahr.

b) **Kohorte 2: Sofortimplantation mit Sofortversorgung** (10 Patienten mit 32 Messungen) nach einem Jahr

c) **Kohorte 3: PA-kompromitierte Patienten** (19 Patienten mit 62 Messungen) nach einem Jahr.

d) **Kohorte 4: Interimplantäre Situationen** nach einem Jahr (16 Patienten mit 43 Messungen).

4 Diskussion

4.1 Problematik der Messkonzeption

Um neben dem Verhalten der Hart- und Weichgewebe das „ästhetische Potential“ erfassen zu können, war es notwendig definierte Streckenlängen genau und reproduzierbar zu bestimmen.

Die Strecke vom Knochenansatz am Implantat zum untersten Kontaktpunkt der Kronen (Strecke 7) metrisch zu erfassen, erwies sich bislang als großes Problem.

Röntgenologisch war es schwierig, den untersten Punkt der interdentalen Kronenkontaktpunktzone eindeutig zu identifizieren. Tarnow (Tarnow et al. 1992, Choquet et al. 2001) hatte in der standardisierten Aufnahmetechnik mit rechtwinklig zum Strahlengang positioniertem Röntgenfilm diese Strecke vermessen. Verkippungen und Achsenabweichungen des Zahnfilms erschwerten es jedoch, diesen Punkt reproduzierbar darzustellen. Der Frontbereich im Oberkiefer wies zudem keinen kleinen Kontaktpunkt, sondern spindelförmige Kontaktzonen zwischen den klinischen Kronen auf (Stappert et al. 2010). Der unterste Punkt dieser Kontaktzonen lag mittig im interdentalen Raum versteckt, wodurch seine Position sich im Röntgenzahnfilm und in der klinischen Aufsicht nicht genau bestimmen ließ. Zudem beeinträchtigten Überlagerungen der Zahnschmelz- oder der Kronenstrukturen mit Ihren Metallgerüsten die bildliche Darstellung. Auch vollkeramische Kronen hatten eine derart dichte Struktur, so dass das Röntgenbild alleine keinen zufriedenstellend bestimmbar messbaren Messpunkt erkennen ließ. Die neue Messmethode erfasste im Röntgenbild daher nur die Strecke bis zur Papillenspitze (Strecke 7 und 8), eine mögliche verbleibende Strecke von der Papillenspitze zum untersten Punkt der Kontaktzone wurde in der klinischen Auswertung erfasst (Strecke 6).

In der Literatur sind mehrere Versuche die Papillenspitze röntgenologisch darzustellen und zu vermessen dokumentiert. Der weitreichendste Ansatz, die Gewebestrukturen und gewünschten Distanzen radiologisch und klinisch zu messen, stammte von der Gruppe um Martegani (Martegani et al. 2007).

Hier wurde die Papillenformation in der Mundhöhle mit einer Bariumsulfatmischung beschickt, die im Röntgenzahnfilm eine entsprechende Aufhellung erkennen ließ. In ähnlicher Weise markierte auch Sun-A (Sun-A et al. 2011) die Papillenspitze mit einem röntgendichten endodontischen Sealer.

Nachteilig erwies sich bei beiden Markierungsformen (Martegani et al. 2007, Sun-A et al. 2011), dass durch Verkippungen des Zahnfilmes definiertes punktgenaues Bestimmen der Längen der einzelnen Messstrecken kaum möglich war. Die verwendeten röntgendichten Mischungen bildeten die Papillenformation durch die zu geringe Materialdichte diffus ab, so dass hier ein punktgenaues Messen auch durch die Überlagerungen der klinischen Kronenstrukturen nicht präzise genug möglich war. Die, in unserer Studie neu entwickelte Messkonzeption, erlaubte eine exakte Erfassung der Papillenspitze. Als sehr vorteilhaft zeigte sich die Verwendung von Wolframpulver in der Markierungsmischung, da durch deren hohe Dichte (19,3) sich die Papillenspitze trotz Überlappungen sehr röntgendichter Kronen-Metallstrukturen noch immer sehr scharf abzeichnete und röntgenologisch exakt erfasst werden konnte (Abb. 14) (Kniha et al. 2014).

Der zweite Punkt dieser Strecke 7 wurde bisher in der Literatur zumeist vom höchsten Punkt des Knochenkamms aus gemessen (Tarnow et al. 1992, Choquet et al. 2001). Problematisch ist jedoch, dass sehr oft keine Bildung einer prominenten interdentalen

Knochenspitze zustande kam, sondern sich der Knochenverlauf um die Implantate mit einer trichterförmigen Einziehung darstellte (Abb. 25b). Wo in diesen Fällen genau gemessen wurde, etwa in der Mitte der trichterförmigen Einziehung, oder am höchsten Punkt des Knochenkamms nahe dem Nachbarzahn (d.h. gar nicht am Implantat selbst), blieb bei den genannten Publikationen unklar. In der Auswertung der interimplantären Situationen kam es in der vorliegenden Studie immer zu einer geraden Knochenverlaufslinie, nie wurden Knochenspitzen zwischen zwei oder mehreren Implantaten gesehen (Abb. 25a).

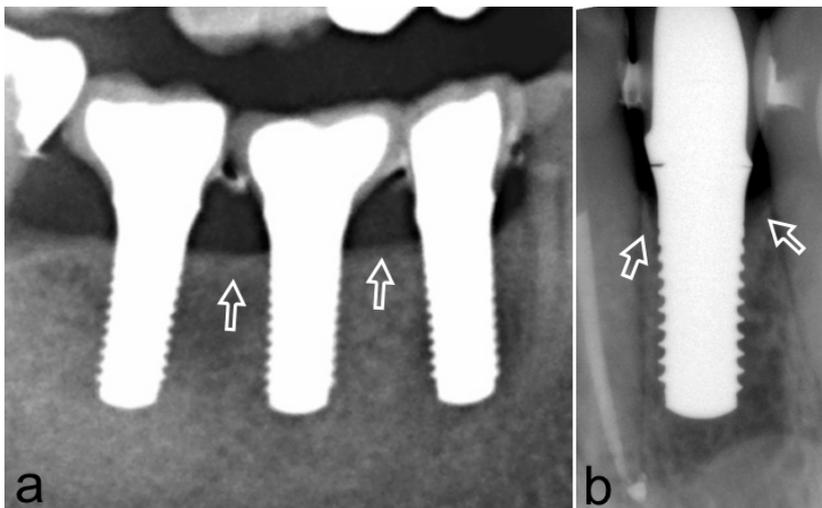


Abbildung 25: Röntgenaufnahmen von verschiedenen Implantatsituationen.
a) Gerader Knochenverlauf zwischen zwei oder mehreren Implantaten (Pfeil).
b) Kelchförmige Einziehungen (Pfeil) des Knochens um ein Keramikimplantat.

Es wurde in der aktuellen Studie generell nach der *Worst-Case* Messtechnik verfahren, bei der im Zweifel immer der schlechteste Messpunkt eingetragen wird. Dieser wurde als unterste Punkt des Knochenansatzes am Implantat (Strecke 7), unterster Punkt des Knochenansatzes am Nachbarimplantat (Strecke 8), oder unterster Punkt in einem erweiterten parodontalen Spalt am Nachbarzahn (Strecke 8) festgelegt. Gerade bei der typischen kelchförmigen Knochenformation an den meisten Implantaten war so bei allen Messungen ein einheitliches Verfahren gegeben, welches die Möglichkeit den Knochenansatz mal höher mal tiefer zu definieren reduzierte, um so reproduzierbare und vergleichbare Werte zu erhalten.

Um nun die fehlende Distanz von der Papillenspitze zum unteren Punkt der Kontaktfläche (Strecke 6) zu erlangen, wurde diese in einem standardisierten rechtwinkligen klinischen Bild erfasst. Um den Kontaktpunkt ohne Verfälschungseffekte eindeutig darzustellen, wurde ein dünner Ligaturendraht interdental eingehängt (Abb. 9), wodurch die Strecke 6 im klinischen Bild ausgewertet werden konnte.

Durch diesen Kunstgriff gelang so die Verknüpfung von klinischer und radiologischer Bildgebung mit interdentaler Markierung der Papillenspitze, wodurch die Strecke 7 und 8 nun exakt erfasst werden konnte (Abb. 26). Nachvollziehbar und ohne Störeffekte konnten alle gewünschten Messstrecken metrisch exakt gemessen, beziehungsweise berechnet und der wissenschaftlichen Analyse zugeführt werden.

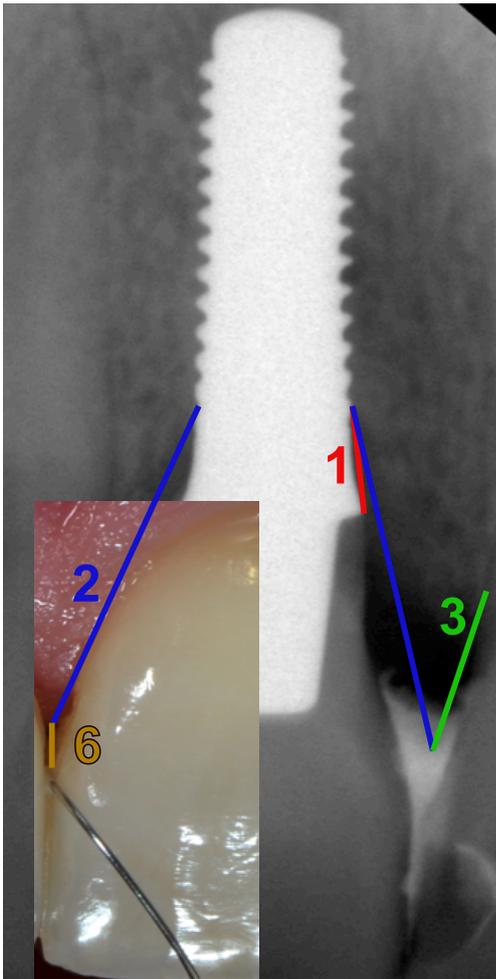


Abbildung 26: Zeigt zur der Veranschaulichung die Verknüpfung der klinisch und röntgenologisch bestimmten Streckenlängen.

1) Messstrecke 1: Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter.

2) Messstrecke 2: Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze.

3) Messstrecke 3: Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze.

6) Messstrecke 6: Papillenspitze zu dem untersten Punkt der Kontaktflächen der Kronen.

Die Kriterien nach denen eine Papillenformation einzuschätzen ist, waren bislang in der Literatur sehr ungenau definiert. Tarnow sprach immer von interdentalen Leerräumen (vorhanden oder nicht vorhanden). Seine Klassifikation der Papillendefizitsituation berücksichtigte nach Höhengeneinteilung 3 Gruppen (Nordland und Tarnow 1998). Nach Jemt (Jemt et al. 1997) waren 4 unterschiedliche Klassen ebenfalls nur unscharf voneinander abgegrenzt, so dass keine genaue metrisch fassbare Weichgewebseinschätzung möglich ist. Auf Grund unserer neu entwickelten präzisen Messmethodik war es möglich, erstmals Papillendefizite (Messstrecke 6) mit geringerer Länge als 2 mm genau zu erfassen, auch wenn diese subjektiv nicht als interdentaler Leerraum empfunden wurden. Studien haben gezeigt, dass der Patient als Laie einen „Leerraum“ erst ab einer Distanz der Papillenspitze zum Kontaktpunkt von mehr als 3 mm realisiert. Zahnärzte, Prothetiker und als besonders kritisch geltende Kieferorthopäden nehmen dieses Defizit bereits ab 2 mm Distanz wahr (Kokich et al. 1999, Kokich et al. 2006, Lavacca et al. 2005).

Wir versuchten die Klassifikation nach Jemt in absolute metrische Zahlenwerte umzusetzen. Jemt sprach bei der Gruppeneinteilung von einer fehlenden Papille in Gruppe 0, weniger als der Hälfte der Papille in Gruppe 1, der Hälfte der Papille oder mehr in Gruppe 2, einer vollen Papille in Gruppe 3 und einer hyperplastischen Papille in Gruppe 4.

Eine exaktere Klassifizierung in vier Gruppen anhand absoluter Messwerte konnte nun

realisiert werden. Um auch ein minimales Defizit zu erfassen und auszuwerten (auch im 0,2 mm Bereich), sprachen wir in der Gruppe 1 nur dann von einer „vollen“ Papille, wenn wirklich keine Reststrecke von der Papillenspitze zum Kontaktpunkt vorhanden war (Abb. 27).

Weitere Unterteilungen lagen im Bereich 0,1mm bis kleiner 0,6mm (Gruppe 2, Abb. 28), ab 0,6mm bis 2,0mm (Gruppe 3, Abb. 29). Die Gruppe 2 nach Jemt mit einer halbvollen Papille oder mehr schien nicht genau genug definiert. Deshalb wurde eine Unterteilung bei der 0,6mm Grenze vorgenommen. Die Gruppe 4 wurde anhand der klinisch wahrnehmbaren Grenze oberhalb von 2mm Defizit definiert (Abb. 30). Die folgenden Abbildungen dienen zu dem Verständnis der Gruppeneinteilung.



Abbildung 27: Gruppe 1: Komplette Papillenformation mit keinem sichtbarer Leerraum und keinem Defizit.

a) Volle Papille an dem Keramikimplantat an Position 12.

b) Rot-Weiß Ästhetik bei dem Lachen der gleichen Patientin (Implantat Position 12).



Abbildung 28: Gruppe 2: Die Reststrecke von der Papillenspitze zum untersten Punkt der Kontaktzone beträgt $0 < x < 0,6$ mm. Es ist kein sichtbarer Leerraum mit einem geringen Defizit vorhanden.

a) Rot-Weiß Ästhetik Implantat 21.

b) Implantat 21 mit einer Reststrecke von $0 < x < 0,6$ mm.



Abbildung 29: Gruppe 3: Die Reststrecke von der Papillenspitze zum untersten Punkt der Kontaktzone beträgt $0,6 \leq x \leq 2$ mm. Es ist kein sichtbarer Leerraum mit einem mäßigen Defizit vorhanden.

- a) Rot-Weiß Ästhetik Implantat 11.
- b) Implantat 11 mit einer Reststrecke von $0,6 \leq x \leq 2$.



Abbildung 30: Gruppe 4: Die Reststrecke von der Papillenspitze zum untersten Punkt der Kontaktzone beträgt $x > 2$ mm. Es ist ein sichtbarer Leerraum mit einer defizitären Papillenkonfiguration vorhanden.

- a) Lachlinienverlauf bei Implantatversorgung 12.
- b) Rot-Weiß Ästhetik Implantat 12.

4.2 Abschätzung der Messgenauigkeit

Die Abweichung der Wiederholungsgenauigkeit der Messung mit dem Messprogramm beträgt maximal nur 0,18% (Tab. 4).

In der Literatur wurde mehrfach beschrieben, dass trotz Verfälschungsfaktoren, eine realitätsnahe Messung mit einem standardisierten Zahnfilm auf 0,2mm genau möglich ist. Auch die noninvasive Messung der Weichgewebeshöhe mit einem röntgenopaquen Material wird als eine sehr genaue Methodik angesehen (Hermann et al. 2001, Lee et al. 2005).

Die Korrelation zwischen der tatsächlichen und der röntgenologischen Messung ist sehr hoch (Korrelationskoeffizient nach Pearson: 0,903 bis 0,993, $P < 0,01$).

4.3 Subjektive Patientenzufriedenheit - Patientenscore

Die Erfassung der subjektiven Einschätzung der Ergebnisqualität aus Sicht des Patienten ist seit geraumer Zeit Thema einiger Studien. Wenngleich der Patient in der Regel nicht das kritische Augenmerk eines Zahnarztes, Kieferorthopäden oder Prothetikers besaß, so war es doch von großem Interesse ein Bewertungsspektrum aus „Kundensicht“ zu erhalten (Chang et al. 1999, Kokich et al. 1999, Kokich et al. 2006, Lavacca et al. 2005). Beeindruckend erwies sich die Auswertung der individuellen subjektiven Empfindung der Patienten. Die vergebenen „Schulnoten“ zeigten doch eine fast durchweg hochzufriedene, auch emotional empfundene, Spitzenbewertung. Zu 86,2% wurde die Note 1 und kein einziges Mal die Noten 4, 5 oder 6 vergeben.

Hierbei wurde die komplette Arbeit, bestehend aus Implantat und prothetischer Versorgung durch den Patienten bewertet. Folglich konnte auch ein Störfaktor an der Krone (beispielsweise ein zu starker oder einmal ein fehlender Kontakt) die Note mindern, ohne dass dies irgendetwas mit der Biologie des neuartigen ZrO₂-Implantates zu tun hatte.

Interessanter Weise berichteten die Patienten von einem normalen Zahngefühl, obwohl die Sensibilität des Implantates mit derjenigen eines normalen Zahnes anatomisch nicht zu vergleichen ist.

Ein Auftreten von Schleimhautirritationen mit Fremdkörpergefühl wurde nie beobachtet und die Weichteilsituation stellte sich im klinischen Bild immer reizlos dar. Die gemessenen Taschensondierungstiefen und Blutungsneigungen bei Sondierung ließen auf ein weitgehend bioinertes Verhalten der Keramikstruktur schließen. Die Beobachtungen entsprachen hier im Großen und Ganzen den Werten der benachbarten natürlichen Zähne.

Das Thema Keramik hat in der Gesellschaft einen besonderen Stellenwert, da es sich um einen bioinerten weißen Stoff ohne metallische Eigenschaften handelt, welcher zudem auch noch eine ästhetische ansprechende Zahnfarbe besitzt. Dies führte nicht selten soweit, dass Patienten auf die etablierten Titanimplantate komplett verzichten wollten und eine vollkeramische Versorgung wünschen. Auch diese enorm hohe Akzeptanz der Implantate kam in den Ergebnissen der Patientenscores zum Ausdruck.

4.4 Der Zusammenhang zwischen den gemessenen Streckenlängen vom Knochenansatz an Implantat und Nachbarzahn zum Kontaktpunkt und einer vollen Papillenformation

Publikationen anderer Autoren hatten die Frage beleuchtet, was der entscheidende Faktor war, der das Ergebnis der Papillenformation beeinflusst. Tarnow (Tarnow et al. 1992) und die meisten anderen Autoren sahen die Länge der Distanz vom höchsten Punkt des Knochenkamms zur untersten Stelle der interdentalen Kontaktfläche (Strecke 7) als den alleinig ausschlaggebenden Faktor an. Je länger diese Strecke, desto größer das Risiko eines ästhetisch wahrnehmbaren Defizits der Papillenformation.

Es fanden sich ebenfalls Publikationen die ausführen, dass die Distanz Knochenansatz am Nachbarzahn (Strecke 7) zur untersten Stelle der interdentalen Kontaktzone der alleinig bestimmende Faktor (Kwon et al. 2009), oder zumindest ein wichtiger Kofaktor war (Cho et al. 2006).

In unserer Auswertung wurde dieser Zusammenhang ebenfalls untersucht. Wir konnten allerdings nur eine schwache Korrelation zwischen der Streckenlänge 7 und der

Ausprägung der Papillenformation (d.h. der Zugehörigkeit zu den Gruppen 1 – 4) beobachten. Die Streckenlänge 8 zeigte im Gegensatz dazu eine starke Korrelation mit der Papillenformation.

Je länger beide Strecken (Messstrecken 7 und 8) waren, desto höher war das Risiko einer fehlenden interdentalen Papille, wobei die Länge der Strecke 8 den größeren Einfluss hatte. Unterschritt eine oder beide Strecken die Länge von 6mm so wurde nie ein sichtbares Papillendefizit beobachtet. Bei unserer Untersuchung lag für diesen Fall die Wahrscheinlichkeit für eine voll ausgeprägte Papille bei 100%.

4.5 Die Veränderung des crestalen Knochenansatzes am Implantat zu drei verschiedenen Zeitpunkten

Der Ober- und Unterkiefer lässt sich in Kieferbasis und Alveolarfortsatz unterteilen. Um eine Aussage bezüglich des Verhaltens des vertikalen Knochenverlaufs am Keramikimplantat treffen zu können, wurde in unserer Studie die Strecke vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter ausgewertet. Dabei wurde für das gesamte Patientengut ein signifikanter Unterschied direkt nach der Implantatsetzung am Zeitpunkt (T1) zu den zwei anderen Terminen (T2 und T3) festgestellt. Ab der zweiten Messung (T2) bis zur Messung nach einem Jahr (T3) veränderte sich der Knochen dagegen kaum. Für diesen Zeitraum konnten keine signifikanten Veränderungen nachgewiesen werden (Abb. 20 und 21).

Das durchschnittliche Hartgewebeverhalten zeigte vom Zeitpunkt T1 bis T3 bei Patienten mit konventioneller Versorgung und bei Patienten mit zwei oder mehreren Implantaten nebeneinander eine Verringerung der Knochenmasse. Dagegen bildete sich bei Patienten mit einer Sofortimplantation sogar neuer Knochen und es kam zu einer Vermehrung der Knochenmasse im Bereich des Alveolarfortsatzes.

In der unbelasteten Einheilphase zeigte sich in den ersten drei Monaten eine deutliche Knochenanpassung. Knochenstrukturen, die funktionell belastet wurden blieben stabil, oder erfuhren sogar eine Volumenvermehrung, unbelasteter Kochen wurde jedoch abgebaut. In der okklusal belasteten Phase nach drei Monaten trat in der Regel kein vertikaler Knochenverlust mehr auf. Diese Änderungen der Knochenmasse spielen in der Literatur, aber gerade auch bei den Erfolgskriterien der belasteten Implantate nach Albrektsson (Albrektsson et al. 1986) eine große Rolle. Der Verlust durfte nicht größer als 0,20mm pro Jahr sein, da sonst Implantatverlust droht. Die Knochenanpassung der belasteten Implantate lag erfreulicherweise immer unterhalb dieses Limits und zeigte sogar teilweise einen Knochenzuwachs unter Beanspruchung (vgl. 3.3.2.4).

4.6 Ästhetisches Potential der ZrO₂-Implantate

Die individuelle Ausgangssituation war durch die unterschiedlich lange Dauer des Zahnverlustes bedingt, welche zu Abbauerscheinungen des mechanisch unbeanspruchten Alveolarknochens und des darüber liegenden Weichgewebes führte (Vijendra et al. 2013).

Nach Literaturangaben ist im Titanbereich immer von einer Rezession bis zu 1mm oder mehr auszugehen. (Tymstra et al. 2010 und 2011, Cosyn et al. 2011, Cabello et al. 2013, Small und Tarnow 2000). Bei einem Patient, der zufällig ein Keramikimplantat neben einem Titanimplantat besaß, konnte eine Rezession an dem Titanimplantat, jedoch kein Geweberückgang am ZrO₂-Implantat beobachtet werden (Abb. 31). Als Folge kam das grau erscheinende Titanmaterial an der Implantatschulter zum Vorschein. Im Bereich

der Oberkieferfrontzähne stellte dies eine deutliche Beeinträchtigung des ästhetischen Ergebnisses dar.

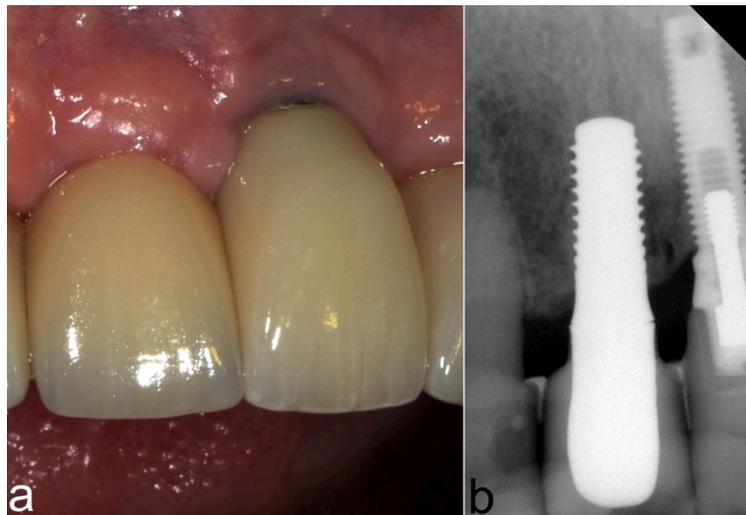


Abbildung 31:

a) Nebeneinanderliegendes Keramikimplantat in Zahnposition 11 (rechter oberer mittlerer Schneidezahn) und Titanimplantat in Zahnposition 12 (linker oberer mittlerer Schneidezahn). Beispiel für eine vestibuläre Rezession mit sichtbarer grauer Implantatschulter am Titanimplantat in Zahnposition 21.

b) Röntgenologisch erhobener Befund ein Jahr nach Implantation des Keramikimplantats in Zahnposition 11 neben dem Titanimplantat.

Nach (Chu et al. 2009) ist die ideale ästhetische Erscheinung erreicht, wenn die Höhe der Papillenformation einen Wert von 42% bis 43% der klinischen Kronenlänge einnimmt (Strecke 4 zu Strecke 5). Basierend auf dieser Literaturangabe wurden in der vorliegenden Arbeit alle Werte die über 42% beziehungsweise 43% lagen als ästhetischer Erfolg gewertet, alle Werte darunter als nur eingeschränkt erfolgreich.

Die in unserer Arbeit erhobenen Befunde zur Papillenformation zeigten, dass die Gesamtheit der Patienten, die Patienten mit konventioneller Versorgung und die mit Sofortimplantation sehr nahe an das von Chu definierte ideale Ergebnis heranreichten. Bei den hier untersuchten Patienten wurden im Mittel Werte von 36% bis 37% erreicht. Insgesamt 88% der Messungen zeigten eine volle Papillenformation mit einer Reststrecke von weniger als 2mm zum unteren Kontaktpunkt der Kronen.

Ein Jahr nach operativer Versorgung stellten sich viele Patienten mit gut ausgeprägter Papillensituationen vor (Abb. 32). Durchweg fand eine Gewebevermehrung der Weichteile im ersten Jahr statt, in keinem Fall stellten wir bei den Zirkonimplantaten die bei Titanimplantaten beschriebene Ausbildung einer Rezession fest (Tymstra et al. 2010 und 2011, Cosyn et al. 2011, Cabello et al. 2013, Vijendra et al. 2013, Small und Tarnow 2000).

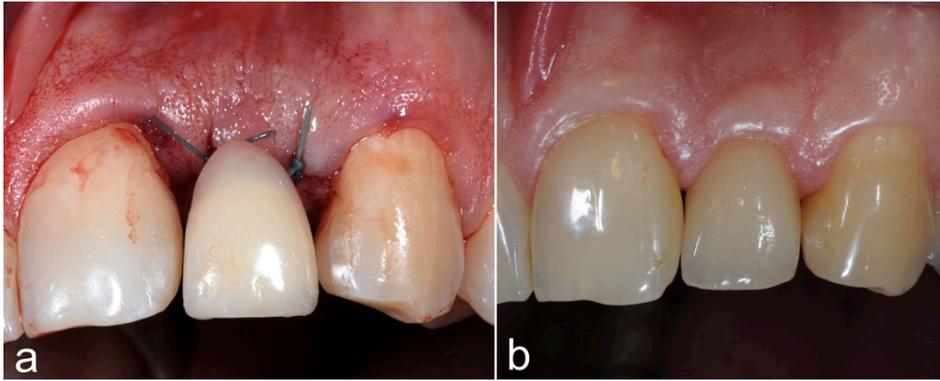


Abbildung 32: Entwicklung der Papillensituation im zeitlichen Verlauf.

a) Implantat in Zahnposition 22 (linker oberer seitlicher Schneidezahn) mit defizitärer Papillensituation zum Operationszeitpunkt.

b) Implantat in Zahnposition 22 (linker oberer seitlicher Schneidezahn) 22 mit voller Papille ein Jahr nach der Operation .

Unsere Ergebnisse legten nahe, auf eine übertrieben rechteckige Kronenform zu verzichten und damit nicht den Leerraum interdental auszufüllen (Lavacca et al. 2005, Cho et al. 2006), da dies nie ein ideales ästhetisches Endergebnis erbrachte. Eine derartige Versorgung verhinderte die weitere Weichgewebsentwicklung und nützte das Regenerationspotenzial bei Zirkonimplantaten nicht.

Eine trianguläre Form, welche dem Gesamtbild der physiologisch vorhandenen Kronenformen angepasst war, erschien immer ästhetisch gefälliger, sollte aber auch der zu erwartenden Papillenentwicklung den nötigen Freiraum bieten. Dies war ein neuer prothetischer und zahntechnischer Ansatz, der bei Titanimplantaten nicht zu empfehlen ist, da dort bei so einem Vorgehen das Risiko der sog. „schwarze Dreiecke“ deutlich erhöht ist.

Es ist erneut hervorzuheben, dass für die Studie ein Patientengut untersucht wurde, welches in keiner Form vorselektiert wurde.

Die Sondierungstiefen an Keramikimplantaten entsprechen zumeist den Taschentiefen der natürlichen Zähne und sind durchschnittlich um circa 2 mm geringer als die für vergleichbare Titanimplantate in der Literatur angegebenen Werte (Choquet et al. 2001).

Die *Survival*- (95.3%) und *Succesrate* (94.0) (Albrektsson et al. 1986, Schnitman et al.1978, Buser et al. 1990, Naert et al. 1992, D'Hoedt 1992) war bei den mit Zirkonimplantaten versorgten Patienten mit den zu Titanimplantaten publizierten Angaben vergleichbar (Buser et al. 1990, Naert et al. 1992).

4.7 Die Betrachtung verschiedener Ausgangssituationen bei der Implantatversorgung der Patienten

Entsprechend der Art der Versorgung und der parodontalen Ausgangssituation wurden vier Kohorten von Patienten unterschieden und als Untergruppen gesondert ausgewertet. Die Kriterien für die Unterteilung der Patienten richteten sich nach der Art der Implantatversorgung (konventionelles Versorgung, Sofortimplantation mit Sofortversorgungen), sowie der Ausgangssituation (parodontal kompromittierte Patienten, Versorgung mit zwei oder mehreren nebeneinanderliegenden Implantaten).

4.7.1 Patienten mit konventioneller Versorgung (Kohorte 1)

Die größte Untergruppe nahmen die Patienten ein, die konventionell versorgt wurden, d.h. bei denen nach etwa 3 bis 4 Monaten nach Zahnverlust die Versorgung mit dem Implantat erfolgte. Unsere Auswertung zeigte im Vergleich zur Gesamtheit aller Patienten keine Unterschiede bezüglich Patientenscore und parodontalem Untersuchungsergebnis. Auch die Messwerte zum Knochenverhalten am Implantat (Strecke 1a-c) und vom Knochenansatz am Implantat und Nachbarzahn zu der Papillenspitze (Strecke 7 und 8) zeigten keinen signifikanten Unterschied zum Gesamtkollektiv aller untersuchten Patienten.

4.7.2 Patienten mit Sofortimplantationen (Kohorte 2)

Bei den Patienten mit Sofortversorgung nach Zahnverlust stellte sich die Situation etwas differenzierter dar. Bei den untersuchten Implantaten zeigte die Auswertung der Hartgewebe und Weichteile keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zu den Patienten der konventionell versorgten Gruppe. Die Patienten mit Sofortversorgung wiesen sogar die beste Kronen-Papillen-Relation mit 37,5% auf. Ein ausgesprochen ästhetisches Ergebnis nahe an der als ideal definierten Marke von 42% beziehungsweise 43%. Bei 11 Patienten mit 17 Implantaten lag nur ein Misserfolg vor, der mit einem in der aktuellen Situation entwickelten Bruxismus in Verbindung gebracht wurde.

Zudem zeigten die Patienten mit Sofortimplantation nach der Setzung erstaunlicherweise einen Knochenzuwachs um die Implantate herum. Ein möglicher Grund hierfür war die Implantatsetzung in eine Alveole nach zuvor erfolgter Zahnextraktion, bei der das Gewinde hauptsächlich im unteren Drittel der Knochenhöhle griff. Bei mechanischer Beanspruchung entstand so ein Reiz, der zur Auffüllung des entstandenen Spaltraumes ausreichte. Diese Interpretation wurde durch die größeren Werte der Strecke 1 (Knochenansatz zu der Implantatschulter) bei der Messung zum Zeitpunkt der Operation (Abb. 21b; T1) unterstützt. Nach einem Jahr zeigte die Auswertung der Patienten mit Sofortimplantationen einen ähnlichen guten Wert der Knochenverhältnisse.

In der Literatur erfolgt die Risikoeinschätzung sehr unterschiedlich. Während einzelne Publikationen keinerlei Unterschiede in der Erfolgsquote bei Sofortversorgung versus unbelasteter Einheilung berichteten (Den Hartog et al. 2008, Ganeles et al. 2008, Knoernschild 2012), kamen andere Untersuchungen auf bis zu 40% Verlustanteil der Implantate gegenüber 3% Verlustquote bei konventioneller Versorgung (Canizarro et al. 2010). Unsere Untersuchungen unterstützten die Aussage, dass bei Sofortimplantation ein höheres Risiko bestand als bei konventioneller Versorgung, wobei das ästhetische Resultat Vorteile aufzeigte.

4.7.3 Parodontal kompromittierte Patienten (Kohorte 3)

Enorme Anforderung an die Implantologen und an das verwendete Material werden gerade im ästhetisch wichtigen Bereich gestellt, damit ein der natürlichen Situation ähnlichen Zahnersatz generiert werden kann. Die parodontal kompromittierten Patienten, die schon von Haus aus mit Weichgeweberückgang belastet waren und die in der restlichen Dentition schon „schwarze Dreicke“ aufwiesen, zeigten ebenfalls eine Gewebevermehrung um die Zirkonimplantate herum. Dieses Gewebe füllte zwar die Interdenträume nicht komplett auf, erreichte aber das Niveau der restlichen Zähne.

Das Resultat der Behandlung war ein harmonisches klinisches Bild, mit dem sich die Patienten sehr zufrieden zeigten (Patientenscore: 17x Note 1/ 2x Note 2).

Die Parodontitiserkrankung stellte einen besonderen Risikofaktor für die bakterielle Periimplantitis dar. Im klinischen Bild können sich Symptome wie Knochenverlust, aber auch gereizte Schleimhäute mit tiefen bakteriell infizierten Taschen darstellen. Im hier untersuchten Patientengut wurde keine einzige Periimplantitis festgestellt. Vielmehr zeigte sich eine weitgehend reizlose Mukosa die den Implantaten fest anlag (PBI 0,3 im Durchschnitt). Die Sondierungstiefen an den Implantaten mit im Durchschnitt 1,54 mm entsprachen denen der natürlichen Zähne mit im Durchschnitt 1,59 mm (Tab. 7). Auch das Knochenniveau zeigte im Vergleich zu den übrigen Patienten ein vergleichbar günstiges Ergebnis bezüglich der Distanz zwischen Knochen Ansatz und Implantatschulter (Abb. 21c, Strecke 1).

4.7.4 Patienten mit nebeneinanderliegenden Implantaten (Interimplantäre Situationen - Kohorte 4)

Bei Patienten mit nebeneinanderliegenden Implantaten zeigten sich nach einem Jahr sehr günstige Gingivagirlanden und Papillenformationen. Es wurde kein sichtbares Papillendefizit ermittelt. Zum Zeitpunkt der definitiven Prothetik wurde jedoch kein interdentaler Freiraum für die weitere Entwicklung der Papillenformation belassen, sondern der Interdentalraum zwischen den Implantatpfeilern wurde nach derzeit gängiger Praxis weitgehend mit einer rechteckigen Kronenformation geschlossen. Dies war der Grund warum wir in unserer Auswertung keine „Leerräume“ hatten und alle Papillen bis zum Kontaktpunkt reichten (Abb. 17d und 20d). Zu dieser Interpretation passte auch, dass die Höhe der Papillenformation in Bezug zur klinischen Kronenlänge ein reduziertes Ergebnis von 29,48% aufwies und den angestrebten Idealwert von 42,5% (Chu et al. 2009) nicht erreichte. Zukünftig sollte im zahntechnischen Bereich eine andere Ausformung der Kronenformation angestrebt werden um bei Zirkonimplantaten zu idealeren und ästhetisch ansprechenderen Ergebnissen zu kommen.

4.8 Schlussfolgerung

Die im Rahmen dieser Studie untersuchten einteiligen Zirkonimplantate zeigten nach einem Jahr eine sehr gute Einheilung in die umliegenden Weichgewebe und in den darunter liegenden Knochen. Es konnte weder eine Tendenz zu Schleimhautentzündung, noch eine Periimplantitis oder Plaqueanlagerung beobachtet werden. Stattdessen vermehrte sich das umliegende parodontale Gewebe sogar und füllte die interdentalen Räume auf, obwohl bei Operation in den meisten Fällen ausgeprägte Defizite vorhanden waren.

Interessanterweise heilten die Keramikimplantate auch sehr gut in ihr knöchernes Lager ein und entwickelten unter der Kaubelastung zudem keine vertikalen Verluste der Knochenverlaufslinie.

Aus den Befunden der Patienten mit Sofortimplantation nach Zahnverlust zeigte sich, wie vorteilhaft eine frühzeitige Unterstützung des Weichgewebes um ein Implantat herum, durch eine aus der Okklusion genommenen Krone für das ästhetische Ergebnis war.

Anders als in der Literatur angegeben, bestand in unserer Studie nur eine schwache Korrelation zwischen der Länge der Strecke vom Knochenansatz zum Kontaktpunkt der

Kronen (hier als Strecke 7 bezeichnet) mit der Papillenformation. Bei der vorliegenden Studie zeigte sich stattdessen eine starke Korrelation zwischen der Ausformung der Papillenformation und der Länge der Strecke vom Knochenansatz am Nachbarzahn zum Kontaktpunkt der Kronen (hier als Strecke 8 bezeichnet).

Unsere Untersuchungen zeigten bei Versorgungen mit Zirkonimplantaten bei allen Patienten und bei den Patienten der vier Untergruppen (Konventionelle Versorgung, Sofortimplantation und prothetische Sofortversorgung, parodontal kompromittierten Patienten, Patienten mit zwei oder mehr nebeneinanderliegenden Implantaten) sehr gute klinische und röntgenologische Ergebnisse. Diese Ergebnisse waren den in der Literatur berichteten Ergebnissen bei Titanimplantaten vergleichbar, beziehungsweise übertrafen diese in einzelnen Punkten sogar.

5 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war es, Erkenntnisse über den Verlauf der Weich- und Hartgewebereaktion nach Versorgung mit einteiligen dentalen Zirkonimplantaten zu erlangen. Dafür wurden 117 Patienten klinisch und röntgenologisch unmittelbar nach Implantatsetzung, nach dreimonatiger Einheilphase und nach einem Jahr untersucht.

Mit Hilfe einer neu entwickelten Messmethode konnte erstmals die Länge der Strecke vom obersten Knochenansatz am Implantat bis zu der aus parodontalem Weichgewebe gebildeten Papillenspitze und weiter bis zur untersten Zone der Kontaktfläche des interdentalen Kronenkontakts erfasst werden.

Dabei zeigten die einteiligen Zirkonimplantate eine sehr gute Beziehung zum umliegenden Weichgewebe, welches sich sogar vermehrte und die interdentalen Räume auffüllte. Es zeigte sich eine starke Korrelation zwischen der Ausprägung (d.h. Höhe) der Papillenformation und der Länge der Strecke vom Knochenansatz am Nachbarzahn zum Kontaktpunkt der Kronen. Fällt diese Distanz kleiner als 6mm aus, so findet sich in 100% der Fälle eine volle Papille, welche die Zwischenräume zwischen den Zahnkronen ausfüllt.

Die Lage der Knochenverlaufslinie um die Keramikimplantate blieb nach einsetzender Kaubelastung ab dem Zeitpunkt der prothetischen Versorgung bis zum Zeitpunkt der Einjahresmessung unverändert.

Die vorliegende Auswertung zeigte, dass die untersuchten Zirkonimplantate in der Klinik für alle Patienten, aber auch für die jeweils gesondert betrachteten Untergruppen (Konventionelle Versorgung, Sofortimplantation und prothetische Sofortversorgung, parodontal kompromittierten Patienten, Patienten mit zwei oder mehr nebeneinanderliegenden Implantaten) sehr gute, funktionell und ästhetisch ansprechende Ergebnisse ermöglichen.

6 Literaturverzeichnis

1. Akagawa Y, Hosokawa R, Sato Y, Kamayama K. Comparison between freestanding and tooth- connected partially stabilized zirconia implants after two years function in monkeys: a clinical and histologic Study. *J Prosthet Dent*, 1998, 80; 551-558
2. Akagawa Y, Hosokawa R, Sato Y, Kamayama K.
In vitro reactions of human osteoblasts in culture with zirconia and alumina ceramics.
Journal of Prosthetic Dentistry, 1998 Nov, 80, 551-558
3. Albrektsson, T., Hansson, H.A., Ivarsson, B.
Interface analysis of titanium and zirconium bone implants
Biomaterials, 1985, 6; 97-101
4. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Ericson RA.
The long term efficiency of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success.
Int J Oral Maxillofac Implants, 1986, 1; 11-25
5. Andreatelli B, Kohal R.
Fracture strength of zirconia implants after artificial aging.
Clinical Oral Impl Res, 2009, 11; 158-166
6. Araujo M, Linder E, Wennström J, Lindhe J.
The influence of Bio – Oss Collagen on healing of an extraction socket: An experimental study in the dog.
Int J Periodont and Restorative Dent, 2008, 28; 123 – 135
7. Brägger U, Hugel-Pisoni C, Bürgin W, Buser D, Lang N P.
Correlations between radiographic, clinical and mobility parameters after loading of oral implants with fixed partial dentures. A 2-year longitudinal study.
Clin Oral Implants Res, 1996, 7; 230–239
8. Bidra AS, Rungruanganunt P.
Clinical outcomes of implant abutments in the anterior region: a systematic review.
J Esthet Restor Dent, 2013, 25; 159-176
9. Blaschke C, Volz U.
Soft and hard tissue response to zirconium dioxide dental implants – A clinical study in man.
Neuroendocrinology Letters, 2006, 27; 69–72

10. Borgonovo A, Censi R, Varassori V.
Survival and Success rate of dental zirconia implants. 5 – clinical follow up.
Dentale Implantologie, 2012, 16; 508–513
11. Bormann K.H, Gellrich N.C, Kniha H, Dard M, Wieland M, Gahlert M.
Biomechanical evaluation of a microstructured zirconia implant by a removal torque comparison with a standard Ti-SLA implant.
Clin Oral Implants Res, 2012, 23; 1210-1216
12. Branemark PI, Hansson B.O, Adell R, Breine U, Lindström J, Hallén O, Ohman A.
Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period.
Scand J Plast Reconstr Surg Suppl, 1977, 16; 1-132
13. Buser D, Weber HP, Lang NP.
Tissue integration of non-submerged implants. 1-year results of a prospective study with 100 ITI hollow-cylinder and hollow screw implants.
Clin Oral Implants Res, 1990, 1; 33-40
14. Buser D, Nydegger T, Hirt HP, Cochran DL, Nolte LP.
Removal Torque Values of Titanium Implants in the Maxilla of Miniature Pigs.
Int J Oral Maxillofac Implants. 1998, 13; 611-619
15. Cabello G, Rioboo M, Fábrega JG.
Immediate placement and restoration of implants in the aesthetic zone with a trimodal approach: soft tissue alterations and its relation to gingival biotype.
Clin Oral Implants Res, 2013, 24; 1094-1100
16. Cannizzaro G, Torchio C, Felice P, Leone M, Esposito M.
Immediate occlusal versus non-occlusal loading of single zirconia implants. A multicentre pragmatic randomised clinical trial.
Eur J Oral Implantol, 2010, 3; 111-220
17. Chang M, Ödmann PA, Wennström JA, Andersson BA.
Esthetic outcome of single – tooth replacements assessed by the patient and by prosthodontists.
Int J Prosthodontics, 1999,12; 335–341
18. Chen S.
Esthetics - an overview of risk factors.
ITI World symposium Genf, 2014, 24-26
19. Cho HS, Jang HS, Kim DK.
The effects of interproximal distance between roots on the existence of interdental papillae according to the distance from the contact point to the alveolar crest.
J Periodontol, 2006, 77; 1651–1657

20. Choquet V, Hermans M, Adriaenssens P, Daelemans P, Tarnow DP, Malevez C.
Clinical and radiographic evaluation of the papilla level adjacent to single tooth dental implants. A retrospective study in the maxillary anterior region. *J Periodontol*, 2001, 72; 1364-1371
21. Chu SJ, Tarnow DP, Tan JH, Stappert CF.
Papilla proportions in the maxillary anterior dentition. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 2009, 29; 385-393
22. Cosyn J, Eghbali A, De Bruyn H, Collys K, Cleymaet R, De Rouck T.
Immediate single-tooth implants in the anterior maxilla: 3-year results of a case series on hard and soft tissue response and aesthetics. *J Clin Periodontol*, 2011, 38; 746-753
23. Dawson A, Chen S, Buser D, Cordaro L, Martin W, Belser U.
The SAC classification in implant dentistry
Quintessence publishing, 2009; 15
24. De Medeiros RA, Vechiato-Filho AJ, Pellizzer EP, Mazaro JV, dos Santos DM, Goiato MC.
Analysis of the peri-implant soft tissues in contact with zirconia abutments: an evidence-based literature review. *J Contemp Dent Pract*, 2013, 4; 567-572
25. Den Hartog L, Slater JJ, Vissink A, Meijer HJ, Raghoobar GM.
Treatment outcome of immediate, early and conventional single-tooth implants in the aesthetic zone: a systematic review to survival, bone level, soft-tissue, aesthetics and patient satisfaction. *J Clin Periodontol*, 2008, 35; 1073-1086
26. Depprich R, Naujoks C, Ommerborn M, Schwarz F, Kübler NR, Handschel J.
Current findings regarding Zirconia Implants. *Clin Impl Dent Rel Res*, 2012, 16; 124-137
27. Evans CD, Chen ST.
Esthetic outcomes of immediate implant placements. *Clin Oral Implants Res*, 2008, 19; 73-80
28. Gahlert M, Gudehus T, Eichhorn S, Steinhauser E, Kniha H, Erhardt W.
Biomechanical and histomorphometric comparison between zirconia implants with varying surface textures and a titanium implant in the maxilla of miniature pigs. *Clinical Oral Implants Research*, 2007, 18; 662-668

29. Gahlert M, Roehling S, Wieland M, Sprecher CM, Kniha H, Milz S.
Osseointegration of zirconia and titanium dental implants: a histological and histomorphometrical study in the maxilla of pigs.
Clinical Oral Implants Research, 2009, 20; 1247-1253
30. Gahlert M, Roehling S, Wieland M, Eichhorn S, Küchenhoff H, Kniha H.
A comparison study of the osseointegration of zirconia and titanium dental implants. A biomechanical evaluation in the maxilla of pigs.
Clin Implant Dent Relat Res, 2010; 297-305
31. Gahlert M, Röhling S, Sprecher CM, Kniha H, Milz S, Bormann KH.
In vivo performance of zirconia and titanium implants. A histomorphometric study in minipig maxillae.
Clin Oral Implants Res, 2012, 23; 274- 280
32. Gahlert M, Burtscher D, Grunert I, Kniha H, Steinhauser E.
Failure analysis of fractured dental zirconia implants.
Clin Oral Impl Res, 2012, 23, 287–293
33. Gahlert M, Kniha H, Weingart D, Schild S, Gellrich NC, Bormann KH.
A prospective clinical study to evaluate the performance of zirconium dioxide dental implants in single-tooth gaps.
Clini Oral Impl Res, 2015, 0;1-9
34. Ganeles J, Zöllner A, Jackowski J, ten Bruggenkate C, Beagle J, Guerra F.
Immediate and early loading of Straumann implants with a chemically modified surface (SLActive) in the posterior mandible and maxilla: 1-year results from a prospective multicenter study.
Clin Oral Implants Res, 2008, 19; 1119-1128
35. Hermann JS, Schoolfield JD, Nummikoski PV, Buser D, Schenk RK, Cochran DL.
Crestal bone changes around titanium implants: a methodologic study comparing linear radiographic with histometric measurements.
Int J Oral Maxillofac Implants, 2001, 16; 475-485
36. Heydecke G, Kohal R, Glaser R.
Optimal esthetics in single-tooth replacements with Re-Implant system: a case report.
Int J Prosthodont, 1999, 12; 184-198
37. Hochmann MN, Chu SJ, Tarnow DP.
Maxillary anterior papilla display during smiling: a clinical study of the interdental smile line.
Int J Periodont & Restorative Dent, 2012, 32; 375-383
38. Ichikawa Y, Akagawa Y, Nikai H, Tsuru H.
Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic in vivo.
J Prosthet Dent, 1992, 68; 322-326

39. Jahn M, d'Hoedt B.
Zur Definition des Erfolges bei dentalen Implantaten.
Zahnärztl Implantol 1992, 8; 221-226
40. Jemt T.
Regeneration of Gingival Papillae after Single-Implant Treatment
Int J Periodontics & Restorative Dentistry, 1997, 17; 326-333
41. Josset Y, Oum Hamed Z, Zarrinpour A, Lorenzato M, Adnet JJ, Laurent-Maquin D.
In vitro reactions of human osteoblasts in culture with zirconia and alumina ceramics.
Journal of Biomedical Materials Research, 1999, 47; 481-493
42. Jung RE, Sailer I, Hämmerle CH, Attin T, Schmidlin P.
In vitro color changes of soft tissues caused by restorative materials.
Int J Periodontics Restorative Dent, 2007, 27; 251-257
43. Sun-A Kim, Seung-Suk Choi, Soo-Jung Byun, Moontaek Chang
Published online Analysis of the embrasure dimensions between maxillary central incisors in relation to the topography of the interdental papilla
J Periodontal Implant Sci., 2011, 41; 273-278
44. Kniha K, Kniha H, Milz S, Brägger U, Hicklin S, Gahlert M.
A new measurement concept to evaluate hard and soft tissue conditions around full ceramic implant bodies
ITI World symposium Genf, 2014,
45. Knoernschild KL.
Early survival of single-tooth implants in the esthetic zone may be predictable despite timing of implant placement or loading.
J Evid Based Dent Pract, 2012, 12; 209-212
46. Kohal RJ, Att W, Bachle M, Butz F.
Ceramic abutments and ceramic oral implants. An update.
Periodontol, 2008, 47; 224-243
47. Kohal RJ, Wolkewitz M, Hinze M, Han JS, Bächle M, Butz F.
Biomechanical and histological behavior of zirconia implants: an experiment in the rat.
Clin Oral Impl Res, 2009, 20; 327-332
48. Kokich VO, Kiyak HA, Shapiro PA.
Comparing the perception of dentists and Lay persons to altered dental esthetics.
J Esthetic Dentistry, 1999, 11; 311-324

49. Kokich VO, Kokich VG, Kiyak HA.
Perceptions of dental professionals and laypersons to altered dental esthetics: Asymmetric and symmetric situations.
Am J Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 2006, 130; 141-151
50. Koutayas SO, Vagkopoulou T, Pelekanos S, Koidis P, Strub JR.
Zirconia in dentistry: part 2. Evidence-based clinical breakthrough.
Eur J Esthet Dent, 2009, 4; 348-380
51. Krekeler G, Pelz K, Graml B.
Die Affinität der Plaque zu verschiedenen Werkstoffen.
Schweiz. Monatsschr. Zahnheilk, 1984, 94; 647-651
52. Kwon HJ, Lee DW, Park KH, Kim CK, Moon IS.
Influence of the tooth- and Implant-side marginal bone level on the interproximal papilla dimension in a single implant with a microthread, conical seal and platform-switched design.
J Periodontol, 2009, 80 ; 1541-1547
53. LaVacca MI, Tarnow DP, Cisneros GJ.
Interdental papilla length and the perception of aesthetics.
Pract Proced Aesthet Dent, 2005, 17; 405-412
54. Lee DW, Kim CK, Park KH, Cho KS, Moon IS.
Non-invasive method to measure the length of soft tissue from the top of the papilla to the crestal bone.
J Periodontol, 2005, 76, 1311-1314
55. Luthardt RG, Holzhüter M, Sandkuhl O, Herold V, Schnapp JD, Kuhlisch E, Walter M Reliability and properties of ground Y-TZP-zirconia ceramics.
J Dent Res, 2002, 81; 487-491
56. Martegani P, Silvestri M, Mascarello F, Scipioni T, Ghezzi C, Rota C, Cattaneo V.
Morphometric study of the interproximal unit in the esthetic region to correlate anatomic variables affecting the aspect of soft tissue embrasure space.
J Periodontol, 2007, 78; 2260-2265
57. Mellinghoff J.
Erste klinische Ergebnisse zu dentalen Schraubenimplantaten aus Zirkonoxid.
Zahnärztl Impl, 2006, 22; 288- 293
58. Mi-Si Si, Long-Fei Z, Xin H, Ying-Xin G, Chung-Hao C, Hong-Chang L.
Papilla alterations around single-implant restorations in the anterior maxillae: thick versus thin mucosa.
Int J Oral Science, 2012, 4; 94-100

59. Mombelli A, Van Oosten MA, Schürch E Jr, Lang NP.
The microbiota associated with successful or failing osseointegrated titanium implants.
Oral Microbiol Immunol, 1987, 2; 145–151
60. Möller B, Terheyden H, Açil Y, Purcz NM, Hertrampf K, Tabakov A, Behrens E, Wiltfang J.
A comparison of biocompatibility and osseointegration of ceramic and titanium implants: an in vivo and in vitro study.
Int J Oral Maxillofac Surg, 2012, 4; 638-645
61. Naert I, Quirynen M, Steenberghe D van, Darius P.
A six-year prosthodontic study of 509 consecutively inserted implants for treatment of partial edentulism.
J Prosthet Dent, 1992, 67; 236-245
62. Nascimento Cd, Pita MS, Fernandes FH, Pedrazzi V, de Albuquerque Junior RF, Ribeiro RF.
Bacterial adhesion on the titanium and zirconia abutment surfaces.
Clin Oral Implants Res, 2014, 25; 337-343
63. Nemcovsky E, Ofer M, Zvi A.
Interproximal papillae reconstruction in maxillary implants.
J Periodontol, 2000, 71; 308-314
64. Nordland WP, Tarnow DP.
A Classification System for Loss of Papilla Height
J Periodontol, 1998, 69; 1124 – 1126
65. Özkurt Z, Kazazoğlu E.
Zirconia dental implants: a literature review.
J Oral Implantol, 2011, 37; 367-376
66. Oliva J, Oliva X, Oliva JD.
One-year follow-up of first consecutive 100 zirconia dental implants in humans: a comparison of 2 different rough surfaces.
Int J Oral Maxillofac Implants, 2007, 22; 430-435
67. Priest G1.
Predictability of soft tissue form around single-tooth implant restorations.
Int J Periodontics Restorative Dent, 2003, 23; 19-27
68. Rimondini L, Cerroni L, Carrassi A, Toricelli P.
Bacterial colonisation of zirconia ceramic surfaces: an in vitro and in vivo study.
Int J Oral Maxillofac Implants, 2002, 17; 793-798

69. Rocchietta I, Fontana F, Addis A, Schupbach P, Simion M.
Surface-modified Zirconia Implants: tissue response in rabbits.
Clin Oral Impl Res, 2009, 20, 844-850
70. Salihoglu U, Boynuegri D, Engin D, Duman AN, Gokalp P, Balos K.
Bacterial adhesion and colonization differences between zirconium oxide and titanium alloys: an in vivo human study.
Int J Oral Maxillofac Implants. 2011, 26; 101-10
71. Saulacic N, Erdösi R, Bosshardt DD, Gruber R, Buser D.
Acid and Alkaline Etching of sandblasted Zirconia Implants: A Histomorphometric Study in Miniature Pigs.
Clin Implant Dentistry and Related Res, 2013, 16; 313-232
72. Scarano A, Piattelli M, Caputi S, Favero GA, Piattelli A.
Bacterial adhesion on commercially pure titanium and zirconiumoxide disks: an in vivo human study.
J Periodontol, 2004, 75; 292-296.
73. Schlegel A, Leitenstorfer B, Jakobsen M, Toutenburg H.
Brüche von Aluminiumoxidimplantaten unter Dauerbelastung. Zur klinischen Bruchfestigkeit von Al₂O₃- Implantaten.
Z Zahnärztl Impl, 1994, 10; 68-73
74. Schmidt M.
Spezifische Adsorption organischer Moleküle auf oxidiertem Titan: Bioaktivität auf molekularem Niveau.
Osteologie, Verlag Hans Huber Bern, 1992, 1; 222-2235
75. Schnitmann PA, Shulman LB.
Dental Implants. Benefit and risk.
NIH Konsensuskonferenz Harvard Consensus Development Conference 1978
Bethesda, 1980; 81-1531
76. Schulte W., Heimke G.
Das Tübinger Sofortimplantat.
Quintessenz 1976, 27; 17-20
77. Schulte W, Kleineikenscheidt H, Schareyka R, Heimke G.
Concept and testing of the Tübingen immediate implant.
Dtsch Zahnärztl Z, 1978, 33; 319-325
78. Sennerby L, Dasmah A, Larsson B, Iverhed M.
Bone tissue responses to surface-modified zirconia implants: A histomorphometric and removal torque study in the rabbit.
Clin Implant Dent Relat Res, 2005, 7; 13-20

79. Small PN, Tarnow DP.
Gingival recession around implants: a 1-year longitudinal prospective study.
Int J Oral Maxillofac Implants, 2000, 15; 527-532
80. Stappert CF, Tarnow DP, Tan JH, Chu SJ.
Proximal contact areas of the maxillary anterior dentition.
Int J Periodontics Restorative Dent, 2010, 30; 471-477
81. Tarnow DP, Magner AW, Fletcher P.
The effect of the distance from the contact point to the crest of bone on the presence or absence of the interproximal dental papilla.
J Periodontol. Dec, 1992, 63; 995-996
82. Tarnow DP, Cho SC, Wallace SS.
The effect of inter-implant distance on the height of inter-implant bone crest.
J Periodontol, 2000, 71; 546-549
83. Tetè S, Zara S, Vinci R, Zizzari V, Di Tore U, Mastrangelo F, Cataldi A, Gherlone E.
Vascular endothelial growth factor and e-nitric oxide synthase-mediated regenerative response occurring upon autologous and heterologous bone grafts.
Int J Immunopathol Pharmacol. 2009, 22; 1105-1116
84. Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthum M, Spiekermann H.
Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia based three unit fixed partial dentures: a laboratory study.
Int J Prosthodont, 2001, 21; 27-36
85. Tinschert J, Tokmakidis K, Latzke P, Natt G, Spiekermann H.
Aktueller Stand von Zirkonimplantaten.
(2. Europäische Konsensuskonferenz des BDZI EDI 2 / 2007 Köln)
Zirkonoxid in der Implantologie - Grundlagen und aktuelle Aspekte
Implantologie, 2007, 15; 371-381
86. Tonetti MS, Schmid J.
Pathogenesis of implant failures.
J Periodontol, 1994, 4, 127-138
87. Tymstra N1, Raghoobar GM, Vissink A, Meijer HJ.
Dental implant treatment for two adjacent missing teeth in the maxillary aesthetic zone: a comparative pilot study and test of principle.
Clin Oral Implants Res, 2011, 22; 207-213
88. Tymstra N, Meijer HJ, Stellingsma K, Raghoobar GM, Vissink A.
Treatment outcome and patient satisfaction with two adjacent implant-supported restorations in the esthetic zone.
Int J Periodontics Restorative Dent, 2010, 30; 307-316

89. Vela X, Mendez V, Rodriguez X, Segala M, Tarnow DP.
Crestal bone changes on platform-switched implants and adjacent teeth
when the tooth-implant distance is less than 1.5 mm.
Int J Periodontics & Restorative Dentistry, 2012, 32; 149-155
90. Vijendra P. Singh, Ashita S. Uppoor, Dilip G. Nayak, and Dipen Shah.
Black triangle dilemma and its management in esthetic dentistry
Dent Res J (Isfahan), 2013,10; 296-301
91. Wohlwend A, Studer S, Schärer P.
The zirconium oxide abutment – a new all-ceramic concept for esthetically
improving suprastructures in implantology.
Quintessenz Zahntech, 1996, 22; 364-381
92. Zhang Y, Pajares A, Lawn BR.
Fatigue and damage tolerance of Y-TZP ceramics in layered biomechanical
systems. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 2004, 71; 166-171

Eidesstattliche Versicherung

Kristian Kniha

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

**Klinische und röntgenologische
Untersuchung an vollkeramischen Dentalimplantaten.
Eine retrospektive Studie bei 87 Patienten.**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Aachen, 11.07.2016,

Kristian Kniha

Ort, Datum,

Unterschrift Doktorandin/Doktorand