

Aus der Klinik und Poliklinik
für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie

Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München



**Klinische und radiologische Bewertung von einteiligen
vollkeramischen Dentalimplantaten aus Zirkoniumdioxid –
eine Langzeit-Follow-up-Studie**

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

vorgelegt von

Stella Anna Maria Kiechle

aus Traunstein

2023

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Erster Gutachter: Prof. Dr. Dr. Heinz Kniha
Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Anja Liebermann
Dritter Gutachter: Prof. Dr. Gabriele Kaeppler

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: PD Dr. Kristian Kniha
Dekan: Prof. Dr. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 11.09.2023

Inhaltsverzeichnis

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	I
<u>Zusammenfassung</u>	III
<u>Abstract (Englisch)</u>	V
<u>Abbildungsverzeichnis</u>	VII
<u>Tabellenverzeichnis</u>	VIII
<u>Abkürzungsverzeichnis</u>	IX
<u>1 Einleitung</u>	1
1.1 Historie dentaler Implantate	1
1.2 Titan – Werkstoff der Gegenwart.....	4
1.3 Zirkoniumdioxid – das Implantatmaterial der Zukunft?	5
1.4 Erfolgskriterien für Implantate	8
1.5 Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung	9
<u>2 Methodik</u>	10
2.1 Patientengut und Implantateigenschaften.....	10
2.2 Datenerhebung und -auswertung.....	11
2.2.1 Patientenbefragung	11
2.2.2 Klinisch-zahnärztliches Untersuchungsprotokoll mit implantatbezogenen Kriterien	12
2.2.3 Röntgendiagnostik.....	14
2.2.4 Erfolgsrate nach Albrektsson et al. [6]	15
2.2.5 Fotodokumentation.....	16
2.2.6 Messverfahren auf Basis der Fotodokumentation und Röntgendiagnostik 17	
2.2.7 PES nach Fürhauser et al. [5]	23
2.2.8 Verhältnis von Kronen- zu Implantatlänge	25
2.3 Statistische Auswertung	25
<u>3 Ergebnisse</u>	27
3.1 Patienten und Implantate	27

3.2	Klinisch-zahnärztliche Untersuchung.....	28
3.3	Erfolgsrate nach Albrektsson et al. [6]	28
3.4	Streckenbestimmungen	30
3.4.1	Messstrecken	30
3.4.2	Ästhetisches Ideal nach Chu et al. [75].....	35
3.5	PES nach Fürhauser et al. [5]	36
3.6	Einfluss der Implantationsbedingungen auf das Langzeitergebnis	39
3.6.1	Sofort- versus Spätimplantation.....	40
3.6.2	Einzelimplantat versus benachbarte Implantate.....	45
3.7	Quotient Kronenlänge KL zu Implantatlänge IL	51
4	<u>Diskussion</u>	54
5	<u>Schlussfolgerung.....</u>	66
	<u>Literaturverzeichnis.....</u>	XIII
	<u>Danksagung</u>	XXV
	<u>Affidativ</u>	XXVI
	<u>Publikation</u>	XXVII

Zusammenfassung

Zirkoniumdioxidimplantate haben sich gemäß diverser Kurzzeitstudien bereits als mögliche Alternative zu Titanimplantaten bewährt [1, 2]; dagegen fehlen Langzeitergebnisse bis heute [3, 4]. Wie verhalten sich Zirkoniumdioxidimplantate klinisch und radiologisch im Langzeitverlauf? Wo liegen die Überlebens- und Erfolgsraten moderner Zirkoniumdioxidimplantate? Wie ist das ästhetische Ergebnis? Und haben Faktoren wie etwa Implantationszeitpunkt und Implantatanzahl Einfluss auf das Resultat? Diese Aspekte wurden in der vorliegenden Studie im Rahmen eines Acht-Jahres-Follow-ups untersucht.

Dafür wurden unterschiedliche Untersuchungsparameter ausgewertet: Zuerst fand eine Patientenbefragung bezüglich des funktionellen und ästhetischen Ergebnisses mithilfe eines Schulnotensystems statt. Ferner wurden die Mobilität, die Perkussion, der Sulkus-Blutungs-Index, die Sondierungstiefe und der Plaque-Index der Implantatkörper klinisch bestimmt. So konnten Rückschlüsse auf das funktionelle Ergebnis der Implantate gewonnen werden. Auch erfolgte die genaue Vermessung der Papillenspitze mit Markierung des Kontaktpunktes der Kronen im interdentalen Raum. Unter Verwendung angefertigter Röntgenaufnahmen und der klinischen Untersuchung wurde die Implantat-Überlebens- und –Erfolgsrate berechnet. Zur Beurteilung der Ästhetik der periimplantären Weichgewebe erfolgte die Berechnung des ‚Pink-Esthetic-Score‘ (PES) nach Fürhauser et al. [5]. Darüber hinaus wurde das Patientenkollektiv sowohl in die Untergruppen Sofort- versus Spätimplantation als auch Einzel- versus benachbarte Implantate eingeteilt.

Dabei bewerteten insgesamt **39 Patienten** mit **67 Implantaten** ihre Versorgung mit einer Note $1,2 \pm 0,4$ (Mittelwert). Im vorliegenden **Acht-Jahres-Follow-up** betrug die **Überlebensrate 100 %** und die **Erfolgsrate** nach Albrektsson et al. [6] **89,6 %**. Der ästhetische Parameter **PES** nach Fürhauser et al. [5] lieferte im Gesamtergebnis einen Mittelwert von **10,2 Punkten** bei maximal 14 erreichbaren. Die betrachteten Untergruppen betreffend erschien die Gruppe der **Sofortimplantation** der der Spätimplantation **keinesfalls unterlegen**: Vielmehr war der Abstand des Knochenansatzes am Implantat zur Implantatschulter geringer bzw. die PES-Bewertung höher (jeweils $p < 0,05$). Zudem ließen sich bei **Einzelimplantaten** im Vergleich zu Reihenimplantaten **günstigere Langzeitergebnisse** feststellen: Der Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter war kürzer, die Papillenhöhe größer; auch der PES war bei Einzelimplantaten höher (jeweils $p < 0,05$).

Zirkoniumdioxidimplantate zeigen nach einer Beobachtungszeit von acht Jahren mit einer **Überlebensrate von 100 %** und einer **Erfolgsrate von 89,6 %** zufriedenstellende funktionelle Ergebnisse. **Ein positives ästhetisches Potential** wiesen **Implantate nach Sofortimplantation sowie Einzelimplantate** auf. Zusammenfassend könnten Zirkoniumdioxidimplantate eine Alternative zur Verwendung etablierter Titanimplantate, insbesondere im Frontzahnbereich, darstellen. Prospektive Langzeitstudien mit dem direkten Vergleich beider Implantatmaterialien wären jedoch wünschenswert.

Abstract (Englisch)

According to various short-term studies, zirconia implants have already proven themselves as a potential alternative to titanium implants [1, 2]; however, long-term-results are rare [3, 4]. How do zirconia implants behave clinically and radiologically in the long-term? What are the survival and success rates of modern zirconia implants? What is the esthetic outcome? And do factors such as the timing of implant placement and the number of implants influence the outcome? These aspects were investigated in the present study as part of an eight-year follow-up.

Different study parameters were evaluated for this purpose: First, the patients were questioned about the functional and esthetic outcomes using a school grading system. Furthermore, the mobility, percussion, the bleeding-index of the sulcus, the probing-depth and the plaque-index of the implant bodies were determined clinically. Thereof, conclusions could be drawn about the functional outcome of the implants. A precise measurement of the papilla tip with the marking of the crowns' contact point in the interdental space was also performed. Utilizing taken radiographs and the clinical examination, the implant survival and success rate were calculated. To assess the esthetics of the peri-implant soft tissue, the 'Pink Esthetic Score' (PES) according to Fürhauser et al [2] was used. In addition, the patient collective was divided into the subgroups immediate versus delayed implantation and single implants versus adjacent implants.

A total of **39 patients** with **67 implants** rated their restoration with a score of $1.2 \pm 0,4$ (mean). In the present **eight-year follow-up**, the **survival rate** was **100 %** and the **success rate** was **89.6 %** according to Albrektsson et al [3]. The aesthetic parameter **PES** according to Fürhauser et al [2] provided an overall mean value of **10.2 points** with a maximum of 14 achievable points. Regarding the subgroups considered, the **immediate implant placement group did not appear inferior** to the late implant placement group at all: On the contrary, the distance of the bone attachment at the implant to the implant shoulder was smaller, and the PES score was higher (**$p < 0.05$** each). In addition, **single implants** showed **more favorable long-term results** compared to adjacent implants: The distance from the bone attachment at the implant to the implant shoulder was shorter, and the papilla height was greater; the PES score was also higher with single implants (**$p < 0.05$** each).

Zirconia implants showed satisfactory functional results after an observation period of eight years, with a **survival rate of 100 %** and a **success rate of 89.6 %**. **An aesthetic potential** was shown by **implants after immediate implant placement as well as by single implants**. In conclusion, zirconia implants could represent an alternative to the

use of established titanium implants, especially in the anterior region. However, prospective long-term studies with direct comparison of both implant materials would be desirable.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bränemark-Implantat	2
Abbildung 2: Aufbau eines zweiteiligen versus einteiligen Implantats	4
Abbildung 3: Foto benachbarter Titan- und ZrO ₂ -Implantatkronen	7
Abbildung 4: Black-Triangle-Phänomen	8
Abbildung 5: Skizze eines Monotypeimplantats	10
Abbildung 6: Fotokalibrierung mithilfe der Kronenlänge	14
Abbildung 7: OPT mit kontrastmittelgestützter Darstellung der Papillenspitze	15
Abbildung 8: Knochenverhalten im Follow-up	16
Abbildung 9: Orthograde Fotoaufnahme ohne/mit Ligaturdrähten	17
Abbildung 10: Darstellung der Röntgenkalibrierung im OPT	18
Abbildung 11: Skizze und OPT mit den Strecken 1 bis 3	19
Abbildung 12: Fotokalibrierung mithilfe der Kronenlänge	20
Abbildung 13: Skizze und Foto zu den Strecken 4 und 5	20
Abbildung 14: Schema der KPR nach Chu et al. [76]	21
Abbildung 15: Skizze zu Strecke 6 und 7	22
Abbildung 16: Orthogrades Foto mit Skizzierung einiger PES-Parameter	24
Abbildung 17: Skizze zur Bestimmung des Quotienten KL/IL	25
Abbildung 18: Verteilung der Implantate	27
Abbildung 19: Messwertverteilung der Strecken 1, 2 und 3	31
Abbildung 20: Messwertverteilung der Strecken 4 und 5	32
Abbildung 21: Messwertverteilung der Strecken 6 und 7	34
Abbildung 22: KPR sämtlicher Implantate	35
Abbildung 23: PES-Bewertungen	36
Abbildung 24: PES und Strecke 6	37
Abbildung 25: PES und Strecke 7	38
Abbildung 26: Implantationszeitpunkt und Strecken 1 bis 3	40
Abbildung 27: Implantationszeitpunkt und Strecken 4 und 5	42
Abbildung 28: Implantationszeitpunkt und ästhetische Parameter KPR und PES ..	44
Abbildung 29: Implantatanzahl und Strecken 1 bis 3	46
Abbildung 30: Implantatanzahl und Strecken 4 und 5	48
Abbildung 31: Implantatanzahl und ästhetische Parameter KPR und PES	50
Abbildung 32: Quotient Kronenlänge zu Implantatlänge	51
Abbildung 33: Quotient KL/IL und Papillendefizit	52
Abbildung 34: Quotient KL/IL und PES	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Messstrecken	23
Tabelle 2: Bewertungsbogen des PES	24
Tabelle 3: Erfolgsrate nach Albrektsson et al. [6]	29
Tabelle 4: Knochenverhalten acht Jahre nach Implantatinserterion	29
Tabelle 5: Kronenlängen	30
Tabelle 6: Deskriptive Statistik zu Strecke 1 bis 3	32
Tabelle 7: Deskriptive Statistik zu Strecke 4 und 5	33
Tabelle 8: Deskriptive Statistik zu Strecke 6 und 7	34
Tabelle 9: Deskriptive Statistik zur KPR	35
Tabelle 10: Deskriptive Statistik zu den PES-Parametern 1 und 2 und Strecke 6....	38
Tabelle 11: Deskriptive Statistik zu den PES-Parametern 1 und 2 und Strecke 7....	39
Tabelle 12: Deskriptive Statistik der Strecken 1 bis 3 bei Sofort- und Spätimplantation	41
Tabelle 13: Deskriptive Statistik der Strecken 4 und 5 bei Sofort- und Spätimplantation	43
Tabelle 14: Deskriptive Statistik der KPR und des PES bei Sofort- und Spätimplantation	45
Tabelle 15: Deskriptive Statistik der Strecken 1 bis 3 bei Einzel- bzw. benachbarten Implantaten	47
Tabelle 16: Deskriptive Statistik der Strecken 4 und 5 bei Einzel- bzw. benachbarten Implantaten	49
Tabelle 17: Deskriptive Statistik der KPR und des PES bei Einzel- bzw. benachbarten Implantaten	51
Tabelle 18: Deskriptive Statistik zum Quotienten KL/IL	52

Abkürzungsverzeichnis

DGZI	_____	<i>Deutsche Gesellschaft für Zahnärztliche Implantologie</i>
ICAI	_____	<i>Implant-Crown-Esthetic-Index</i>
IL	_____	<i>Implantatlänge</i>
ITI	_____	<i>International Team for Implantology</i>
KL	_____	<i>Kronenlänge</i>
ns	_____	<i>nicht-signifikant</i>
OPT	_____	<i>Orthopantomogramm</i>
p	_____	<i>probabilitas (lat.), statistischer Wahrscheinlichkeitswert</i>
PES	_____	<i>Pink-Esthetic-Score</i>
PES/WES	_____	<i>Pink-/White-Esthetic-Score</i>
PICI	_____	<i>Peri-implant and Crown-Index</i>
PPI	_____	<i>Papilla-Presence-Index</i>
r_s	_____	<i>Spearman's Rho</i>
SBI	_____	<i>Sulkus-Blutungs-Index</i>
Sofort-I.	_____	<i>Sofortimplantation</i>
Spät-I.	_____	<i>Spätimplantation</i>
ZrO ₂	_____	<i>Zirkoniumdioxid</i>

Anmerkung:

Die alleinige Verwendung des männlichen Geschlechts (z. B. Patient) bezieht auch alle anderen Geschlechtsbezeichnungen mit ein.

1 Einleitung

1.1 Historie dentaler Implantate

In Deutschland werden heutzutage jährlich etwa 1,3 Millionen Zahnimplantate inseriert (Stand 2018); damit hat sich die Zahl der Implantationen pro Jahr in den letzten 20 Jahren verdreifacht bis vervierfacht [7]. Trotz des wachsenden Trends ist die Implantation allerdings keine Innovation des 20. oder 21. Jahrhunderts, sondern weist eine noch weitreichendere Historie auf [8].

Ausgrabungen lassen vermuten, dass bereits die Kelten im dritten Jahrhundert vor Christus Eisen zur Substituierung verlorener Zähne verwendeten; wahrscheinlich wurde auf dem Eisenimplantat eine Krone aus Holz oder Knochen befestigt [9]. „Die alten Ägypter und südamerikanische Zivilisationen fertigten ebenfalls Implantate an, um Zähne zu ersetzen.“ [10] Diese wurden aus Knochen, Holz oder geschnitztem Elfenbein hergestellt [10-12]. Ob die Implantationen aus ästhetischen oder funktionellen Gründen bzw. zu Lebzeiten oder gar post mortem durchgeführt wurden, ist jedoch bis heute ungeklärt [9, 10]. Zudem ist zweifelhaft, ob diese Implantate die Kaufunktion über eine längere Zeit verbesserten. Archäologische Funde zeigen, dass auch Völkergruppen wie die Mayas im siebten Jahrhundert nach Christus Muschelfragmente in Gebisse implantierten [11, 13].

In Europa war das Ersetzen von Zahnwurzeln erst ab dem 17. bzw. 18. Jahrhundert geläufig: Zunächst wurden vor allem Zähne von Tieren, später auch solche von menschlichen Spendern implantiert; des Weiteren wurde auch Gold genutzt, um verlorene Zähne zu erneuern [10-12, 14]. Jedoch waren alle derartigen Versuche aufgrund mangelnder Implantatbeständigkeit letztlich erfolglos [15].

Ihren Durchbruch erreichte die Implantologie schließlich im 20. Jahrhundert: In den 1930er Jahren wurden erstmals „künstliche Zähne mit Metallschrauben im Knochen“ [13] befestigt. Während der folgenden Jahrzehnte wurden nicht nur zahlreiche Implantatformen entwickelt, beispielsweise zylindrische, wurzelförmige, blattartige und schraubenförmige Designs, sondern auch verschiedene Materialien erprobt, z. B. Kobalt-Chrom-Molybdän [11, 16, 17].

Im Jahr 1952 wurde der wesentliche Grundstein der modernen Implantologie gelegt: Der schwedische Wissenschaftler Per-Ingvar Brånemark entdeckte in einem Tierversuch zur „Blutzirkulation bei der Knocheneinheilung“ [12] zufällig die Eigenschaft von Titan, fest in den Knochen einzuwachsen; in einer weiteren Studie zur Einpflanzung von Titansonden in Probanden konnte er überdies feststellen, dass Titan vom Körper immunologisch toleriert wurde bzw. mithin keine Abstoßung zu beobachten war [12,

14]. Dies motivierte ihn dazu, zusammen mit anderen Wissenschaftlern in einem von ihm neu definierten Bereich, der sogenannten ‚Osseointegration‘, zu forschen; 1965 gelang es ihm, das erste dentale Titanimplantat in einen Patienten zu inserieren, das dann über 40 Jahre bis zum Tod des Patienten beständig blieb [12, 14, 18]. Dabei konnte Brånemark beweisen, dass sich Knochensubstanz im Sinne einer biologischen Verbindung um das Titanimplantat anlagert und dieses somit inkorporiert [11, 16, 18]. Das sogenannte ‚Brånemark-Implantat‘ (siehe **Abbildung 1**) wurde zum langjährigen Goldstandard in der Implantologie und wurde fortlaufend weiterentwickelt; heute besteht es aus einer gefrästen Titanschraube und besitzt eine Oberflächenrauigkeit von etwa 0,5–1,0 μm , die entscheidend zur optimalen dauerhaften knöchernen Verankerung beiträgt [19, 20]. Brånemarks Erkenntnisse über die knöcherne Einheilung von Implantaten und seine Hinweise zum technischen Vorgehen bildeten das Fundament für die heutige Implantologie [6, 11].

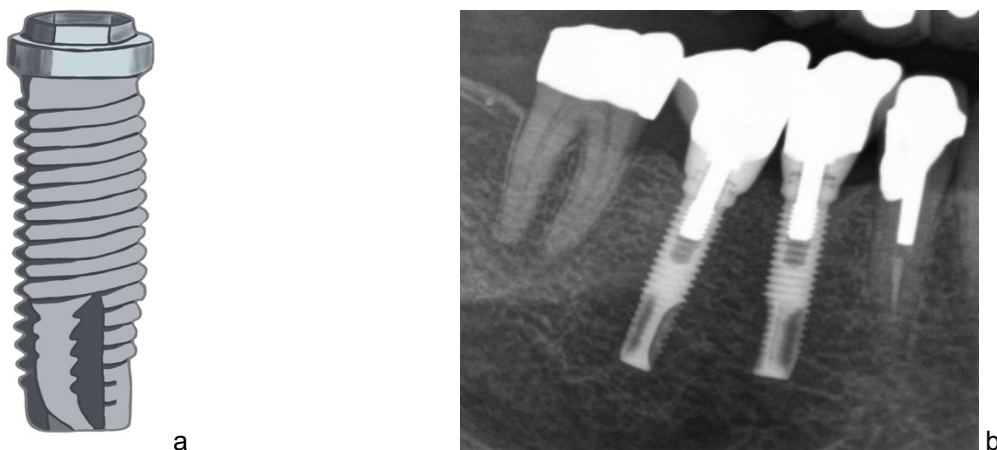


Abbildung 1: Brånemark-Implantat

a) Dargestellt ist die Skizze eines Brånemark-Implantats.

b) Zu sehen sind Brånemark-Implantate in regio 44 und 45 (Hersteller unbekannt).

Unabhängig von der Forschung Brånemarks entwickelten Schröder et al. [21] die Theorie der „funktionellen Ankylose“ [22]: Analog zur Osseointegration benannte er das Verwachsen des Implantats mit dem Knochen als einen ankylotischen Prozess, der durch eine konstante funktionelle Belastung des Implantats zustande komme [21, 22]. In den 1980er Jahren gründete Professor Schröder gemeinsam mit Dr. h. c. Fritz Straumann das ‚International Team for Implantology‘ (ITI) in Bern (Schweiz) – den mit über 16 000 Mitgliedern größten Implantologie-Verband weltweit [23, 24].

Auch in Deutschland begann die dentale Implantologie, sich flächendeckend zu etablieren, nicht zuletzt bedingt durch die Gründung der ‚Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Implantologie‘ (DGZI) bereits im Jahr 1970.

Parallel zur Weiterentwicklung dentaler Titanimplantate wurden alternativ auch Keramikwerkstoffe erprobt [25]. Der bekannteste Versuch, Aluminiumhydroxid-Keramik einzusetzen, datiert aus dem Jahr 1976, was durch Schulte und Heimke [26] als sogenanntes ‚Tübinger Implantat‘ beschrieben wurde [26]. Neben dem neuen Werkstoff wurde dabei auch erstmals eine Sofortimplantation durchgeführt, d. h. das Dentalimplantat unmittelbar nach Extraktion in die Alveole inseriert [22, 26]. Das Aluminiumhydroxid-Keramik-Implantat zeichnete sich zwar durch seine gute Biokompatibilität und eine entzündungsfreie Gingiva aus; jedoch zeigte es aufgrund unzureichender biomechanischer Eigenschaften und erhöhter Frakturanfälligkeit mangelhafte Langzeitergebnisse und setzte sich folglich nicht durch [27-29].

Aufgrund der Komplikationen von Keramikimplantaten behauptete sich Titan als Standardwerkstoff [16, 30]. Nichtsdestotrotz wurde der Tübinger Ansatz der Sofortimplantation weiter aufgegriffen; dieser wird nach wie vor wissenschaftlich diskutiert und als Alternative zur Spätimplantation angewandt [22].

In Abhängigkeit von der primären Knochen- und Weichgewebequalität kann demnach zwischen folgenden Vorgehensweisen gewählt werden: Die Implantation kann unmittelbar nach Zahnextraktion (Sofortimplantation) oder mehr als sechs Monate nach Zahnverlust (Spätimplantation) durchgeführt werden.

Bei der Auswahl des Implantats ergeben sich heutzutage grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Zum einen kann ein zweiteiliges Implantat (Schraube und sogenanntes ‚Abutment‘) mit nachfolgender prothetischer Versorgung angewendet werden, in der Regel mit einer Krone (siehe **Abbildung 2a**). Alternativ hierzu kann zum anderen ein einteiliges Monotypeimplantat ohne separat anzubringendes Abutment zum Einsatz kommen (siehe **Abbildung 2b**).

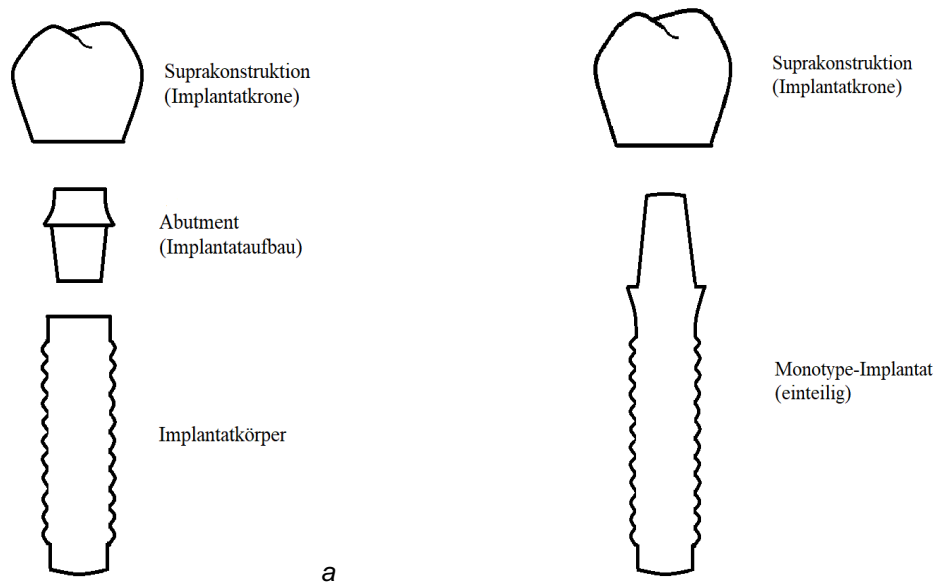


Abbildung 2: Aufbau eines zweiteiligen versus einteiligen Implantats

a) Skizze eines zweiteiligen Implantats; zu sehen ist die Einteilung in Implantatkörper (Schraube), Abutment und Suprakonstruktion.

b) Abb. b zeigt die Skizze eines einteiligen Implantats mit Implantatkörper und Suprakonstruktion.

1.2 Titan – Werkstoff der Gegenwart

Unabhängig von der Auswahl des Implantattyps ist als entscheidender Aspekt für die Einheilung und damit den dauerhaften Erfolg von Implantaten die erstmals durch Brånemark beschriebene Osseointegration zu sehen [31]. Sie wurde zu Beginn als histologisch im Lichtmikroskop erkennbarer, „direkter Kontakt zwischen vitalem Knochen und Implantat“ [32] definiert [18, 20, 32]. Zarb und Albrektsson [33] präzisierten den Begriff später genauer als „einen [dynamischen] Prozess, durch den während funktioneller Belastung ein klinisch asymptomatischer starrer Verbund zwischen alloplastischen Materialien und Knochen erreicht und aufrechterhalten wird“ [33]. Zentrale Faktoren in Bezug auf die gelungene Osseointegration sind Gahlert et al. [34] zufolge „der direkte Knochenkontakt zum Implantat und die periimplantäre Knochendichte“ [34]. Bedeutsam seien aber auch die Oberflächenbeschaffenheit des Implantats und die Knochenqualität [32, 35, 36].

Neben der Osseointegration nennen Brånemark et al. [37] folgende Kriterien als maßgebend für den Erfolg eines Implantats: Das Vorliegen eines biokompatiblen Implantats, eine atraumatische Vorgehensweise bei Implantation, eine ausreichende Einheilphase des Implantats und eine anschließende Belastung des Implantats, die zu erwünschten Umbauprozessen im Kieferknochen führen sollte [37]. Zur sicheren und dauerhaften Implantateinheilung sind gemäß Albrektsson et al. [32] und

Bosshardt et al. [20] später zwei Faktoren relevant: Zum einen sei die Knochenqualität zum Implantationszeitpunkt bzw. die Fähigkeit des Knochens zur Regeneration in der Einheilungsphase von Bedeutung; zum anderen spiele das Implantatmaterial eine entscheidende Rolle, genauer dessen Oberflächenbeschaffenheit, Formung und Größe bzw. vertikale Ausdehnung im Verhältnis zum Knochen [20, 32].

Titan gilt als ein solches osseointegratives und hoch biokompatibles sowie korrosionsbeständiges Implantatmaterial – Eigenschaften, die reines Titan zum Goldstandard in der Implantologie gemacht haben [27, 31, 36, 38-40]. In-vivo-Studien an Tieren und Menschen zeigten histologisch auf, dass sich Titanimplantate gut in vitalen Knochen integrieren [20]. Auf der Titanoberfläche bildet sich in Anwesenheit von Sauerstoff eine Oxidschicht, was dem Implantat Korrosionsbeständigkeit verleiht [32, 38].

Weitere in-vivo-Studien demonstrierten, dass Titanimplantate mit einer mikrorauen Oberfläche biologisch sehr gut toleriert werden und schnell osseointegrieren, da sich Osteoblasten und andere Zellen besser an eine raue Oberfläche anheften [35, 41]. In den letzten Jahren wurde die Oberflächenbeschaffenheit von Titanimplantaten z. B. mittels Sandstrahlen oder Säureätzung optimiert, wodurch die Knochenanlagerung an das Dentalimplantat weiter verbessert wurde [16, 42]. Deshalb gelten diese Techniken heutzutage als gängige Verfahren zur Herstellung von Titanimplantaten [20, 43]. Neben Titan hat sich unterdessen Zirkoniumdioxid als alternatives Implantatmaterial aufgetan.

1.3 Zirkoniumdioxid – das Implantatmaterial der Zukunft?

Auch bei Zirkoniumdioxidimplantaten wurde die Oberflächenbeschaffenheit angepasst, um deren Eigenschaften zu optimieren [34, 44, 45]. Aufgrund vielversprechender Resultate aus Studien erlangte Keramik Anfang der 2000er Jahre praktische Relevanz, sodass heutzutage immer mehr Keramikimplantate aus Yttrium-stabilisiertem Zirkoniumdioxid (ZrO_2 , als ‚Zirkonoxid‘ bezeichnet) zum Einsatz kommen [4, 16]. Wegen seiner ausgezeichneten biomechanischen Eigenschaften hat sich Zirkoniumdioxid klar gegenüber anderen Keramiken wie Aluminiumhydroxid-Keramik durchgesetzt [46-48].

Mittlerweile sind vier Generationen sowie neuere Hybridarten der Zirkoniumdioxide auf dem Markt [49-51]. Diese unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Festigkeit, Bruchzähigkeit und je nach Transluzenz in ihrer optisch ästhetischen Qualität; somit ergeben sich jeweils unterschiedliche Indikationsfelder, unter anderem auch die dentale Implantologie [52, 53].

Grundsätzlich kann Zirkoniumdioxid in tetragonaler (quaderartiger), monokliner (einfach geneigter) oder kubischer (würfelförmiger) Kristallstruktur vorkommen [36, 53]. In der Zahnmedizin wird die tetragonale Struktur favorisiert [48]. Diese wird durch Yttriumoxid (3 %) und Aluminiumoxid (0,25 %) stabilisiert; letzteres führt jedoch zu einem ästhetisch eher ungünstigen gelblich-opaken Erscheinungsbild, weshalb es in späteren Zirkoniumdioxid-Generationen immer weiter reduziert wurde [54]. Die Tetragonalstruktur hat den Vorteil, dass das Fortschreiten eventuell entstehender Risse gebremst werden kann [36, 48, 51].

Aktuell wird in der Implantologie überwiegend Titan verwendet; einige Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass Titan und Zirkoniumdioxid funktionell, beispielsweise bezüglich ihrer Osseointegration, mindestens gleichwertig sind [40, 55-57]. Eine mögliche Überlegenheit der Zirkoniumdioxidimplantate könnte sich z. B. in Bezug auf das optische Ergebnis und die bakterielle Adhärenz mit all ihren negativen Konsequenzen ergeben [46, 58].

Bei ungünstiger Weichgewebssituation – besonders im Bereich der Frontzähne und vorderen Prämolaren – kann das Durchschimmern der grauen Farbe von Titan, wie in **Abbildung 3 a und b** sichtbar, als unästhetisch empfunden werden [16, 59]. Dieser Nachteil könnte durch die zahnähnliche Farbe der Zirkoniumdioxide vermieden werden [2]. Ein weiterer Vorteil ist die geringere Plaqueaffinität von Zirkoniumdioxidimplantaten im Vergleich zu Titanimplantaten [27, 45, 60-62]. Zirkoniumdioxid könnte einen besseren Schutz vor bakterieller Besiedelung bieten und somit das Risiko der Entstehung eines pathogenen Biofilms reduzieren [27]. Häufige Folge der Biofilmbildung ist die Entstehung einer periimplantären Mukositis, klinisch gekennzeichnet durch eine Rötung und Schwellung des Weichgewebes bis hin zu Sulkusblutungen [63, 64]. Des Weiteren droht sich hieraus die gefürchtete Periimplantitis zu entwickeln, charakterisiert durch Zahnfleischtaschenbildung und relevanten Knochenabbau [16, 61, 63, 65]. Dieser kann im äußersten Fall zu einem Implantatverlust führen [66].

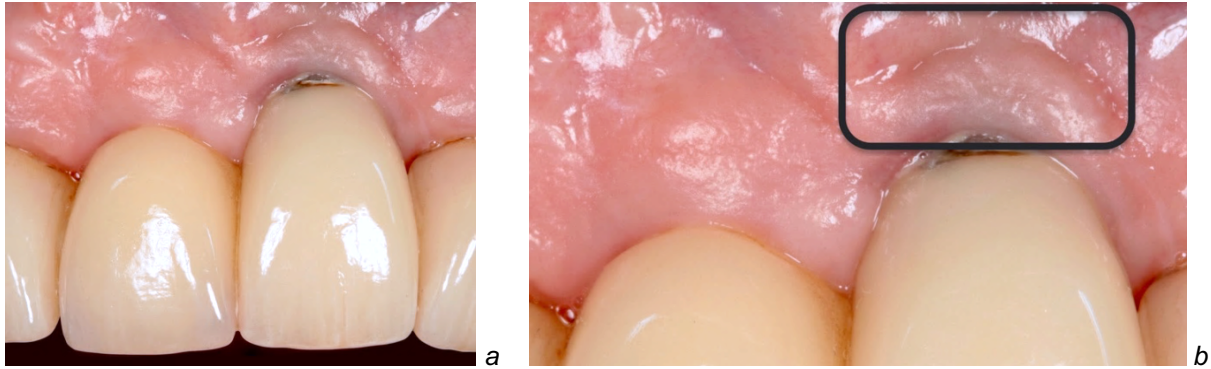


Abbildung 3: Foto benachbarter Titan- und ZrO₂-Implantatkronen

a) Implantatkronen in Regio 11 und 21; in Regio 11 befindet sich eine Implantatkrone auf einem einteiligem PURE Ceramic-ZrO₂-Implantat der Firma Straumann; in Regio 21 ist eine Implantatkrone auf einem Titanimplantat (Hersteller unbekannt) mit Durchschimmern der dunklen Farbe zu sehen.
 b) Zu sehen ist ein vergrößerter Ausschnitt von Bild a), das Durchschimmern des Titanimplantats wurde auf dem Foto zur Verdeutlichung schwarz umrandet.

Grundsätzlich wird nach Zirkoniumdioxidimplantationen eine erhöhte Gingivaadhärenz festgestellt [27]. Diese ist vorteilhaft, weil sie eine Barriere gegen etwaige Entzündungsprozesse darstellt [67]. Klinisch lässt sie sich durch eine geringe Taschensondierungstiefe verifizieren [63].

Als weiterer Vorteil ist nach Zirkoniumdioxidimplantation im Vergleich zu Titan eine bessere Restitution der Papille zu beobachten [59]. „Papillenformationsverluste können zu [...] phonetischen Problemen und [...] Impaktion von Speiseresten führen“ [68, 69], insbesondere auch zu optischen Problemen [69, 70]. Im Falle einer unzureichenden Ausformung der Papille zwischen zwei Antagonisten entsteht ein schwarzes Dreieck, das ein unbefriedigendes ästhetisches Ergebnis mit sich bringt („Black-Triangle-Dilemma“, englisch: *black triangle dilemma*, siehe **Abbildung 4**) [68].

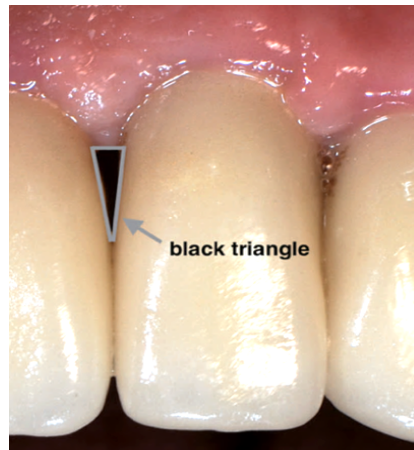


Abbildung 4: Black-Triangle-Phänomen

Zu sehen ist ein Foto in orthograder Ansicht mit einer Implantatkrone in Regio 22 und dem sog. ‚Black-Triangle‘ (grau umrandet) distal.

1.4 Erfolgskriterien für Implantate

Nach Implantatsetzung ist ein überzeugendes ästhetisches Ergebnis zweifellos wünschenswert, primäre Zielsetzung ist jedoch zunächst der dauerhafte Erhalt des Implantats (‚Überlebensrate‘, englisch: *survival rate*). Hiervon zu unterscheiden ist der Begriff ‚Erfolgsrate‘ (englisch: *success rate*). Kriterien für einen erfolgreichen Langzeitverlauf nach Implantatversorgung wurden mehrfach beschrieben: Immobilität des Implantats, Fehlen einer periimplantären Radioluzenz, Ausbleiben eines Knochenabbaus (Abbau von weniger als 0,2 mm pro Jahr) und Nichtauftreten von Schmerzen, Infektionen und anderen Beschwerden [6, 71, 72].

Der schwedische Wissenschaftler Tomas Albrektsson hat im Jahr 1986 analog zu den oben beschriebenen Kriterien (siehe 1.2: [20, 32, 37]) mehrere Voraussetzungen für eine erfolgreiche Implantation definiert [6]: Zunächst sollte das Implantat biokompatibel sein und eine ideale makroskopische und mikroskopische Oberflächenbeschaffenheit haben; bedeutsam sei auch die Qualität des Implantatbetts (z. B. Infektionslosigkeit und Knochenqualität) [6]. Zudem komme es neben einer präzisen chirurgischen Technik auf eine störungsfreie Postimplantationsphase an; dazu gehören würden eine problemlose Einheilung und eine anschließend ideale prothetische Versorgung und Langzeitbelastung des Implantats [6, 37, 73].

1.5 Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung

In diversen Kurzzeitstudien erzielten Zirkoniumdioxidimplantate bereits positive klinische Ergebnisse: Sie zeichnen sich gemäß vorliegender Literatur ([3, 4, 74]) durch eine hohe Überlebensrate (mindestens 90 % der Implantate) und Erfolgsrate (mindestens 80 % der Implantate) sowie durch ein ästhetisch ansprechendes Ergebnis aus [3, 4, 74]. Jedoch fehlen noch Langzeitresultate [3, 4]. Da moderne Zirkoniumdioxidimplantate noch nicht lange verfügbar sind, ist es von Bedeutung, erste Langzeitdaten nach über fünf Jahren zu generieren. Somit könnte auf Basis solcher Daten eine mögliche Verbesserung der chirurgischen und prothetischen Versorgungskonzeption erreicht werden.

Die vorliegende Studie soll Anhaltspunkte liefern, wie die funktionelle und ästhetische Rehabilitationskapazität bei vollkeramischer Dentalimplantation einzuschätzen ist. Folgende Themenkomplexe sollen dabei berücksichtigt werden:

1. Subjektive Zufriedenheit der Patienten bezüglich des funktionellen und ästhetischen Ergebnisses.
2. Klinische und radiologische Verlaufsuntersuchung (z. B. Überlebens- und Erfolgsrate).
3. Klinische und radiologische Bestimmung ästhetisch maßgeblicher Größen zur Einschätzung des optischen Resultats.

Relevant ist auch die Fragestellung, ob sich Unterschiede je nach Art der Versorgung (Sofort- versus Spätimplantation, Einzel- versus benachbarte Implantate) ergeben.

2 Methodik

2.1 Patientengut und Implantateigenschaften

Für die vorliegende Studie wurden Patienten im Zeitraum vom 01.03.2020 bis 14.06.2022 rekrutiert, die sich im Follow-up befanden mit einem oder mehreren einteiligen Zirkoniumdioxidimplantaten (vollkeramisches Monotypeimplantat ‚PURE Ceramic‘, Straumann GmbH, Basel, Schweiz), wie in **Abbildung 5** skizziert. Dabei sollte das Implantat mindestens fünf Jahre in situ sein. Das Patientenkollektiv bestand auf Basis der Follow-up-Serie zweier bereits publizierter Studien [74, 75]. Es wurden sowohl sofort- und spätinsetzte Implantate als auch Einzel- und nebeneinanderliegende Implantate in die Studie eingeschlossen. Nikotinabusus und Vorerkrankungen wie Diabetes mellitus wurden dokumentiert, waren jedoch keine Ausschlusskriterien dieser Untersuchung. Lediglich diejenigen Patienten, die eine Nachuntersuchung ablehnten, wurden von der Studie ausgenommen.

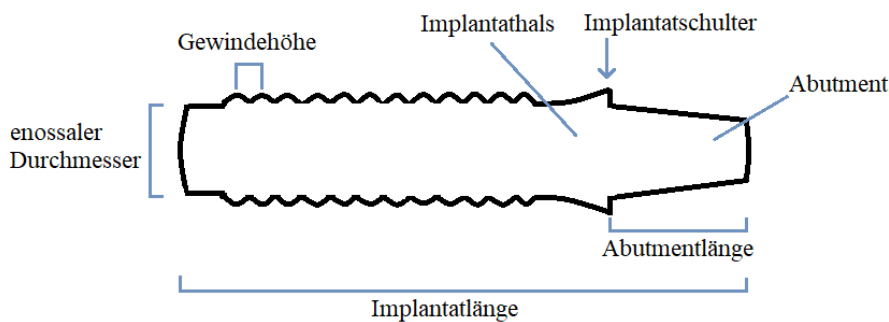


Abbildung 5: Skizze eines Monotypeimplantats

Zu sehen ist die Zeichnung eines Monotypeimplantats mit dessen Aufbau.

Jedes der inserierten Implantate hatte einen enossalen Durchmesser von 4,1 mm. Der Gewindetyp der Implantate war selbstschneidend; die Steigung der Gewindehöhe betrug 0,8 mm. Die einteiligen Implantate bestanden aus einem koronalen Abutment für zementierbare Restaurationen (4 mm und 5,5 mm), der Hals war konisch und wies eine Länge von 1,2 mm auf.

2.2 Datenerhebung und -auswertung

Für die Erhebung wurden sämtliche Patienten telefonisch kontaktiert und zur Nachuntersuchung ihrer Implantate in die ehemalige ‚Praxis für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Kniha, Schlegel & Kollegen‘ (Arnulfstraße 19, München) geladen. Nach eingehender Aufklärung stimmte jeder Patient schriftlich zu, in die Studie aufgenommen zu werden. Zudem erfolgte vor Beginn der Untersuchungen die Zustimmung der Ethikkommission der Ludwig-Maximilians-Universität München (Projektnummer **20-040**). Die zur vorliegenden Untersuchung erforderlichen Daten wurden durch folgende Methoden erhoben:

- Sichtung der vorhandenen Patientenakte
- Beurteilung bereits vorhandener Röntgenaufnahmen
- Patientenbefragung mithilfe eines eigens erstellten Fragebogens
- Klinische Untersuchung
- Fotodokumentation und entsprechende Messungen
- Aktuelle Röntgendiagnostik und entsprechende Messungen.

Anamnestische und klinische Daten zu den Patienten, vorhandene Röntgenaufnahmen sowie Röntgenbefunde wurden von der Praxis digital zur Verfügung gestellt. Es erfolgte die retrospektive Sichtung in Hinblick auf folgende Kriterien:

- Alter
- Geschlecht
- Datum der Implantation
- Implantatposition
- Implantatgröße
- Implantationsweise (Sofort-/Spätimplantation)
- Bereits erfasste Messergebnisse auf Basis von Fotografien und Röntgenaufnahmen.

2.2.1 Patientenbefragung

Zunächst wurde jeder Patient zu seiner Zufriedenheit mit dem Gesamt- bzw. dem ästhetischen Resultat befragt:

- **Subjektive Gesamtzufriedenheit**

Die Patienten sollten ihre Gesamtzufriedenheit mit den Implantaten einschätzen. Sie konnten hierfür analog zur schulischen Klassifizierung Noten von ‚1‘ bis ‚6‘ (1: sehr guter Erfolg; 6: ungenügender Erfolg) vergeben.

- **Ästhetische Zufriedenheit**

Daneben sollten die Patienten speziell das ästhetische Resultat bewerten. Auch hier konnten sie die Note ‚1‘ bis ‚6‘ (1: sehr guter ästhetischer Erfolg; 6: ungenügender ästhetischer Erfolg) nennen.

2.2.2 Klinisch-zahnärztliches Untersuchungsprotokoll mit implantatbezogenen Kriterien

Jeder Patient wurde nach der Befragung klinisch-zahnärztlich untersucht. Zur objektiven Überprüfung des funktionellen Ergebnisses kamen die fünf folgenden klinischen Untersuchungsmethoden zum Einsatz:

- **Mobilitätsprüfung**

Die Mobilität des Implantats wurde palpatorisch-digital untersucht. Anschließend wurde in ‚ja‘ (mobil) bzw. ‚nein‘ (immobil) klassifiziert.

- **Perkussionstest**

Danach erfolgte der Perkussionstest mittels eines metallischen Mundspiegelgriffs. Bei Angabe von Schmerzen wurde der Perkussionstest als ‚positiv‘ deklariert, ansonsten als ‚negativ‘.

- **Sondierungstiefe**

Mithilfe einer Parodontalsonde (WHO-Sonde) wurde die Sulkustiefe am Implantat sondiert. Hierbei wurden systematisch vier Positionen in Millimetern gemessen: mesial, distal, bukkal und oral. Aus diesen vier Messwerten wurde die durchschnittliche Sondierungstiefe errechnet.

- **Sulkus-Blutungs-Index**

Um den Zahnhalteapparat zu untersuchen, wurde der modifizierte Sulkus-Blutungs-Index (SBI) nach Mombelli und Lang [67] mit der Parodontalsonde (WHO-Sonde) bestimmt. Der SBI wird abhängig von der Blutungsneigung nach Sondierung in Grad ,0‘ bis ,3‘ eingeteilt: 0 = keine Blutung; 1 = isolierte Blutung; 2 = linienförmige Blutung; 3 = starke Blutung [67].

- **Plaque-Index**

Das Vorhandensein von Plaque an der Implantatkrone wurde einerseits durch genaue Inspektion, andererseits durch Sondierung mit der Parodontalsonde geprüft. Der Befund wurde nach dem modifizierten Plaqueindex nach Mombelli und Lang [67] klassifiziert. Dabei wurde zwischen den Schweregraden ,0‘ bis ,3‘ unterschieden: 0 = keine Plaque; 1 = Plaque vorhanden, durch das Sondieren im Sulkus erkennbar, nicht aber mit bloßem Auge; 2 = sichtbare Plaqueablagerungen; 3 = massive Plaqueablagerungen [16, 67].

- **Längenbestimmung der Krone**

Als Grundlage für weitere Messungen zur Einschätzung des funktionellen und kosmetischen Resultats (siehe 2.2.6) diente die sichtbare Länge der Krone. Hierbei wurde anhand einer bereits publizierten Methodik ([75]) senkrecht zur Schneidekante die höchste Längenausdehnung gemessen (siehe **Abbildung 6**). Zur Anwendung kam ein Zirkel, der anschließend an ein Lineal angelegt wurde, sodass ein entsprechender Millimeterwert abgelesen werden konnte.



Abbildung 6: Fotokalibrierung mithilfe der Kronenlänge

Implantatkrone in Regio 21, von orthograd sichtbar; eingezeichnet ist die Kronenlänge von 11,5 mm, im Messprogramm 596,1 Pixeln entsprechend. Daneben sind unten erwähnte Ligaturdrähte erkennbar (siehe 2.2.5).

2.2.3 Röntgendiagnostik

Um Rückschlüsse auf das funktionelle und ästhetische Resultat zu gewinnen, unterzog sich jeder Patient nach Abschluss der klinischen Untersuchung einer röntgenologischen Diagnostik. Zwar liefert ein natives Orthopantomogramm (OPT) Hinweise auf die knöcherne Integration des Implantats, jedoch lässt sich die Papillenspitze kaum zweifelsfrei erkennen. Zu deren Darstellung wurde deshalb analog zur von Kniha et al. [75] empfohlenen Methode ein Kontrastmittelverfahren gewählt. Ziel war, hierdurch exakte Hinweise zur Lage der Papillenspitze neben der Implantatkrone zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurde folgende kontrastgebende Substanz hergestellt: Temp-Bond (temporärer Zinkoxid-Befestigungszement, *Kerr-Dental, Orange, USA*) und Wolframpulver wurden im Verhältnis 1:1 angemischt. Daraufhin wurde das Material mit der zahnärztlichen Sonde punktförmig in die beiden Zahnzwischenräume eingebracht. Anschließend wurde eine Röntgenbildaufnahme mittels OPT mit nachfolgender digitaler Speicherung angefertigt (siehe **Abbildungen 7a und 7b**). Unmittelbar danach wurde das Gemisch mittels Sonde aus dem Zahnzwischenraum entfernt. Die beschriebene Röntgentechnik diente als Grundlage zur Ermittlung spezifischer Messparameter (siehe 2.2.6).



Abbildung 7: OPT mit kontrastmittelgestützter Darstellung der Papillenspitze

a) Gesamtes OPT; ein PURE Ceramic-ZrO₂-Monotypeimplantat der Firma Straumann ist in Regio 11 zu sehen. Die Papillenspitze wurde mithilfe des Wolframpulvergemischs kontrastmittelgestützt radiologisch dargestellt.

b) Vergrößerter Ausschnitt desselben OPT aus Abb. 7a.

2.2.4 Erfolgsrate nach Albrektsson et al. [6]

Die beschriebenen klinischen und radiologischen Befunde dienen als Grundlage für die Ermittlung der Erfolgsrate nach Albrektsson et al. [6]. Dieser postuliert für den Erfolg eines Implantats folgende Parameter: Schmerzfreiheit, Immobilität des Implantats, ausbleibende Radioluzenz und Knochenabbau von $\leq 0,2$ mm pro Jahr ab dem Zeitpunkt der okklusalen Belastung [6]. Die Knochensituation wurde zum Zeitpunkt der okklusalen prothetischen Belastung mit einem Zahnfilm (in Paralleltechnik) dokumentiert. Diese Aufnahmen wurden nun mit den im Rahmen der Langzeituntersuchung angefertigten aktuellen Röntgenaufnahmen verglichen, wobei hier jeweils statt eines Zahnfilms ein OPT erstellt wurde.

Es wurde jeweils der Abstand vom Knochenansatz am Implantat bis zur Implantat-schulter (Strecke 1, siehe 2.2.6) gemessen (siehe **Abbildungen 8a und 8b**).

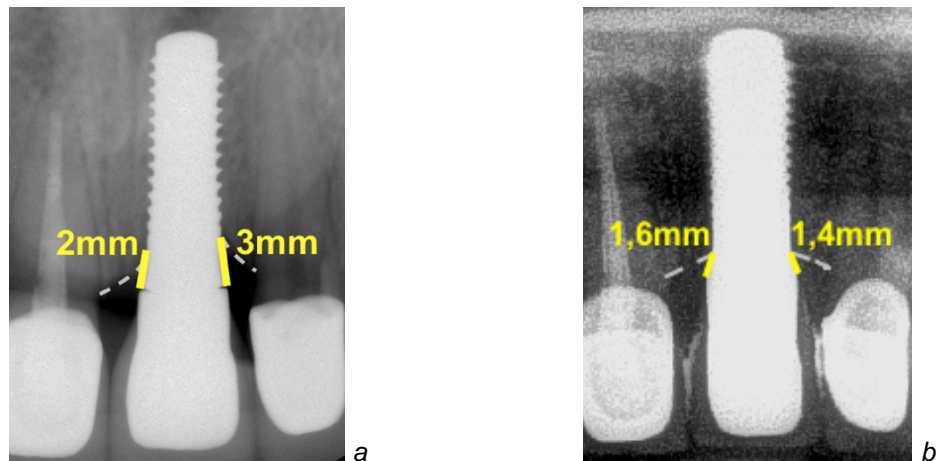


Abbildung 8: Knochenverhalten im Follow-up

a) Zahnfilm (Paralleltechnik) von Regio 21 aus dem Jahr 2013 (Zeitpunkt der prothetischen Belastung), Aufnahme eines einteiligen PURE Ceramic-ZrO₂-Implantats der Firma Straumann; skizziert sind die Knochenverläufslinie (grau) und der Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter (gelbe Linie); bei diesem Implantat beträgt die Strecke mesial 2 mm und distal 3 mm. Die gelbe Linie wird später als Strecke 1 bezeichnet (siehe 2.2.6).

b) Vergrößerter Ausschnitt eines OPT von Regio 21 aus dem Jahr 2021 (Untersuchung im Rahmen der vorliegenden Studie), dasselbe Implantat wie in Abb. 8a; skizziert sind erneut die Knochenverläufslinie (grau) und der Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter (gelb); bei diesem Implantat misst die Strecke mesial 1,6 mm und distal 1,4 mm).

2.2.5 Fotodokumentation

Zur weiteren Untersuchung des optischen Ergebnisses wurden Fotos angefertigt. Mit einer digitalen Kamera (Nikon D3S, Micro Nikkor 105 mm Objective) wurden Fotografien der Implantatkrone mit angrenzender Gingiva aufgenommen.

Als erste Projektion wurde eine orthograde Einstellung gewählt (siehe **Abbildung 9a**). Diese nützte der späteren ästhetischen Beurteilung anhand des Pink-Esthetic-Scores (PES) (siehe 2.2.7) sowie der Bestimmung der Papillenhöhe (siehe 2.2.6). Danach erfolgte die Einbringung zweier kieferorthopädischer Ligaturdrähte (0,9 mm Durchmesser) zwischen Implantatkrone und jeweiligem Nachbarzahn (**Abbildung 9b**). Die Drähte wurden durch ein definiertes Gewicht einer 50g schwere Klemme unter Zugspannung gesetzt. Daraufhin wurde eine erneute Fotodokumentation von orthograd vorgenommen. Die Lage des Drahtes markierte die genaue Position des Approximalkontaktes. Dieser wiederum diente zur späteren Ermittlung des Papillendefizites (siehe 2.2.6).

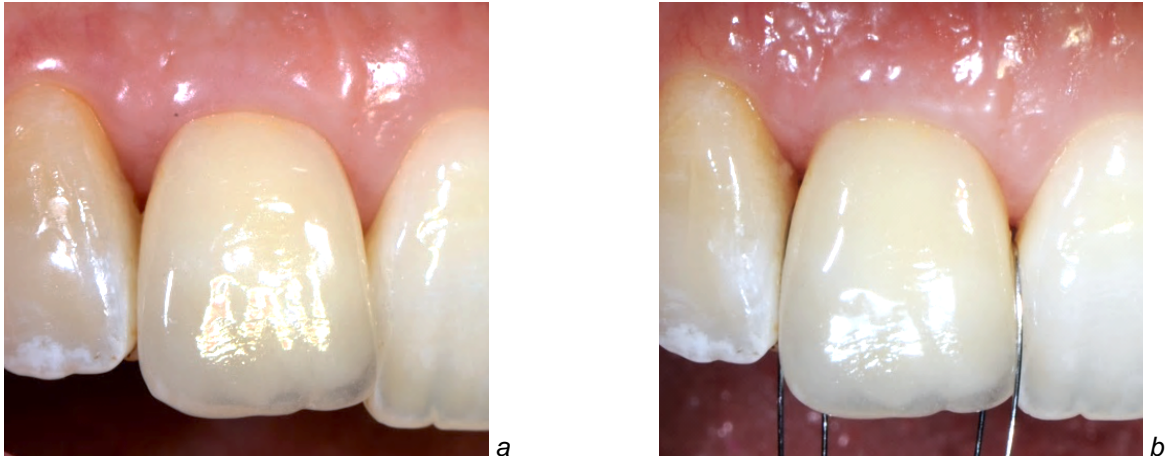


Abbildung 9: Orthograde Fotoaufnahme ohne/mit Ligaturdrähten

a) Zu sehen ist die orthograde Ansicht der Implantatkrone eines ZrO_2 -Implantats in Regio 11.

b) Derselbe Fall wie in Abb. 9a: Sichtbar ist eine orthograde Aufnahme der Implantatkrone nach Einbringung von Ligaturdrähten mesial und distal.

2.2.6 Messverfahren auf Basis der Fotodokumentation und Röntgendiagnostik

Anhand der eben genannten Verfahren, nämlich der klinischen Untersuchung (Verwendung eines Zirkels), der erstellten Röntgenaufnahmen sowie auf Basis der Fotodokumentation wurden Parameter bestimmt, um das funktionelle und optische Resultat einzuschätzen.

- **Kronenlänge**

Im Rahmen der klinischen Untersuchung wurde mithilfe eines Zirkels die höchste vertikale Längenausdehnung der Krone in Millimetern ermittelt (siehe 2.2.2). Dieser Messwert galt fortan als Referenzparameter für weitere Messungen.

- **Radiologische Messparameter**

Um anhand des OPT die realen Messgrößen in Millimetern bestimmen zu können, wurde folgendermaßen vorgegangen: Als Referenzgröße diente die bekannte Länge von fünf Schraubenwindungen des Implantats. Ein einzelnes Implantatgewinde misst 0,8 mm, sodass sich zur Kalibrierung eine repräsentative Länge von 4 mm ergab (siehe **Abbildung 10**).

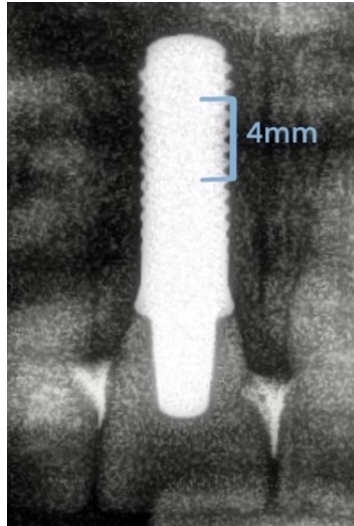


Abbildung 10: Darstellung der Röntgenkalibrierung im OPT

Zu sehen ist der vergrößerte Ausschnitt eines OPT mit einem PURE Ceramic-ZrO₂-Implantat in Regio 11; dargestellt ist die Kalibrierung des Röntgenbildes: fünf Gewindehöhen = 4 mm.

Zur Messung aller wesentlichen Strecken wurde das von Wayne Rasband entwickelte Computer-Bildbearbeitungs- und Messprogramm ‚Image J‘ (Version 1.52, Bethesda, Maryland, Vereinigte Staaten) verwendet. Die Software ermöglichte mit einer zwei- bis 32-fachen Vergrößerung die genaue Positionierung der Messpunkte auf dem digitalen Bild. Jede Messung wurde zehnmal wiederholt, um Ungenauigkeiten auszuschließen. Der Mittelwert aus diesen zehn Messungen wurde in Millimetern mit einer Genauigkeit im Tausendstelbereich bestimmt und zuletzt auf eine Dezimalstelle gerundet.

Die Messsoftware Image J lieferte anschließend die Millimeterangaben dreier relevanter Strecken auf dem Röntgenbild: Strecke 1 wurde vom Knochenansatz am Implantat bis zur Implantatschulter vermessen, Strecke 2 entsprach der Distanz vom Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze, Strecke 3 der Distanz vom Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze (siehe **Abbildungen 11a und 11b**).

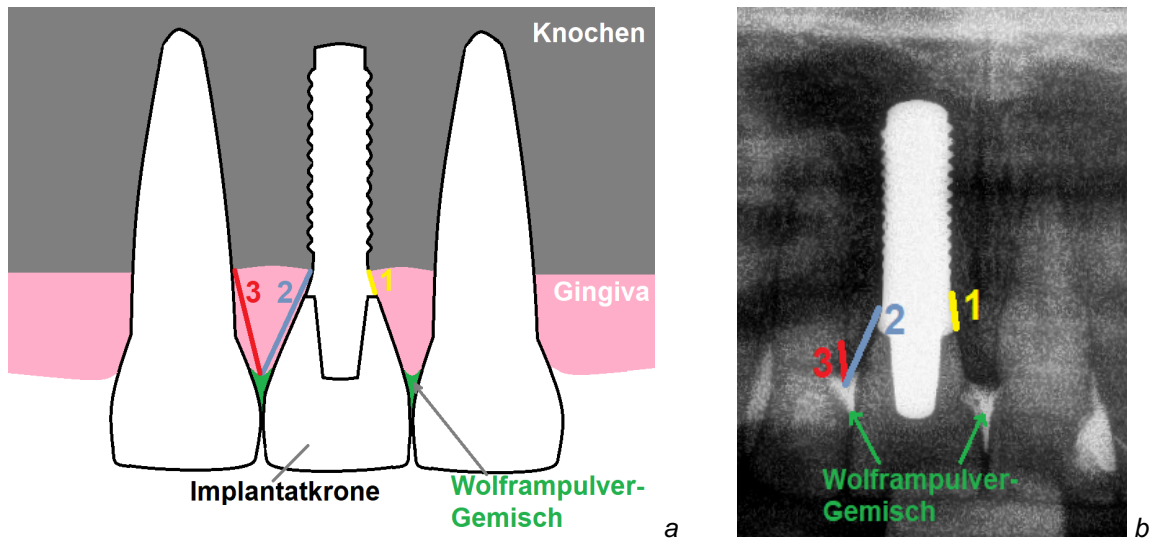


Abbildung 11: Skizze und OPT mit den Strecken 1 bis 3

a) Skizze zu Strecke 1 bis 3; Strecke 1 entspricht dem Abstand des Knochenansatzes am Implantat zur Implantatschulter (gelb), Strecke 2 der Distanz vom Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze (blau), Strecke 3 dem Abstand vom Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze (rot).

b) Dasselbe OPT wie in Abbildung 11; markiert wurden das Wolframpulvergemisch mesial und distal sowie die Strecken 1 bis 3.

Bei Vorhandensein von zwei oder mehr benachbarten Implantaten wurden die entsprechenden Messungen gesondert für jedes Implantat durchgeführt. Pro Implantat wurden die Strecken 1, 2 und 3 jeweils in mesialer und distaler Position bestimmt.

- **Fotoaufnahmen**

Die zuvor klinisch anhand des Zirkels ermittelte Kronenlänge in Millimetern (siehe 2.2.2) war die Grundlage für die Kalibrierung, womit dann aus dem Foto reale Millimeterangaben errechnet werden konnten (siehe **Abbildung 12**). Zur Umrechnung der fotografisch gewonnenen Pixel-Daten in die Einheit ‚Millimeter‘ und entsprechenden Einstellung des Maßstabs diente die Messsoftware Image J.

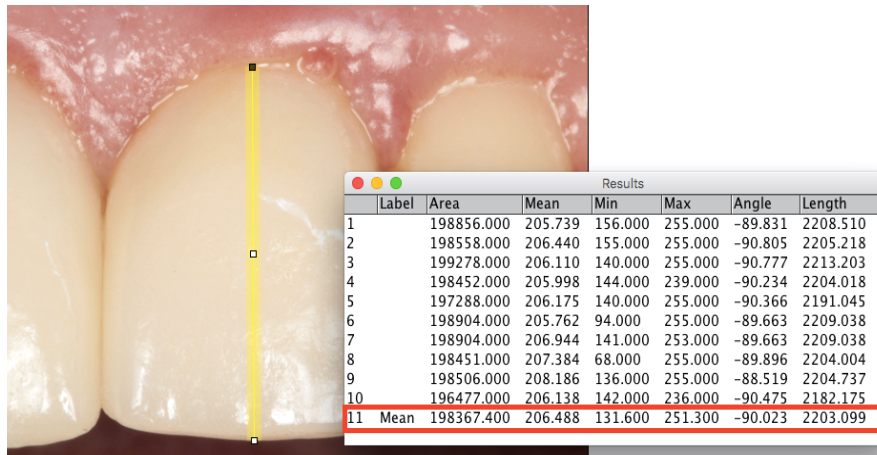


Abbildung 12: Fotokalibrierung mithilfe der Kronenlänge

Dargestellt ist die orthograde Ansicht einer Implantatkrone in Regio 21. Eingezeichnet ist die Kronenlänge von 11 mm, im Messprogramm Image J im Mittel 2203,099 Pixeln entsprechend. Fortan konnte nach entsprechender Maßstabseinstellung in Millimetern gemessen werden.

Es wurden mesial und distal jeweils zwei Parameter bestimmt: Strecke 4, die Papillenhöhe (Abstand vom Papillenansatz an der Krone bis zur Papillenspitze); und Strecke 5, das Papillendefizit (Distanz von der Papillenspitze bis zum untersten Punkt des mithilfe des Ligaturdrahtes ermittelten Approximalkontakts) (siehe **Abbildung 13a und 13b**).

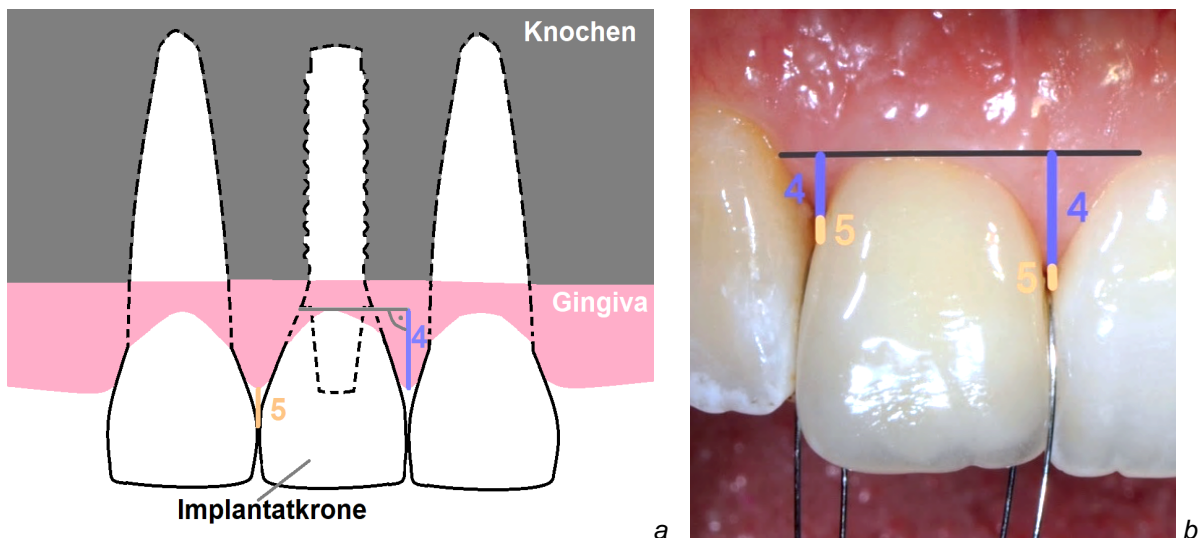


Abbildung 13: Skizze und Foto zu den Strecken 4 und 5

a) Skizziert sind die Strecken 4 (Papillenhöhe, violett) und 5 (Papillendefizit, ocker).
 b) Dasselbe Foto wie in Abbildung 12 mit Ligaturdrähten; dargestellt ist die Ermittlung der Strecken 4 (Papillenhöhe) und 5 (Papillendefizit) mesial und distal.

Im Fall von zwei oder mehr benachbarten Implantaten wurde ebenso jedes Implantat einzeln vermessen.

- **Weitere Analysen auf Basis der bisher ermittelten Messstrecken**

Die Strecke 4 (Papillenhöhe) und die Kronenlänge (siehe 2.2.2 und 2.2.6) dienen der Bewertung der Papillenproportion (siehe **Abbildung 14**). Hierfür wurde die Studie von Chu et al. [76] herangezogen: Um den ästhetischen Outcome der interdentalen Gingiva zu beurteilen, wurde für jede Papille der Quotient „Papillenhöhe (Strecke 4)/Kronenlänge (KL)“ [76] berechnet (sog. ‚Kronen-Papillen-Ratio‘ = KPR).

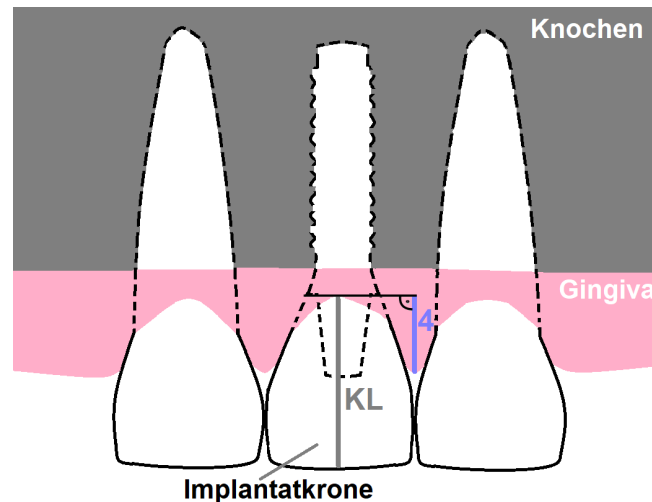


Abbildung 14: Schema der KPR nach Chu et al. [76]

Skizziert ist die KPR; berechnet wird diese durch den Quotienten Papillenhöhe/KL; die Kronenlänge KL wurde vom höchsten Punkt des Kronenrandes bis zur Schneidekante gemessen; die Papillenhöhe (Strecke 4) wurde vom höchsten Punkt der Papille bis zur Papillenspitze gemessen.

Zusätzlich wurde zur Darstellung des optischen Resultats die Studie von Tarnow et al. [69] berücksichtigt. Hierfür wurden die Strecken 6 und 7 errechnet (siehe **Abbildung 15**). Strecke 6 ließ sich als Summe aus Strecke 2 sowie 5 berechnen und entsprach der Distanz vom Knochenansatz am Implantat bis zum untersten Approximalkontakt der Kronen. Strecke 7 wurde durch Addition von Strecke 3 und 5 ermittelt. Sie repräsentiert den Abstand vom Knochenansatz am Nachbarzahn zum Approximalkontakt der Kronen.

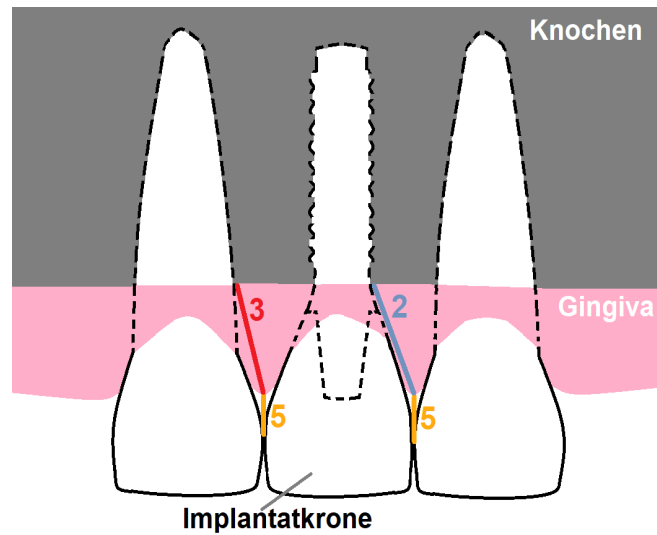


Abbildung 15: Skizze zu Strecke 6 und 7

Strecke 6 und 7 wurden durch folgende Additionen ermittelt:

Strecken 2 + 5 = Strecke 6 (Abstand vom Knochenansatz am Implantat bis zum Approximalkontakt),

Strecken 3 + 5 = Strecke 7 (Abstand vom Knochenansatz am Nachbarzahn bis zum Approximalkontakt).

In **Tabelle 1** sind die klinisch, radiologisch und fotografisch ermittelten Strecken zusammengefasst.

Strecke	Definition
Kronenlänge KL (klinisch ermittelt)	Längste senkrecht von der Inzisalkante bis zum Papillenrand gemessene Strecke; angewandt für die Kalibrierung und die Bewertung des ästhetischen Ideals nach Chu et al. [76] (definiert durch den Quotienten ‚Papillenhöhe/KL‘)
Strecke 1 (radiologisch ermittelt)	Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter
Strecke 2 (radiologisch ermittelt)	Distanz vom Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze
Strecke 3 (radiologisch ermittelt)	Distanz vom Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze
Strecke 4 (fotografisch ermittelt)	Abstand vom Papillenansatz an der Krone bis zur Papillenspitze = Papillenhöhe
Strecke 5 (fotografisch ermittelt)	Distanz von der Papillenspitze bis zum untersten Punkt des mithilfe des Ligaturdrahtes ermittelten Approximalkontakts = Papillendefizit; Darstellung des Vorhandenseins eines Black-Triangle [68]
Strecke 6 (= Strecke 2 + 5)	Abstand vom Knochenansatz am Implantat bis zum Approximalkontakt
Strecke 7 (= Strecke 3 + 5)	Abstand vom Knochenansatz am Nachbarzahn bis zum Approximalkontakt

Tabelle 1: Zusammenfassung der Messstrecken

Aufgelistet sind die Strecken 1 bis 7 mit ihrer Definition.

2.2.7 PES nach Fürhauser et al. [5]

Um das periimplantäre Weichgewebe zu beurteilen, wurde der PES nach Fürhauser et al. [5] herangezogen: Analog zu dessen Untersuchungen wurden die Fotografien in orthograder Ansicht (siehe 2.2.5) nach den folgenden sieben Parametern bewertet: mesiale und distale Papille, Weichgewebsniveau und -kontur, Alveolarfortsatzdefizit, Weichgewebsfarbe und -textur (siehe **Abbildung 16**, [5]). Als Referenz diente das Weichgewebe des gleichen Zahns der Gegenseite (Beispiel: Implantat in Regio 12, Referenzzahn 22).



Abbildung 16: Orthogrades Foto mit Skizzierung einiger PES-Parameter

Orthograde Ansicht der Implantatkrone in Regio 21, eingezeichnet sind die Parameter 1 bis 5 des PES nach Fürhauser et al. [5], in der Darstellung nicht berücksichtigt: Parameter 6 und 7.

Hierbei wurden folgende Bewertungen erstellt: Bei sehr guter Bewertung wurden zwei Punkte vergeben, bei einem mittelmäßigen Ergebnis wurde ein Punkt zugewiesen, bei einem unbefriedigenden Resultat wurden null Punkte festgehalten. Der höchste zu erreichende Score lag demnach bei 14 Punkten (siehe **Tabelle 2**).

Punkte / Parameter	0	1	2
1 Mesiale Papille	Nicht vorhanden	Inkomplett	Komplett ausgeformt
2 Distale Papille	Nicht vorhanden	Inkomplett	Komplett ausgeformt
3 Weichgewebeniveau	Hohe Diskrepanz im Vergleich zum Referenzzahn	Moderate Diskrepanz im Vergleich zum Referenzzahn	Kaum Diskrepanz im Vergleich zum Referenzzahn
4 Weichgewebekontur	Unnatürlich	Annähernd natürlich	Natürlich
5 Alveolarfortsatzdefizit	Klar erkennbar	Leichtes Defizit	Kein Defizit
6 Farbe des Weichgewebes	Deutlicher Unterschied	Moderater Unterschied	Kein Unterschied
7 Textur des Weichgewebes	Klarer Unterschied	Leichter Unterschied	Kein Unterschied

Tabelle 2: Bewertungsbogen des PES

Aufgelistet sind Parameter und Bedeutung der Punktwerte nach Fürhauser et al. [5]; die Parameter 3 bis 7 beinhalten jeweils den Vergleich mit dem Referenzzahn.

2.2.8 Verhältnis von Kronen- zu Implantatlänge

Neben der Ermittlung der KPRs und der PES-Werte wurde geprüft, ob das Verhältnis der Kronen- zur Implantatlänge Einfluss auf die Ästhetik hat. Dazu wurde folgendermaßen vorgegangen: Die Längen der Implantate wurden der Patientenakte entnommen. Die Kronenlängen wurden wie in 2.2.2 beschrieben bestimmt. Pro Implantat wurde der Quotient aus Kronenlänge ‚KL‘ und Implantatlänge ‚IL‘ (KL/IL) berechnet (siehe **Abbildung 17**). Diese Quotienten wurden nun mit den Messwerten des Papillendefizits korreliert. In einem zweiten Schritt wurden diese Quotienten mit den PES-Ergebnissen nach Fürhauser et al. [5] korreliert.

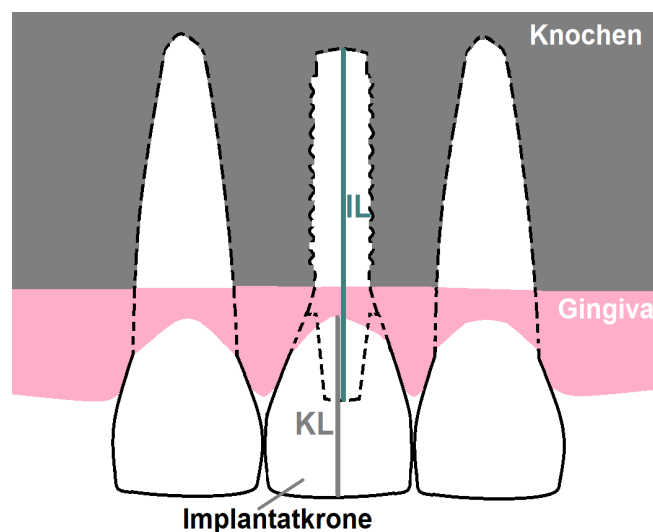


Abbildung 17: Skizze zur Bestimmung des Quotienten KL/IL

Skizziert sind die Strecken zur Bestimmung des Quotienten KL/IL ; die Kronenlänge KL (grau) wurde klinisch mittels eines Zirkels senkrecht zur Schneidekante bis zum höchsten Punkt der Papille vermessen; die Implantatlänge IL (grün) war nach Sichtung der Patientenakte bekannt.

2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mittels der von Dr. Harvey Motulsky entwickelten Software ‚GraphPad Prism‘ (Version 9.2.0, San Diego, Kalifornien, Vereinigte Staaten) durchgeführt.

Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden der Median- wie auch der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Maximal- und der Minimalwert bestimmt.

Bei Vorliegen einer Normalverteilung, basierend auf dem ‚Anderson-Darling‘- bzw. dem ‚Kolmogorov-Smirnov-Test‘, erfolgte die statistische Auswertung mithilfe des ‚Student’s-T-Test‘ (englisch: *student’s t-test*, ungepaart). Waren die Werte nicht normal-

verteilt, wurde der ‚Mann-Whitney-U-Test‘ (auch ‚Wilcoxon-Rangsummentest‘ genannt) angewandt. Zur Klärung von Zusammenhängen zwischen Merkmalen bzw. von Unterschieden zwischen zwei Gruppen (Implantationszeitpunkt, Implantatanzahl), also zur Ablehnung der Nullhypothese, wurde ein Signifikanzwert von $p < 0,05$ festgelegt.

Um den statistischen Zusammenhang zweier Variablen auszuwerten, wurde die ‚Ranggruppenkorrelation nach Spearman’s Rho‘ (ρ , auch r_s) herangezogen. Für Werte von r_s zwischen $0 < r_s \leq 0,2$ wurde kein bzw. ein schwacher Zusammenhang angenommen, bei $0,2 < r_s \leq 0,5$ war der Zusammenhang mäßig, bei $0,5 < r_s \leq 0,8$ bestand ein klarer Zusammenhang und bei $0,8 < r_s \leq 1$ lag ein sehr starker Zusammenhang vor.

Um die Teststärke der vorliegenden Studie zu messen, wurde die sogenannte ‚Post-hoc-Teststärkeanalyse‘ mithilfe der ‚G-Power-Software‘ (*Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Deutschland*) durchgeführt. Die Analyse basierte auf einer Stichprobengröße von 67 Implantaten und vier Gruppen mit einer Effektgröße von 3,6 sowie einem alpha von 0,05. Die Analyse der Gruppenvarianz ergab eine Teststärke von 99 %.

3 Ergebnisse

3.1 Patienten und Implantate

Die Studie umfasste 39 Patienten, darunter 22 Frauen und 17 Männer mit insgesamt 67 Implantaten. Die untersuchten Patienten waren zum Zeitpunkt der Implantation im Alter zwischen 20 und 77 Jahren. Der Mittelwert betrug $50,8 \pm 15,5$ Jahre, der Medianwert 53 Jahre. Das Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung lag zwischen 29 und 84 Jahren, im Mittelwert bei $58,8 \pm 15,6$ Jahren, im Medianwert bei 61 Jahren. Die mittlere Liegedauer der Implantate betrug acht Jahre.

Über einen Nikotinabusus oder über die Erkrankung an einem Immundefizit (z. B. Diabetes mellitus) berichtete nur eine geringe Anzahl an Patienten (ein Raucher mit \leq zehn Zigaretten pro Tag und zwei Diabetiker mit regelrecht eingestellten Blutzuckerwerten).

Keiner der 39 Patienten berichtete über einen zwischenzeitlichen Implantatverlust; die Überlebensrate der Implantate lag demnach bei 100 %.

Von den 67 untersuchten Implantaten waren 54 im Oberkieferfrontzahnbereich lokalisiert, null im Unterkieferfrontzahnbereich, elf im Oberkieferseitenzahnbereich und zwei im Unterkieferseitenzahnbereich.

Die Mehrzahl der Patienten wies jeweils ein Einzelimplantat auf (28 Patienten, 28 Implantate). Zwei Patienten hatten mehrere nicht benachbarte Implantate (insgesamt fünf Implantate, als Einzelimplantate gewertet), neun Patienten hatten mehrere benachbarte Implantate erhalten (insgesamt 34 Implantate) (siehe **Abbildung 18**).

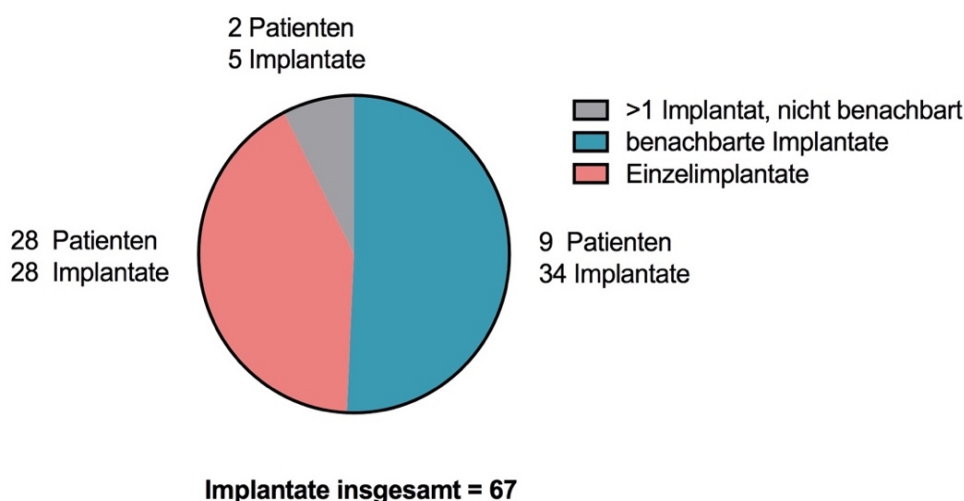


Abbildung 18: Verteilung der Implantate

Kreisdiagramm, das die Verteilung der 67 Implantate auf die 39 Patienten darstellt.

Die Sofortimplantation wurde bei 19 Implantationen (28,4 %) gewählt, die Spätimplantation bei 48 Implantationen (71,6 %).

Bei den Implantatabmessungen ergab sich, dass acht Implantate zehn Millimeter lang waren und 59 Implantate eine Länge von zwölf Millimetern aufwiesen.

Zunächst wurde die subjektive Bewertung der Implantate durch die Patienten betrachtet. Mittels eines Fragebogens wurde folgende Verteilung bezüglich der Patientenzufriedenheit nach acht Jahren ermittelt: 30 Patienten bewerteten das Gesamtergebnis mit der Note 1, neun mit der Note 2. Kein Patient beurteilte seine Gesamtzufriedenheit mit Note 3 oder schlechter. Somit lag der Medianwert für die Gesamtzufriedenheit bei 1, der Mittelwert bei $1,2 \pm 0,4$. Bei der ästhetischen Zufriedenheit zeigte sich ein ähnliches Bild: 26 Patienten vergaben die Note 1, zwölf die Note 2. Lediglich ein Patient bewertete sein optisches Ergebnis mit der Note 3; die Noten 4 bis 6 wurden nicht vergeben. Der Medianwert für die ästhetische Patientenzufriedenheit betrug demnach 1, der Mittelwert $1,4 \pm 0,5$. Nahezu sämtliche Patienten waren somit zufrieden bzw. sehr zufrieden mit dem Resultat.

3.2 Klinisch-zahnärztliche Untersuchung

Das funktionelle Ergebnis wurde durch folgende klinische Untersuchungsverfahren am jeweiligen Implantat systematisch überprüft: Kein Implantat war mobil, bei Perkussion zeigten sich bei keinem Patienten Schmerzen. Die Sondierungstiefe lag bei zwei Patienten bzw. zwei Implantaten (3,0 %) bei 3 mm, bei 37 Patienten mit 65 Implantaten (97,0 %) lag diese < 3 mm. Beim Sulkus-Blutungs-Index wurde bei zehn Implantaten (14,9 %) eine Blutung auf Sondierung (Grad 1) erkennbar, bei 57 Implantaten (85,1 %) keine Blutung (Grad 0). Hinsichtlich des Plaque-Index ergab sich ein ähnliches Bild: Bei acht Implantaten (11,9 %) konnte Plaque bei Sondierung nachgewiesen werden (Grad 1), bei 59 Implantaten (88,1 %) zeigte sich keinerlei Plaque (Grad 0).

3.3 Erfolgsrate nach Albrektsson et al. [6]

Die im Rahmen der klinischen Untersuchung erhobenen Parameter ‚Immobilität‘ und ‚Schmerzangabe‘ waren auch für die Beurteilung der Erfolgsrate nach Albrektsson et al. [6] relevant. Darauf bezogen ergaben sich folgende Ergebnisse (siehe **Tabelle 3**): Kein Implantat war mobil oder zeigte eine periimplantäre Radioluzenz. Es klagte außerdem kein Patient über Beschwerden bzw. Schmerzen. Das

Kriterium ‚Knochenabbau von durchschnittlich $\geq 0,2$ mm pro Jahr‘ (analog [6]) ließ sich bei nur sieben Implantaten (10,4 %) nachweisen.

Erfolgskriterien nach Albrektsson et al. [6]	Anteil an der Gesamtheit der Implantate in %
Immobilität	100
Ausbleibende periimplantäre Radioluzenz	100
Knochenabbau $< 0,2$ mm pro Jahr	89,6
Keine Schmerzen/Infektionen/andere Beschwerden	100
Anteil erfolgreicher Implantate	89,6

Tabelle 3: Erfolgsrate nach Albrektsson et al. [6]

67 Implantate wurden auf Mobilität, periimplantäre Radioluzenz, Knochenabbau $> 0,2$ mm pro Jahr ab prothetischer Belastung sowie Schmerzen, Infektionen und andere Beschwerden untersucht, wodurch die Erfolgsrate erstellt wurde; $n = 67$.

Bei Nichterfüllung eines Kriteriums wurde das Implantat als Misserfolg gewertet. Da sieben Implantate (10,4 %) das Kriterium ‚Knochenabbau von $< 0,2$ mm pro Jahr‘ nicht erfüllten, wurden diese als Misserfolg taxiert. Die übrigen Erfolgskriterien wurden von allen Implantaten erreicht, sodass sich für die Erfolgsrate nach Albrektsson et al. [6] ein Wert von 89,6 % ergab.

Die Fälle mit zufriedenstellender Knochenentwicklung (89,6 %) untergliederten sich wie folgt: Knochenabbau $< 0,2$ mm pro Jahr bei 35,8 %, konstantes Knochenniveau in 7,5 % und Knochenzuwachs in 46,3 % aller 67 Implantate (siehe **Tabelle 4**).

Knochenverhalten	Implantatanzahl	% der Implantate
Knochenverlust $\geq 0,2$ mm pro Jahr	7	10,4
Knochenverlust $< 0,2$ mm pro Jahr	24	35,8
Knochenniveau konstant	5	7,5
Knochenzuwachs	31	46,3
Gesamt	67	100

} 89,6 %

Tabelle 4: Knochenverhalten acht Jahre nach Implantatinsertion

Dargestellt sind Knochenverlust, konstantes Knochenniveau und Knochenzuwachs bei 67 Implantaten mit prozentuaalem Anteil; $n = 67$.

3.4 Streckenbestimmungen

An die Ermittlung der Erfolgsraten schloss sich die Bestimmung von Messstrecken an, die weitere Rückschlüsse auf das funktionelle und auch optische Resultat ermöglichen.

- **Kronenlängen**

Zunächst wurden die Implantatkronen mittels eines Zirkels vermessen: Diese waren zwischen 8,5 mm und 13 mm lang (siehe **Tabelle 5**). Am häufigsten zeigte sich eine Kronenlänge von 11 mm (27,3 %).

KL (mm)	8,5	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	
Implantatkronenanzahl	1	6	1	6	18	2	17	9	3	4	67

Tabelle 5: Kronenlängen

Aufgezeigt ist die Verteilung der Kronenlängen auf die untersuchten Implantate; n = 67.

3.4.1 Messstrecken

Neben dieser klinischen Messung wurden mehrere Messstrecken unter Zuhilfenahme von radiologischen und fotografischen Aufnahmen bestimmt. Hierbei wurden sowohl die mesialen als auch distalen Strecken sämtlicher Implantate vermessen. Bei 67 Implantaten ergaben sich somit 134 Streckenwerte.

Abbildung 19 zeigt die Verteilung der Strecken 1 bis 3, die anhand der Röntgenaufnahme vermessen wurden.

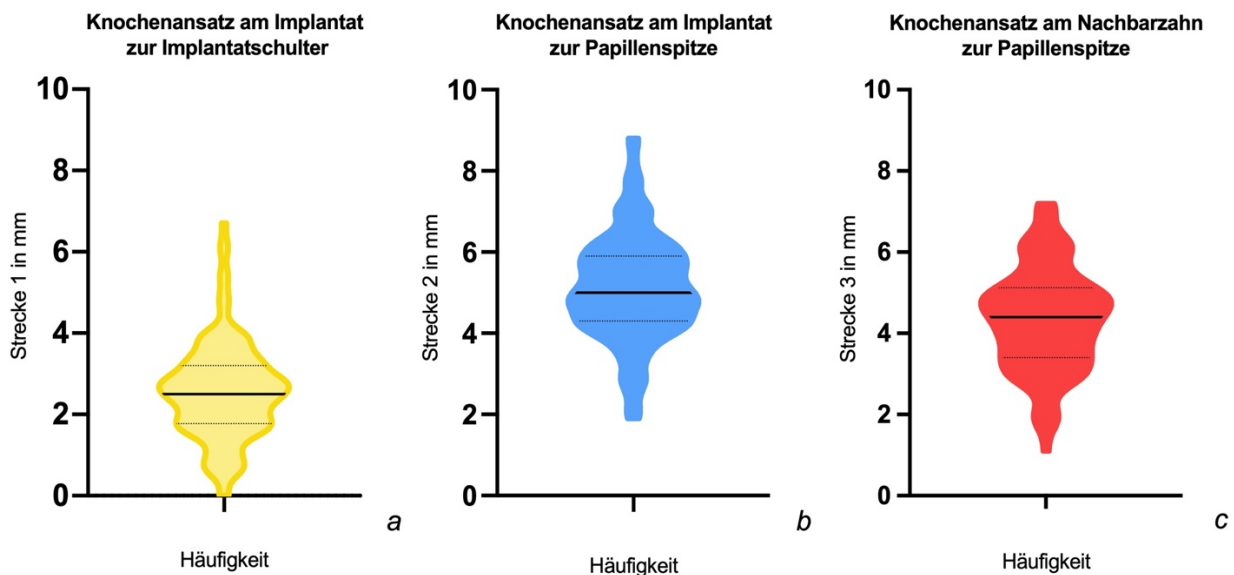


Abbildung 19: Messwertverteilung der Strecken 1, 2 und 3

a) Messwertverteilung der Strecke 1 (Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter) dargestellt; die x-Achse entspricht der absoluten Häufigkeit, die y-Achse der Strecke 1 in mm; $n = 134$.

b) Messwertverteilung der Strecke 2 (Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze) dargestellt; die x-Achse entspricht der absoluten Häufigkeit, die y-Achse der Strecke 2 in mm; $n=134$.

c) Messwertverteilung der Strecke 3 (Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze) dargestellt; die x-Achse entspricht der absoluten Häufigkeit, die y-Achse der Strecke 3 in mm; $n = 134$.

Die Strecke 1, die Distanz vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter, lag im Mittel bei $2,6 \pm 1,2$ mm. Der Medianwert betrug 2,5 mm. Strecke 2, der Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze, lag im Mittel bei $5,1 \pm 1,3$ mm, der Medianwert bei 5,0 mm. Im Mittel kürzer war der Abstand vom Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze (Strecke 3): Mittelwert $4,4 \pm 1,3$ mm. Der Medianwert betrug 4,4 mm.

Wesentliche Unterschiede zwischen Implantat (Strecke 2) und Nachbarzahn (Strecke 3) ließen sich nicht feststellen, jedoch zeigte Strecke 3 tendenziell kürzere Distanzen.

In **Tabelle 6** sind die statistisch-deskriptiven Werte der Strecken 1 bis 3 zusammengefasst.

	Strecke 1 in mm	Strecke 2 in mm	Strecke 3 in mm
Medianwert	2,5	5,0	4,4
Mittelwert	2,6	5,1	4,4
Standardabweichung	1,2	1,3	1,3
Maximalwert	6,7	8,8	7,2
Minimalwert	0	1,9	1,1

Tabelle 6: Deskriptive Statistik zu Strecke 1 bis 3

Aufgelistet sind die Medianwerte, die Mittelwerte mit Standardabweichung, die Maximal- und Minimalwerte der Strecken 1 bis 3. Bei sämtlichen 67 Implantaten wurde mesial und distal gemessen. Somit beruhen die Werte jeweils auf insgesamt 134 Streckenangaben ($n = 134$).

Nach Abschluss der Röntgendiagnostik schloss sich zur Bestimmung weiterer Strecken die Fotodokumentation an. Daraus ergaben sich die Messstrecken 4 (Papillenhöhe) und 5 (Papillendefizit) (siehe **Abbildung 20**).

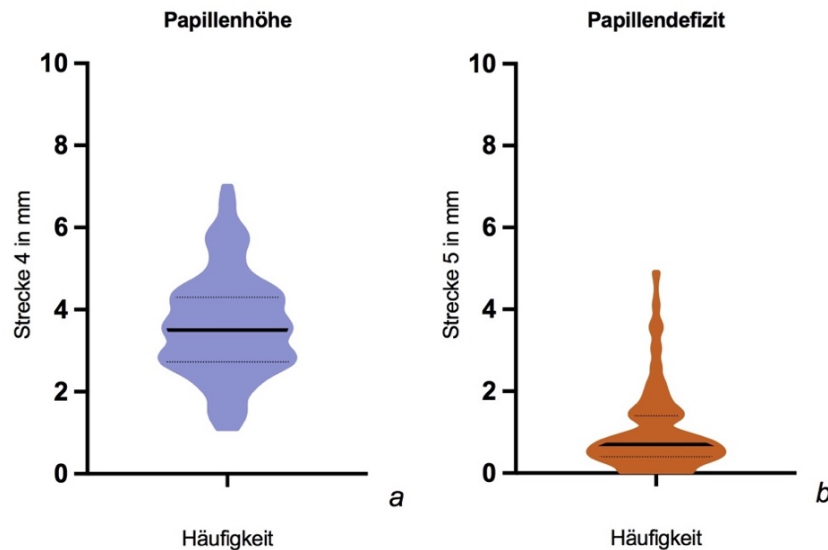


Abbildung 20: Messwertverteilung der Strecken 4 und 5

a) Messwertverteilung Strecke 4 (Papillenhöhe) dargestellt; die x-Achse entspricht der absoluten Häufigkeit, die y-Achse der Strecke 4 in mm; $n = 134$.

b) Messwertverteilung Strecke 5 (Papillendefizit) dargestellt; die x-Achse entspricht der absoluten Häufigkeit, die y-Achse der Strecke 5 in mm; $n = 134$.

Die Papillenhöhe, Strecke 4, hatte einen Medianwert von 3,5 mm. Der Mittelwert lag bei $3,6 \pm 1,2$ mm. Das Papillendefizit, Strecke 5, zeigte einen Medianwert von 0,7 mm und einen Mittelwert von $0,9 \pm 0,9$ mm.

Zu beobachten war demnach ein geringes Papillendefizit. In **Tabelle 7** ist jeweils die deskriptive Statistik zu den Strecken 4 und 5 zusammengefasst.

	Strecke 4 in mm	Strecke 5 in mm
Medianwert	3,5	0,7
Mittelwert	3,6	0,9
Standardabweichung	1,2	0,9
Maximalwert	7,0	4,9
Minimalwert	1,1	0,0

Tabelle 7: Deskriptive Statistik zu Strecke 4 und 5

Aufgelistet sind die Medianwerte, die Mittelwerte mit Standardabweichung, die Maximal- und Minimalwerte der Strecken 4 und 5 bei 134 Streckenwerten ($n = 134$).

Mithilfe der erwähnten Strecken 2, 3 und 5 konnten rechnerisch die Strecken 6 und 7 generiert werden, die die Distanzen vom Knochen am Implantat (Strecke 6) bzw. am Nachbarzahn (Strecke 7) bis zum Approximalkontakt darstellten (siehe **Abbildung 21**) und Schlussfolgerungen auf das optische Ergebnis erlaubten. Zunächst wurde die Strecke 6 (Summe aus Strecke 2 und 5) betrachtet. Der Medianwert lag hier bei 6,1 mm. Der Mittelwert entsprach $6,1 \pm 1,6$ mm. Ähnliches galt für Strecke 7 (Summe aus Strecke 3 und 5) mit einem Medianwert von 5,3 mm und einem Mittelwert von $5,3 \pm 1,7$ mm.

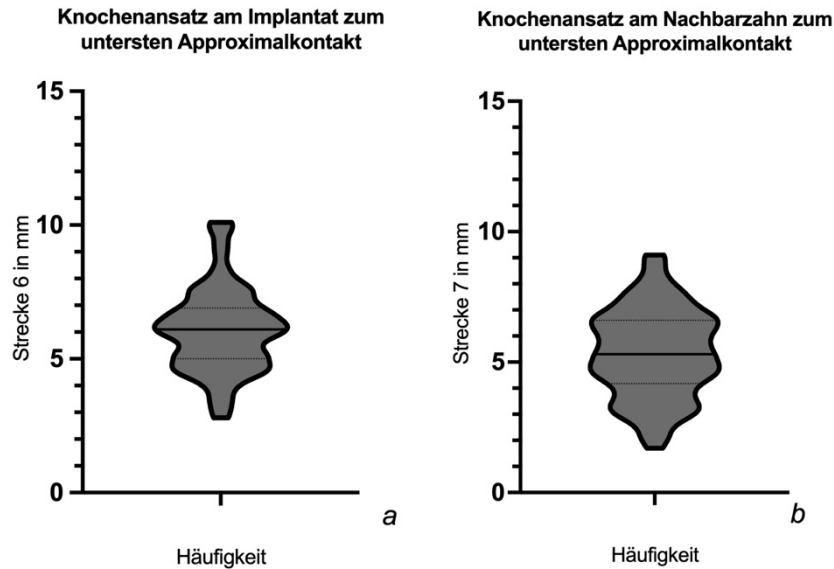


Abbildung 21: Messwertverteilung der Strecken 6 und 7

a) Messwertverteilung der Strecke 6 (Knochenansatz am Implantat bis zum Approximalkontakt) dargestellt; die x-Achse entspricht der absoluten Häufigkeit, die y-Achse der Strecke 6 in mm; $n = 134$.

b) Messwertverteilung Strecke 7 (Knochenansatz am Nachbarzahn bis zum Approximalkontakt) dargestellt; die x-Achse entspricht der absoluten Häufigkeit, die y-Achse der Strecke 7 in mm; $n = 134$.

Die gemessenen Strecken lagen überwiegend zwischen 4 mm bis 8 mm, somit ließ sich auf eine suffiziente Papillenausformung schließen. Die deskriptive Statistik zu den Strecken 6 und 7 ist in **Tabelle 8** zusammengefasst.

	Strecke 6 in mm	Strecke 7 in mm
Medianwert	6,1	5,3
Mittelwert	6,1	5,3
Standardabweichung	1,6	1,7
Maximalwert	10,1	9,1
Minimalwert	2,8	1,7

Tabelle 8: Deskriptive Statistik zu Strecke 6 und 7

Aufgelistet sind die Median- und Mittelwerte, die Standardabweichung, die Maximal- und Minimalwerte der Strecken 6 und 7. Sämtliche 67 Implantate wurden mesial und distal berücksichtigt, somit ergaben sich insgesamt 134 Strecken ($n = 134$).

3.4.2 Ästhetisches Ideal nach Chu et al. [76]

Eben diese Papillenausformung galt es zu betrachten, um das optische Resultat einzuschätzen. Gemäß Chu et al. [76] ist jedoch nicht nur eine große Papillenhöhe ausschlaggebend, vielmehr komme es auf das Verhältnis der Papillenhöhe zur Kronenlänge an [76]. Mithilfe der gewonnenen Werte für die Papillenhöhe (Strecke 4) und die Kronenlänge ließ sich die KPR (= Strecke 4/KL) nach Chu et al. [76] errechnen, um somit das ästhetische Ergebnis zu objektivieren (siehe **Abbildung 22**).

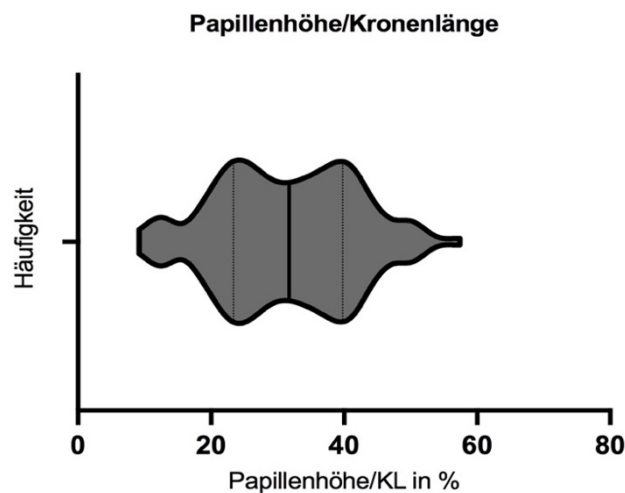


Abbildung 22: KPR sämtlicher Implantate

Die x-Achse stellt die KPR = Papillenhöhe/KL in % dar, die y-Achse die Häufigkeit der Messwerte. Da die Papillenhöhe mesial und distal berücksichtigt wurde, ergaben sich hierfür 134 Messwerte ($n = 134$).

Wie in **Tabelle 9** ersichtlich, lag der Medianwert für die KPR bei 31,8 %, der Mittelwert bei $31,4 \pm 10,2$ %. Der Maximalwert betrug 57,4 %, der Minimalwert 9,2 %. Die Bewertung der gewonnenen KPR-Quotienten, insbesondere im Hinblick auf die optische Relevanz, erfolgt im Diskussionsteil (siehe **4**).

	KPR nach Chu et al. [76] in %
Medianwert	31,8
Mittelwert	31,4
Standardabweichung	10,2
Maximalwert	57,4
Minimalwert	9,2

Tabelle 9: Deskriptive Statistik zur KPR

Aufgelistet sind der Median- und Mittelwert, die Standardabweichung, der Maximal- und Minimalwert der KPR. Sämtliche 134 Messstrecken wurden einbezogen ($n = 134$).

3.5 PES nach Fürhauser et al. [5]

Im Gegensatz zu den oben dargestellten Messverfahren postulieren Fürhauser et al. [5] ein Score-System (PES) für die Bewertung des ästhetischen Results, das sich rein auf die Fotodokumentation stützt. In **Abbildung 23** werden die PES-Bewertungen sämtlicher 67 Implantate veranschaulicht.

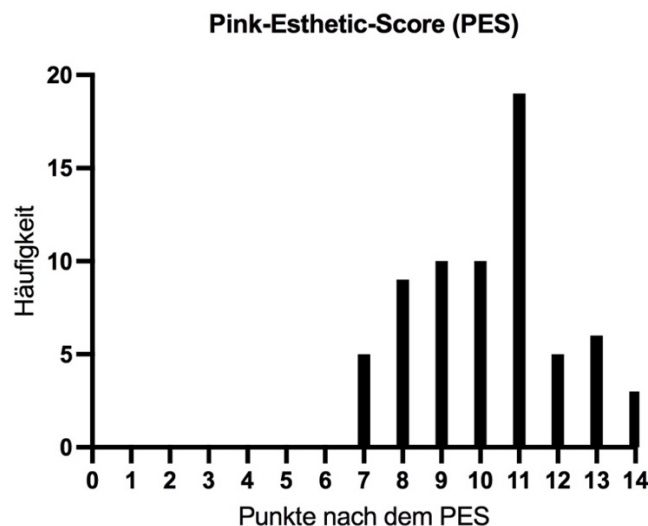


Abbildung 23: PES-Bewertungen

Die Abbildung zeigt die Bewertungen nach dem PES gemäß Fürhauser et al. [5]. Die x-Achse entspricht der Punktebewertung nach dem PES, die y-Achse der absoluten Häufigkeit der Punktebewertung; $n = 67$.

Der Medianwert des PES lag bei 10 Punkten, der Mittelwert bei $10,2 \pm 1,9$ Punkten. Der Maximalwert von 14 Punkten wurde in drei Fällen (4,5 %) erreicht, ein Minimalwert von 7 Punkten ergab sich in fünf Fällen (7,5 %). Am häufigsten wurde eine Punktezahl von 11 erzielt (19 Implantate, 28,4 %).

Wie im PES-System erkennbar, spielt unter anderem die Ausformung der Papille im Langzeitverlauf nach Implantation eine Rolle bezüglich des ästhetischen Outcomes. Bereits die Gruppe um Tarnow et al. [69] warf die Frage auf, inwieweit die Papillenausformung vom Verhalten des Knochens abhängig ist.

- **PES und Strecke 6**

Um dies zu überprüfen, wurde ein hierzu ästhetisch relevanter Teil der PES-Ergebnisse (Parameter 1 und 2: Beurteilung der mesialen und distalen Papille, Bewertung gemäß Fürhauser et al. [5], 0–2 Punkte pro Kriterium) zur Strecke 6 (Knochensatz am Implantat bis zum Approximalkontakt) in Beziehung gesetzt (siehe **Abbildung 24**).

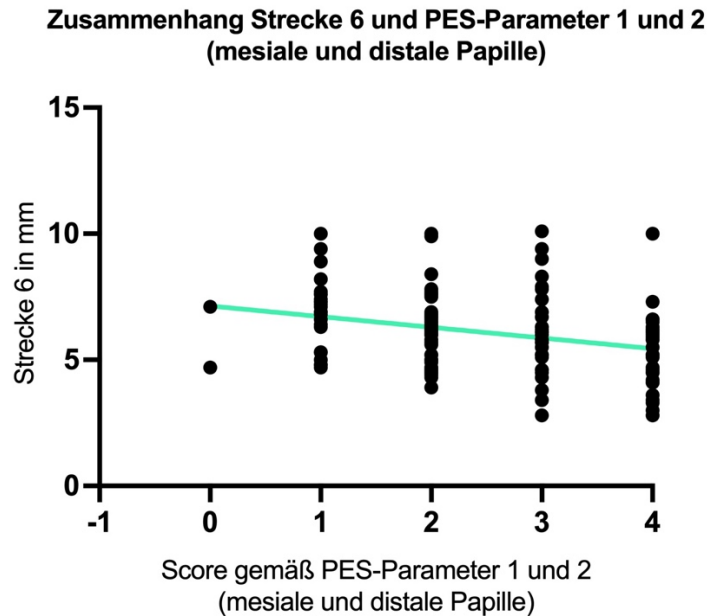


Abbildung 24: PES und Strecke 6

Zwei ästhetische PES-Parameter sind in Bezug zu Strecke 6 dargestellt. Die x-Achse entspricht einem Score von 0 bis 4 gemäß PES-Parameter 1 und 2, die y-Achse der Strecke 6 in mm; $n = 134$. Außerdem ist eine Gerade zur Überprüfung der Korrelation mit $r_s = -0,3$ eingezeichnet.

Es konnten bei bestmöglicher Bewertung der Papillen maximal 4 Punkte erreicht werden. Für die Streckenlänge 6 zeigten sich folgende Medianwerte: Bei 0 Punkten (nur einmal vergeben) 5,9 mm im Median; bei 1 Punkt 7,0 mm, bei 2 Punkten 6,2 mm; bei 3 Punkten 5,8 mm; bei 4 Punkten 5,4 mm im Median. Für die Mittelwerte der Strecke 6 ließen sich folgende Ergebnisse feststellen: Bei 0 Punkten $5,9 \pm 1,2$ mm; bei 1 Punkt $6,9 \pm 1,4$ mm; bei 2 Punkten $6,2 \pm 1,4$ mm; bei 3 Punkten $6,1 \pm 1,7$ mm und bei 4 Punkten $5,3 \pm 1,4$ mm. Bei Betrachtung der PES-Parameter 1 und 2 sowie der Strecke 6 ergab sich ein Korrelationskoeffizient nach Spearman von $r_s = -0,3$. Demnach war ein mäßiger statistischer Zusammenhang mit folgendem Trend anzunehmen: Bei einer kürzeren Strecke 6 fiel die PES-Bewertung besser aus (siehe deskriptive Statistik in **Tabelle 10**).

Score	Medianwert in mm	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Maximalwert	Minimalwert
0	5,9	5,9	1,2	7,1	4,7
1	7,0	6,9	1,4	10,0	4,7
2	6,2	6,2	1,4	10,0	3,9
3	5,8	6,1	1,7	10,1	2,8
4	5,4	5,3	1,4	10,0	2,8

Tabelle 10: Deskriptive Statistik zu den PES-Parametern 1 und 2 und Strecke 6

Aufgelistet sind die Median- und Mittelwerte, die Standardabweichung sowie die Maximal- und Minimalwerte von PES und Strecke 6; $n = 134$.

• PES und Strecke 7

Analog zur eben dargestellten Untersuchung wurde die Papillenoptik mit dem Knochenansatz am Nachbarzahn (Strecke 7) in Beziehung gesetzt. In der nachstehenden Grafik (**Abbildung 25**) wird der Zusammenhang zwischen PES-Ergebnissen (Parameter 1 und 2) und der Strecke 7 (Knochenansatz am Nachbarzahn zum Approximalkontakt) veranschaulicht. Erneut wurden hierzu die mesiale und distale Papille bewertet sowie mit maximal 4 Punkten taxiert.

**Zusammenhang Strecke 7 und PES-Parameter 1 und 2
(mesiale und distale Papille)**

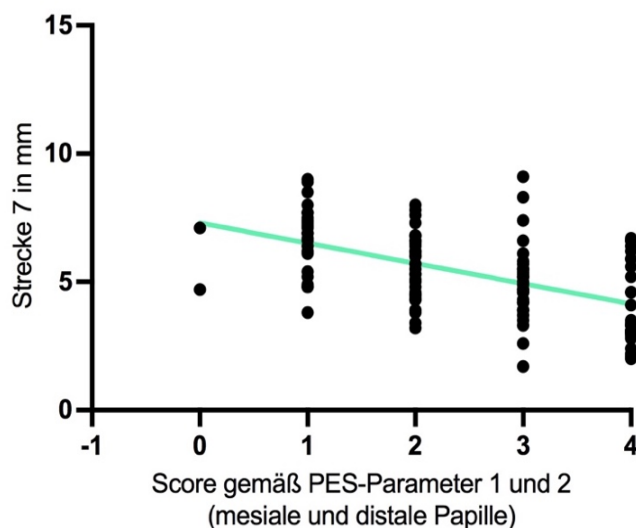


Abbildung 25: PES und Strecke 7

Zwei ästhetische PES-Parameter sind in Betrachtung auf Strecke 7 dargestellt. Die x-Achse entspricht einem Score von 0 bis 4 gemäß PES-Parameter 1 und 2, die y-Achse der Strecke 7 in mm; $n = 134$. Zudem ist eine Korrelationsgerade mit $r_s = -0,5$ in der Abbildung eingezeichnet.

Folgende Medianwerte für die Streckenlänge 7 wurden ermittelt: Bei 0 Punkten (nur einmal vergeben) 5,9 mm im Median; bei 1 Punkt 6,9 mm; bei 2 Punkten 5,7 mm; bei 3 Punkten 4,9 mm; bei 4 Punkten 3,4 mm im Median. Für die Mittelwerte der Strecke 7 ergaben sich nachstehende Resultate: Bei 0 Punkten $5,9 \pm 1,2$ mm; bei 1 Punkt $6,7 \pm 1,3$ mm; bei 2 Punkten $5,7 \pm 1,3$ mm; bei 3 Punkten $5,0 \pm 1,5$ mm und bei 4 Punkten $4,1 \pm 1,5$ mm. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman ließ mit $r_s = -0,5$ einen klaren Zusammenhang zwischen Strecke 7 und der PES-Bewertung vermuten: Bei kurzer Strecke 7 fiel die PES-Bewertung besser aus (siehe deskriptive Statistik in **Tabelle 11**).

Score	Medianwert in mm	Mittelwert in mm	Standard-abweichung	Maximalwert	Minimalwert
0	5,9	5,9	1,2	7,1	4,7
1	6,9	6,7	1,3	9,0	3,8
2	5,7	5,7	1,3	8,0	3,2
3	4,9	5,0	1,5	9,1	1,7
4	3,4	4,1	1,5	6,7	2,0

Tabelle 11: Deskriptive Statistik zu den PES-Parametern 1 und 2 und Strecke 7

Aufgelistet sind die Median- und Mittelwerte, die Standardabweichung sowie die Maximal- und Minimalwerte von PES und Strecke 7; $n = 134$.

Insgesamt zeichnete sich demnach folgende Tendenz ab: Die optische Bewertung der Papille mesial bzw. distal fiel besser aus, wenn die Strecken 6 (Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze) und 7 (Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze) kürzer waren.

3.6 Einfluss der Implantationsbedingungen auf das Langzeitergebnis

Voranstehende Ergebnisse bezogen sich jeweils auf das Gesamtkollektiv der Patienten. Diesbezüglich stellte sich die Frage, ob sich bei Betrachtung verschiedener Untergruppen gegebenenfalls Unterschiede aufzeigen ließen. Somit wird im Folgenden zwischen den beiden Implantationszeitpunkten (Sofort- versus Spätimplantation) sowie der Implantatanzahl (Einzel- versus benachbarte Implantate) differenziert.

3.6.1 Sofort- versus Spätimplantation

Zunächst wurde untersucht, ob sich bei Betrachtung von Sofort- und Spätimplantation Unterschiede aufzeigten (siehe **Abbildung 26**).

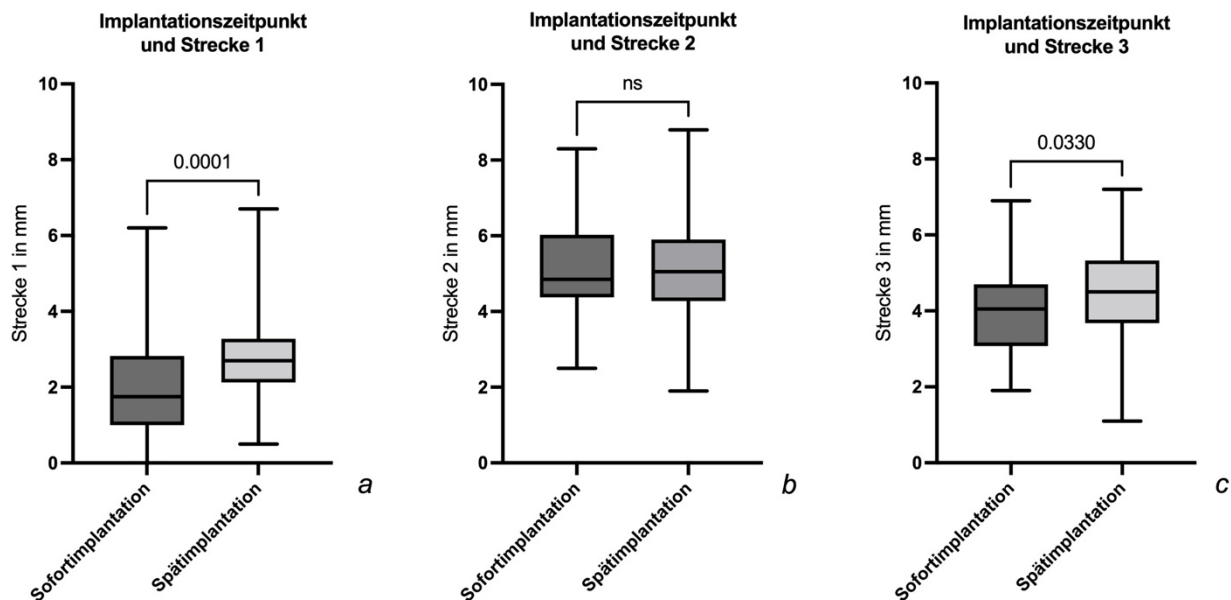


Abbildung 26: Implantationszeitpunkt und Strecken 1 bis 3

a) Dargestellt sind Implantationszeitpunkt und Strecke 1. Die x-Achse entspricht der Messwertverteilung auf Sofort- und Spätimplantate, die y-Achse der Strecke 1 in mm; $n = 134$. Es besteht ein signifikanter Unterschied.

b) Zu sehen sind der Implantationszeitpunkt und Strecke 2. Die x-Achse entspricht der Messwertverteilung auf Sofort- und Spätimplantate, die y-Achse der Strecke 2 in mm; $n = 134$. Es besteht keine Signifikanz.

c) Gezeigt werden der Implantationszeitpunkt und Strecke 3. Die x-Achse entspricht der Messwertverteilung auf Sofort- und Spätimplantate, die y-Achse der Strecke 3 in mm; $n = 134$. Es besteht ein signifikanter Unterschied.

Die röntgenologisch vermessene Strecke 1 (Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter) erwies sich nach Sofortimplantation als signifikant geringer. Nicht-signifikant (ns) different war die Strecke 2 (Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze). Die Strecke 3 (Abstand vom Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze) war nach Sofortimplantation signifikant kürzer.

Der Medianwert für Strecke 1 bei Sofortimplantation lag bei 1,8 mm, der Mittelwert bei $2,0 \pm 1,3$ mm. Bei Spätimplantation betrug der Medianwert 2,7 mm, der Mittelwert $2,8 \pm 1,1$ mm. Bei der Sofortimplantation zeigte sich mit einer Signifikanz von $p = 0,0001$ (Mann-Whitney-U-Test) eine kürzere Strecke 1 als bei der Spätimplantation. Für die Strecke 2 ergab sich ein Medianwert von 4,9 mm für die Sofortimplantation

und von 5,1 mm für die Spätimplantation. Der Mittelwert bei Sofortimplantation lag bei $5,1 \pm 1,3$ mm, bei der Spätimplantation bei $5,1 \pm 1,3$ mm. Ein signifikanter Unterschied lag nicht vor ($p = 0,9510$, Student's-T-Test, ungepaart). Mit geringer Signifikanz ($p = 0,0330$, Student's-T-Test, ungepaart) konnte eine kürzere Strecke 3 bei den sofort inserierten Implantaten verzeichnet werden. Der Medianwert für Strecke 3 lag bei Sofortimplantation bei 4,1 mm, der Mittelwert bei $4,0 \pm 1,1$ mm. Bei Spätimplantation betrug der Medianwert 4,5 mm bzw. der Mittelwert $4,5 \pm 1,3$ mm.

Die deskriptive Statistik zu den Strecken 1 bis 3 ist in **Tabelle 12** für den jeweiligen Implantationszeitpunkt (Sofort- und Spätimplantation) dargestellt.

	Strecke 1		Strecke 2		Strecke 3	
	Sofort-I.	Spät-I.	Sofort-I.	Spät-I.	Sofort-I.	Spät-I.
Medianwert	1,8	2,7	4,9	5,1	4,1	4,5
Mittelwert	2,0	2,8	5,1	5,1	4,0	4,5
Standardabweichung	1,3	1,1	1,3	1,3	1,1	1,3
Maximalwert	6,2	6,7	8,3	8,8	6,9	7,2
Minimalwert	0,0	0,5	2,5	1,9	1,9	1,1

Tabelle 12: Deskriptive Statistik der Strecken 1 bis 3 bei Sofort- und Spätimplantation

Aufgelistet sind die Medianwerte, die Mittelwerte mit Standardabweichung sowie die Maximal- und Minimalwerte der Strecke 1 bis 3 bei Sofort- und Spätimplantation; $n = 134$ (Sofort-I. = Sofort-Implantation, Spät-I. = Spät-Implantation).

In **Abbildung 27** werden die Strecken 4 (Papillenhöhe) und 5 (Papillendefizit) in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Implantation wiedergegeben (Sofort- versus Spätimplantation).

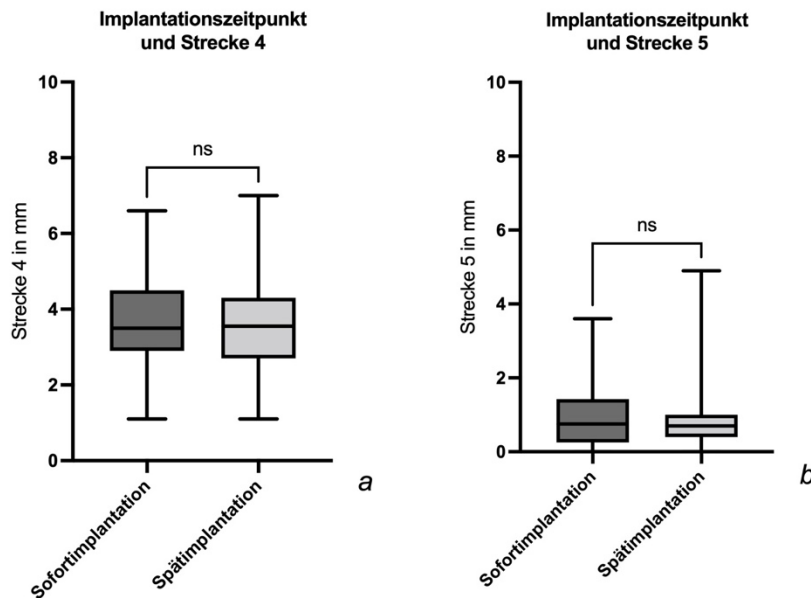


Abbildung 27: Implantationszeitpunkt und Strecken 4 und 5

a) Zu sehen sind der Implantationszeitpunkt und Strecke 4. Die x-Achse stellt die Messwertverteilung auf Sofort- und Spätimplantate dar, die y-Achse die Strecke 4 in mm; $n = 134$. Es besteht keine Signifikanz.

b) Dargestellt sind der Implantationszeitpunkt und Strecke 5. Die x-Achse entspricht der Messwertverteilung auf Sofort- und Spätimplantate, die y-Achse der Strecke 5 in mm; $n = 134$. Es besteht keine Signifikanz.

Hinsichtlich der Papillenhöhe (Strecke 4) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bei Sofort- oder Spätimplantation ($p = 0,7393$, Student's-T-Test, ungepaart). Strecke 4 belief sich nach Sofortimplantation auf einen Medianwert von 3,5 mm, bei einem Mittelwert von $3,7 \pm 1,2$ mm. Nach Spätimplantation lagen ein Medianwert von 3,6 mm und ein Mittelwert von $3,6 \pm 1,2$ mm vor. Die Werte für das Papillendefizit (Strecke 5) waren nicht-signifikant different ($p = 0,9566$, Mann-Whitney-U-Test). Der Medianwert für Strecke 5 betrug bei 0,8 mm (Sofortimplantation) bzw. 0,7 mm (Spätimplantation), der Mittelwert $1,0 \pm 0,9$ mm bzw. $0,9 \pm 0,9$ mm.

In **Tabelle 13** ist die deskriptive Statistik zu den Strecken 4 und 5 für den jeweiligen Implantationszeitpunkt (Sofort- und Spätimplantation) dargelegt.

	Strecke 4		Strecke 5	
	Sofort-l.	Spät-l.	Sofort-l.	Spät-l.
Medianwert	3,5	3,6	0,8	0,7
Mittelwert	3,7	3,6	1,0	0,9
Standardabweichung	1,2	1,2	0,9	0,9
Maximalwert	6,6	7,0	3,6	4,9
Minimalwert	1,1	1,1	0,0	0,0

Tabelle 13: Deskriptive Statistik der Strecken 4 und 5 bei Sofort- und Spätimplantation

Aufgelistet sind die Medianwerte, die Mittelwerte mit Standardabweichung sowie die Maximal- und Minimalwerte der Strecken 4 und 5 nach Sofort- bzw. Spätimplantation; n = 134.

Bei der Betrachtung der Strecken 6 (Summe aus Strecke 2 und 5, Abstand vom Knochenansatz am Implantat zum Approximalkontakt) und 7 (Summe aus Strecke 3 und 5, Abstand vom Knochenansatz am Nachbarzahn zum Approximalkontakt) ergaben sich bezüglich des Implantationszeitpunktes keine signifikanten Unterschiede (Strecke 6: $p = 0,9987$, Student's-T-Test, ungepaart; Strecke 7: $p = 0,1151$, Mann-Whitney-U-Test). Der Medianwert der Strecke 6 lag nach Sofortimplantation bei 6,1 mm, nach Spätimplantation bei 6,0 mm. Der Mittelwert betrug $6,1 \pm 1,8$ mm (Sofortimplantation) bzw. $6,1 \pm 1,5$ mm (Spätimplantation). Strecke 7 belief sich auf folgende Werte: Nach Sofortimplantation betrug der Medianwert 5,2 mm und der Mittelwert $5,0 \pm 1,7$ mm. Nach Spätimplantation lag der Medianwert bei 5,5 mm und der Mittelwert bei $5,5 \pm 1,6$ mm. Da sich somit für die betrachteten Strecken 1 bis 7 wenige signifikante Unterschiede je nach Implantationszeitpunkt nachweisen ließen, stellte sich die Frage, ob gegebenenfalls ein differenter ästhetischer Outcome zu ermitteln war. Somit wurden diesbezüglich die KPR und der PES untersucht (siehe **Abbildung 28**).

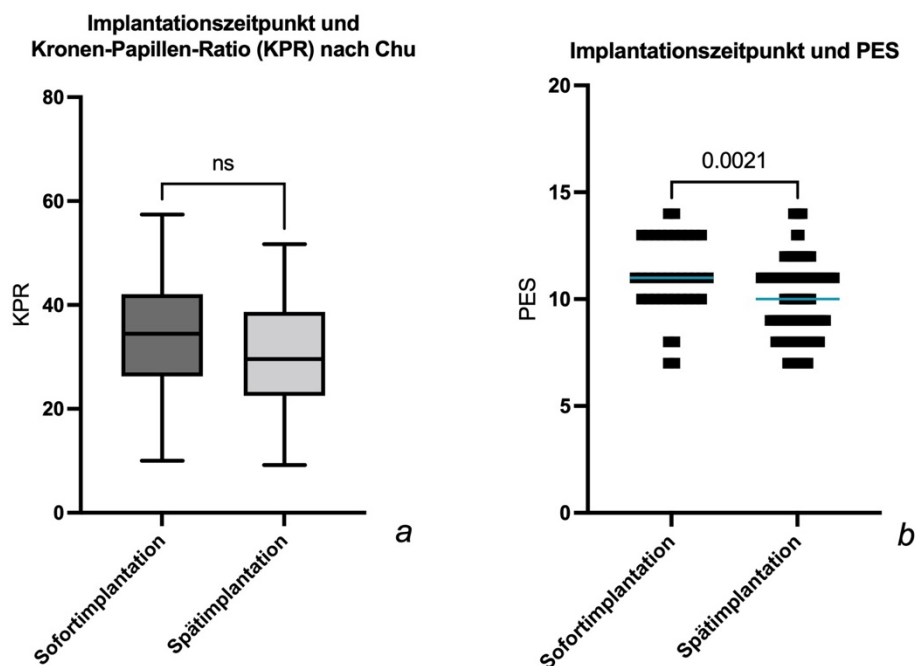


Abbildung 28: Implantationszeitpunkt und ästhetische Parameter KPR und PES

a) Dargestellt sind der Implantationszeitpunkt und die KPR. Die x-Achse entspricht der Messwertverteilung auf Sofort- und Spätimplantation, die y-Achse der KPR in %; $n = 134$. Es liegt kein signifikanter Unterschied vor.

b) Hier sind der Implantationszeitpunkt und der PES dargestellt. Die x-Achse zeigt die Messwertverteilung auf Sofort- und Spätimplantation, die y-Achse die PES-Punkte; $n = 134$. Es liegt ein signifikanter Unterschied vor.

Die KPR zeigte keinen signifikanten Unterschied je nach Implantationszeitpunkt ($p = 0,669$, Student's-T-Test, ungepaart). Der Medianwert bei Sofortimplantation entsprach hier 34,5 %, der Mittelwert $34,0 \pm 10,5$ %, der Maximalwert 57,4 % und der Minimalwert 10,0 %. Bei Spätimplantation war der Medianwert mit 29,6 % bzw. der Mittelwert mit $30,4 \pm 9,9$ % kleiner als bei Sofortimplantation. Der Maximal- bzw. Minimalwert lag bei Spätimplantation bei 51,7 % bzw. 9,2 %. Hingegen erwies sich bei Betrachtung des PES die Sofortimplantation als signifikant besser ($p = 0,0021$, Mann-Whitney-U-Test). Bei dieser betrug der Medianwert 11,0 Punkte, der Mittelwert $11,1 \pm 1,8$ Punkte, der Maximalwert 14,0 und der Minimalwert 7,0 Punkte. Der Score bei Spätimplantation lag im Median bei 10,0; im Mittel bei $9,9 \pm 1,8$; im Maximalwert bei 14,0 und im Minimalwert bei 7,0 Punkten.

In **Tabelle 14** ist die deskriptive Statistik zur KPR bzw. zum PES für den jeweiligen Implantationszeitpunkt (Sofort- versus Spätimplantation) zusammengefasst.

	KPR nach Chu et al. [76]		PES nach Fürhauser et al. [5]	
	Sofort-l.	Spät-l.	Sofort-l.	Spät-l.
Medianwert	34,5	29,6	11,0	10,0
Mittelwert	34,0	30,4	11,1	9,9
Standardabweichung	10,5	9,9	1,8	1,8
Maximalwert	57,4	51,7	14,0	14,0
Minimalwert	10,0	9,2	7,0	7,0

Tabelle 14: Deskriptive Statistik der KPR und des PES bei Sofort- und Spätimplantation

Aufgelistet sind die Medianwerte, die Mittelwerte mit Standardabweichung, die Maximal- und Minimalwerte der KPR und des PES nach Sofort- bzw. Spätimplantation; n = 134.

3.6.2 Einzel- versus benachbarte Implantate

Als weiteres Differenzierungskriterium neben dem Implantationszeitpunkt wurde die Implantatanzahl betrachtet. Um eventuelle Unterschiede zwischen Einzelimplantaten bzw. zwei oder mehr benachbarten Implantaten aufzuzeigen, wurden sämtliche Strecken jeweils für beiden Gruppen untersucht (siehe **Abbildungen 29a bis c**).

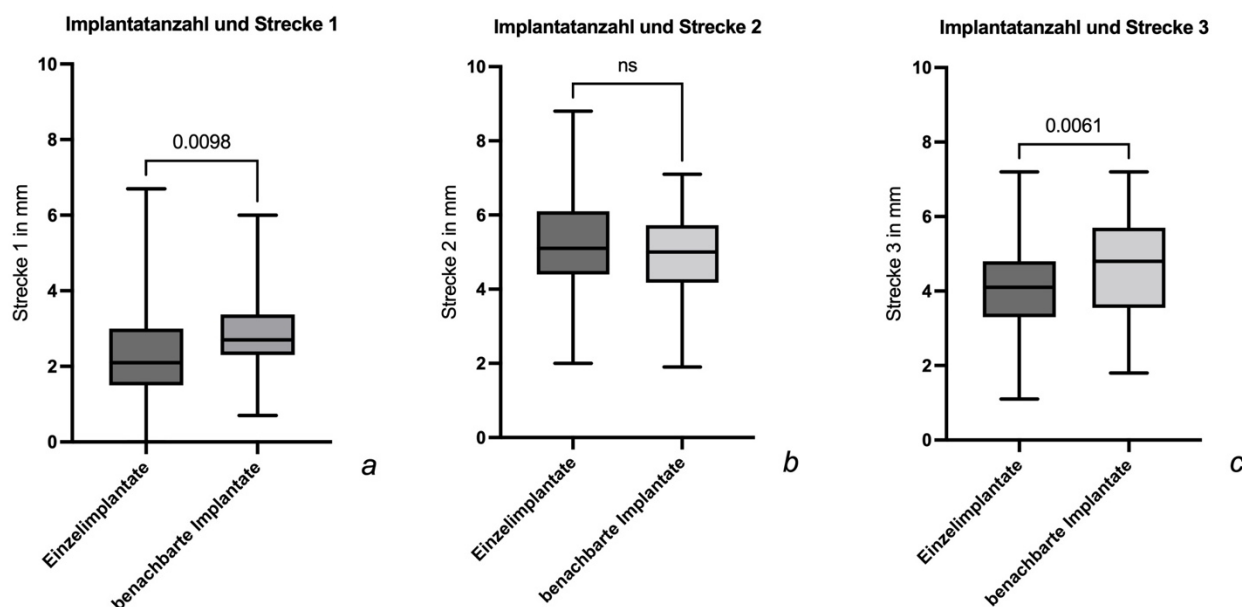


Abbildung 29: Implantatanzahl und Strecken 1 bis 3

a) Abgebildet sind Einzel- vs. benachbarte Implantate und Strecke 1. Die x-Achse stellt die Messwertverteilung auf Einzel- und benachbarte Implantate dar, die y-Achse die Strecke 1 in mm; $n = 134$. Es besteht ein signifikanter Unterschied.

b) Abgebildet sind Einzel- vs. benachbarte Implantate und Strecke 2. Die x-Achse stellt die Messwertverteilung auf Einzel- und benachbarte Implantate dar, die y-Achse die Strecke 2 in mm; $n = 134$. Es besteht kein signifikanter Unterschied.

c) Abgebildet sind Einzel- vs. benachbarte Implantate und Strecke 3. Die x-Achse stellt die Messwertverteilung auf Einzel- und benachbarte Implantate dar, die y-Achse die Strecke 3 in mm; $n = 134$. Es besteht ein signifikanter Unterschied.

Die durchschnittliche Länge der Strecke 1 (Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter) war bei Einzelimplantaten mit Signifikanz ($p = 0,0098$, Student's-T-Test, ungepaart) kürzer als bei benachbarten Implantaten. Für Einzelimplantate ergaben sich ein Medianwert von 2,1 mm und ein Mittelwert von $2,3 \pm 1,3$ mm. Für benachbarte Implantate zeigte sich ein Medianwert von 2,7 mm bzw. ein Mittelwert von $2,8 \pm 1,0$ mm. Die jeweiligen Längen der Strecke 2 (Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze) erbrachten keine Signifikanz bei Betrachtung von Einzel- versus benachbarten Implantaten ($p = 0,0554$, Student's-T-Test, ungepaart). Der Medianwert für Einzelimplantate lag hier bei 5,1 mm bzw. der Mittelwert bei $5,3 \pm 1,4$ mm. Bei benachbarten Implantaten betrug der Medianwert 5,0 mm, der Mittelwert $4,9 \pm 1,2$ mm. Strecke 3 (Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze) war bei Einzelimplantaten signifikant ($p = 0,0061$, Student's-T-Test, ungepaart) kürzer als bei benachbarten Implantaten. Für Einzelimplantate konnte ein Medianwert von 4,1 mm bzw. ein Mittelwert

von $4,1 \pm 1,2$ mm verzeichnet werden. Bei benachbarten Implantaten entsprach der Medianwert 4,8 mm und der Mittelwert $4,7 \pm 1,3$ mm.

In **Tabelle 15** ist die deskriptive Statistik zu den Strecken 1 bis 3 für Einzel- und benachbarte Implantate dargestellt.

	Strecke 1		Strecke 2		Strecke 3	
	einzel	benachbart	einzel	benachbart	einzel	benachbart
Medianwert	2,1	2,7	5,1	5,0	4,1	4,8
Mittelwert	2,3	2,8	5,3	4,9	4,1	4,7
Standardabweichung	1,3	1,0	1,4	1,2	1,2	1,3
Maximalwert	6,7	6,0	8,8	7,1	7,2	7,2
Minimalwert	0,0	0,7	2,0	1,9	1,1	1,8

Tabelle 15: Deskriptive Statistik der Strecken 1 bis 3 bei Einzel- bzw. benachbarten Implantaten

Aufgelistet sind die Medianwerte, die Mittelwerte mit Standardabweichung, die Maximal- und Minimalwerte der Strecken 1 bis 3 bei Einzel- vs. benachbarten Implantaten; n = 134.

Aus der Betrachtung der Strecken 4 (Papillenhöhe) und 5 (Papillendefizit) resultierten folgende Ergebnisse (siehe **Abbildung 30**):

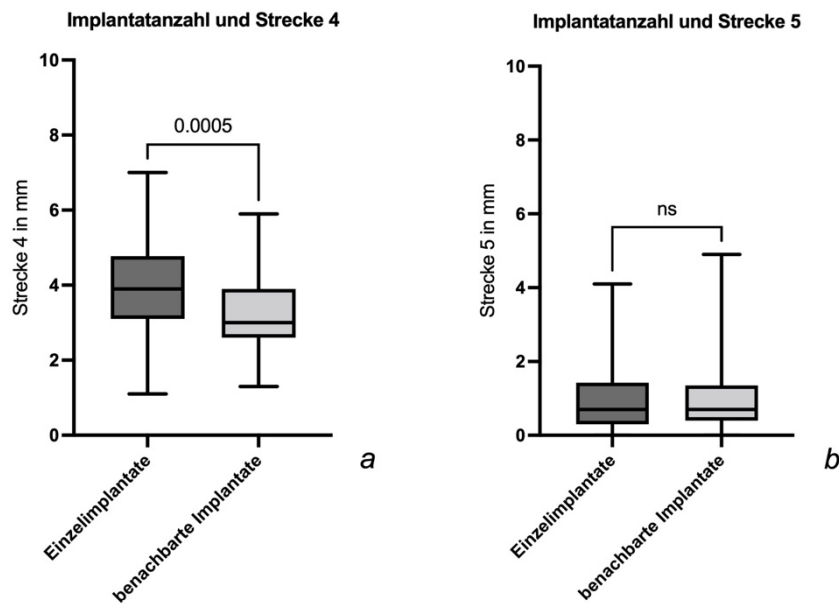


Abbildung 30: Implantatanzahl und Strecken 4 und 5

a) Dargestellt sind Einzel- vs. benachbarte Implantate und Strecke 4. Die x-Achse entspricht der Messwertverteilung auf Einzel- und benachbarte Implantate, die y-Achse der Strecke 4 in mm; $n = 134$. Es besteht ein signifikanter Unterschied.

b) Dargestellt sind Einzel- vs. benachbarte Implantate und Strecke 5. Die x-Achse entspricht der Messwertverteilung auf Einzel- und benachbarte Implantate, die y-Achse der Strecke 5 in mm; $n = 134$. Es liegt kein signifikanter Unterschied vor.

Die Papillenhöhe war mit einer Signifikanz von $p = 0,0005$ größer bei Einzelimplantaten als bei benachbarten Implantaten (Student's-T-Test, ungepaart). Das Papillendefizit zeigte keine statistisch signifikante Differenz zwischen Einzel- und benachbarten Implantaten ($p = 0,9807$, Mann-Whitney-U-Test).

Der Medianwert bei Einzelimplantaten betrug für die Papillenhöhe 3,9 mm, der Mittelwert $4,0 \pm 1,3$ mm. Bei benachbarten Implantaten lag der Medianwert bei 3,0 mm, der Mittelwert bei $3,2 \pm 1,0$ mm. Bei Strecke 5 konnte ein Medianwert von 0,7 mm für Einzelimplantate bzw. ein Mittelwert von $1,0 \pm 1,0$ mm verzeichnet werden. Für benachbarte Implantate lag der Medianwert bei 0,7 mm und der Mittelwert bei $0,9 \pm 0,8$ mm.

In **Tabelle 16** wird die deskriptive Statistik der Strecken 4 und 5 jeweils bei Einzel- und benachbarten Implantaten gezeigt.

	Strecke 4		Strecke 5	
	einzel	benachbart	einzel	benachbart
Medianwert	3,9	3,0	0,7	0,7
Mittelwert	4,0	3,2	1,0	0,9
Standardabweichung	1,3	1,0	1,0	0,8
Maximalwert	7,0	5,9	4,1	4,9
Minimalwert	1,1	1,3	0,0	0,0

Tabelle 16: Deskriptive Statistik der Strecken 4 und 5 bei Einzel- bzw. benachbarten Implantaten
Aufgelistet sind die Medianwerte, die Mittelwerte mit Standardabweichung sowie die Maximal- und Minimalwerte der Strecken 4 und 5 bei Einzelimplantaten vs. benachbarte Implantaten; n = 134.

Strecke 6 (Knochenansatz am Implantat zum Approximalkontakt) zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen Einzel- und benachbarten Implantaten ($p = 0,0818$, Student's-T-Test, ungepaart). Der Medianwert bei Einzelimplantaten lag bei 6,2 mm, der Mittelwert bei $6,3 \pm 1,6$ mm. Bei benachbarten Implantaten betrug der Medianwert 6,0 mm, der Mittelwert $5,8 \pm 1,4$ mm. Mit Signifikanz ($p = 0,0301$, Student's-T-Test, ungepaart) resultierte eine kürzere Strecke 7 (Knochenansatz am Nachbarzahn zum Approximalkontakt) bei Einzelimplantaten. Der Medianwert für diese betrug 5,0 mm bzw. der Mittelwert $5,0 \pm 1,7$ mm. Bei benachbarten Implantaten lag der Medianwert bei einer Länge von 6,0 mm, der Mittelwert bei $5,7 \pm 1,6$ mm.

Für beide optische Testverfahren, die KPR-Bestimmung und die PES-Bewertung, zeigte sich ein hoch-signifikant (jeweils $p < 0,0001$; Student's-T-Test, ungepaart, bei KPR; Mann-Whitney-U-Test bei PES) besseres Ergebnis nach Einzelimplantatinser-tion (siehe **Abbildung 31**).

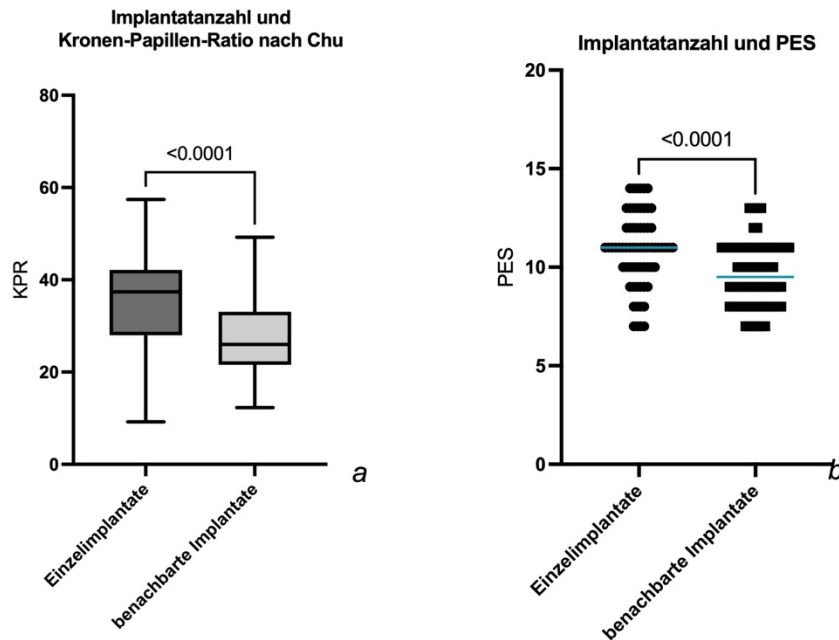


Abbildung 31: Implantatanzahl und ästhetische Parameter KPR und PES

a) Zu sehen sind Einzel- vs. benachbarte Implantate und die KPR. Die x-Achse zeigt die Messwertverteilung auf Einzel- und benachbarte Implantate, die y-Achse die KPR in %; $n = 134$. Es besteht eine hoch-signifikante Differenz.

b) Dargestellt sind Einzel- vs. benachbarte Implantate und PES. Die x-Achse zeigt die Messwertverteilung auf Einzel- und benachbarte Implantate, die y-Achse die PES-Punkte; $n = 134$. Auch hier liegt eine hoch-signifikante Differenz vor.

Für die KPR gemäß Chu et al. [76] wurde bei Einzelimplantaten ein Medianwert von 37,4 % gemessen, ein Mittelwert von $35,5 \pm 10,4$ %, ein Maximalwert von 57,4 % und ein Minimalwert von 9,2 %. Bei benachbarten Implantaten konnte ein KPR im Median von 26,0 % und im Mittel von $27,3 \pm 8,1$ % verzeichnet werden. Maximal bzw. minimal betrug die KPR 49,2 % bzw. 12,3 %. Beim PES lag der mediane Score für Einzelimplantate bei 11,0 Punkten, im Mittel bei $10,9 \pm 1,9$ Punkten. Maximal wurden 14,0 Punkte, minimal 7,0 Punkte vergeben. Bei benachbarten Implantaten war die Bewertung nach dem PES schlechter, im Median bei 9,5, im Mittel bei $9,6 \pm 1,6$ bzw. maximal bei 13,0 und minimal bei 7,0 Punkten.

In **Tabelle 17** wird die deskriptive Statistik der KPR bzw. des PES sowohl für Einzel- als auch benachbarte Implantate zusammengefasst.

	KPR nach Chu et al. [76]		PES nach Fürhauser et al. [5]	
	einzel	benachbart	einzel	benachbart
Medianwert	37,4	26,0	11,0	9,5
Mittelwert	35,5	27,3	10,9	9,6
Standardabweichung	10,4	8,1	1,9	1,6
Maximalwert	57,4	49,2	14,0	13,0
Minimalwert	9,2	12,3	7,0	7,0

Tabelle 17: Deskriptive Statistik der KPR und des PES bei Einzel- bzw. benachbarten Implantaten
Aufgelistet sind die Medianwerte, die Mittelwerte mit Standardabweichung sowie die Maximal- und Minimalwerte der KPR und des PES bei Einzel- vs. benachbarten Implantate; $n = 134$.

Zusammenfassend stellte sich heraus, dass sich nach Einzelimplantatinsertion ein hoch-signifikant besseres ästhetisches Resultat ergab.

3.7 Quotient Kronenlänge KL zu Implantatlänge IL

Wurde nun wieder das Gesamtkollektiv der Patienten betrachtet, stellte sich die Frage, ob ein gutes optisches Ergebnis auch aus der relativ einfachen Bestimmung des Quotienten aus Kronenlänge KL und Implantatlänge IL ableitbar ist. Diesbezüglich stellte sich folgende Verteilung an Quotienten KL/IL heraus (siehe **Abbildung 32**).

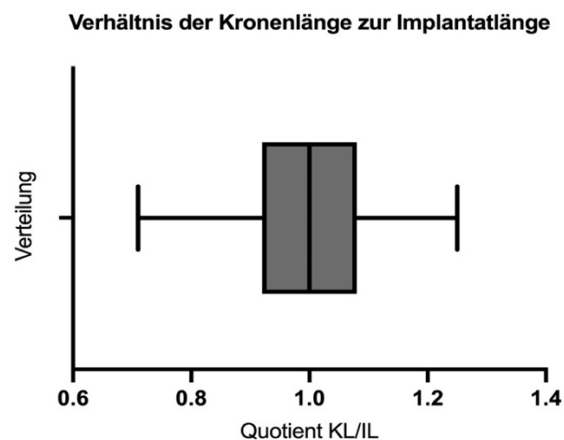


Abbildung 32: Quotient Kronenlänge zu Implantatlänge

Dargestellt ist das Verhältnis des Quotienten KL/IL sämtlicher 67 Implantate. Die x-Achse entspricht dem Quotienten KL/IL, die y-Achse der Messwertverteilung der jeweiligen Quotienten auf die Implantate, $n = 67$.

Der Medianwert des Quotienten KL/IL betrug 1,0, der Mittelwert $1,0 \pm 0,1$. Der maximale Quotient belief sich auf 1,3, der minimale auf 0,7 (siehe **Tabelle 18**).

	KL/IL
Medianwert	1,0
Mittelwert	1,0
Standardabweichung	0,1
Maximalwert	1,3
Minimalwert	0,7

Tabelle 18: Deskriptive Statistik zum Quotienten KL/IL

Aufgelistet sind der Median- und Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Maximal- und Minimalwert des Quotienten KL/IL. Alle 67 Implantate wurden betrachtet ($n = 67$).

- **Bezug zum Papillendefizit**

Wie oben (in 1.3) ausgeführt, ist ein hohes Papillendefizit (Strecke 5) im Sinne eines Black-Triangle-Phänomens als optisch ungünstig zu bewerten. Somit stellte sich die Frage, welche Beziehung zwischen dem Ausmaß des Papillendefizits und dem Quotienten KL/IL besteht. In **Abbildung 33** werden diese Zusammenhänge dargestellt:

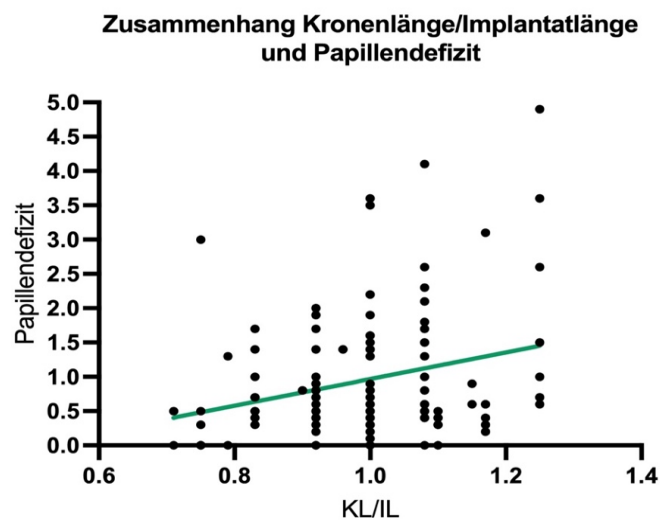


Abbildung 33: Quotient KL/IL und Papillendefizit

Dargestellt ist der Zusammenhang des Quotienten KL/IL mit dem Papillendefizit. Die x-Achse entspricht dem Quotienten KL/IL sämtlicher 67 Implantate, die y-Achse dem Papillendefizit in mm; $n = 67$. Die Regressionsgerade mit $r_s = 0,2$ ist eingezeichnet.

Das Papillendefizit stieg mit höherem Quotienten KL/IL an. Hierbei resultierte ein Korrelationskoeffizient nach Spearman's-Rho von $r_s = 0,2$. Dieser repräsentierte einen schwachen Zusammenhang zwischen beiden Parametern.

- **Bezug zum PES**

Analog wurde der Zusammenhang zwischen dem PES nach Fürhauser et al. [5] und dem Quotienten von KL/IL geprüft.

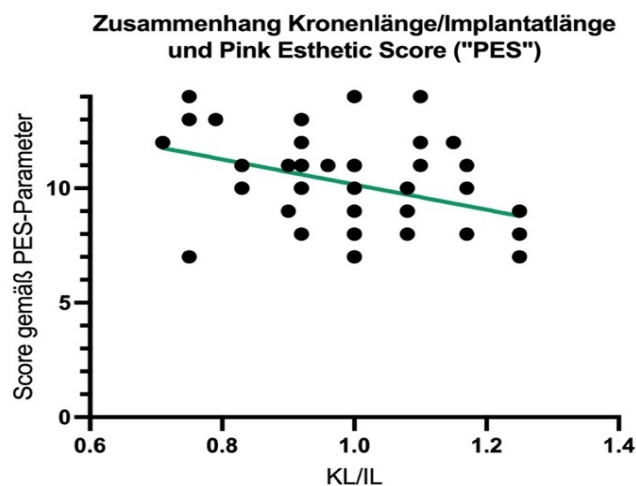


Abbildung 34: Quotient KL/IL und PES

Zu sehen ist der Zusammenhang des Quotienten KL/IL und des PES. Die x-Achse stellt den Quotienten KL/IL sämtlicher 67 Implantate dar, die y-Achse die PES-Bewertung; $n = 67$. Die Regressionsgerade mit $r_s = -0,4$ ist eingezeichnet.

Wie in **Abbildung 34** erkennbar, sinkt die Punktezahl nach dem PES mit steigendem Quotienten von KL/IL. Der Korrelationskoeffizient nach Spearman's Rho liegt hier bei $r = -0,4$. Somit besteht ein mäßiger Zusammenhang zwischen einer schlechten PES-Bewertung und einem hohen Quotientenwert KL/IL.

Insgesamt korrelierte das Vorliegen einer langen Krone bzw. eines kurzen Implantats (und somit hohen Quotienten) eher mit einer Verschlechterung der optischen Ergebnisse (hohem Papillendefizit, niedrigem PES).

4 Diskussion

Derzeit liegen nur wenige Langzeitstudien zu Zirkoniumdioxidimplantaten vor, da sich diese erst vor einigen Jahren etabliert haben. Deshalb ist es von Bedeutung, erste Langzeitdaten zu erhalten. Die vorliegende Studie gab Aufschlüsse über das Resultat einteiliger Implantate nach einem Follow-up von acht Jahren.

Zum kurzfristigen Verlauf von Zirkoniumdioxidimplantaten liegen bereits Ein-Jahres-Studien vor, die allesamt vielversprechende Überlebensraten (ca. 92–100 %) und Erfolgsraten (ca. 100 %) dokumentieren konnten [1, 2]. Die mittelfristigen Ergebnisse (zwei bis fünf Jahre nach Implantation) wurden ebenfalls mehrfach untersucht [39, 74, 77, 78].

Die in der retrospektiven Drei-Jahres-Studie von Kniha et al. [74] vorgestellte Überlebensrate von 100 % wurde in der vorliegenden Langzeitstudie bestätigt; die dortige Erfolgsrate belief sich auf 95,4 %, hier auf 89,6 % [74]. Das Studiendesign bei Kniha et al. [74] war analog, bei jedoch höheren Patientenzahlen (81 Patienten mit 105 Implantaten) [74]. In hiesiger Acht-Jahres-Erhebung ergaben sich keine Hinweise auf einen relevanten Knochenverlust im Vergleich zur Drei-Jahres-Erhebung. Gemäß des Albrektsson-Kriteriums („ $\leq 0,2$ mm Knochenverlust pro Jahr“ [6]) wäre sogar ein Knochenverlust von bis zu 1,0 Millimetern tolerabel gewesen. Der Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Implantatschulter (Strecke 1) lag in der Drei-Jahres-Studie bei durchschnittlich 2,38 mm, in der Acht-Jahres-Studie bei durchschnittlich 2,60 mm [74]. Die Ergebnisse (Strecke 1) deuten somit auf einen allenfalls leichten Knochenverlust im Fünf-Jahres-Beobachtungszeitraum hin. Zusätzlich lassen sich die Strecken 2 (Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze), 3 (Abstand vom Knochenansatz am Nachbarzahn zur Papillenspitze) und 5 (Papillendefizit) in beiden Studien vergleichen. Die Durchschnittswerte für die Strecken 2 und 3 hatten dabei jeweils abgenommen (6,49 mm vs. 5,1 mm bzw. 5,08 mm vs. 4,4 mm); dies könnte auf eine Papillenrezession hindeuten [74]. Eine erhebliche Zunahme des Papillendefizits (Strecke 5) war hier jedoch nicht zu beobachten (nach drei Jahren: 0,69 mm; nach acht Jahren: 0,9 mm) [74].

In einer prospektiven Studie, allerdings nur zwei Jahre nach Implantation, fanden Payer et al. [78] eine Erfolgs- und Überlebensrate für Monotype-Zirkoniumdioxidimplantate von 95 % [78].

Bormann et al. [77] beschrieben 2018 in einer weiteren prospektiven Erhebung ähnliche Ergebnisse für Monotype-Zirkoniumdioxidimplantate (97,5 % Überlebens- bzw. Erfolgsrate nach 3 Jahren) [77].

In einer 2020 erschienenen prospektiven Studie von Kohal et al. [39] konnte über eine Fünf-Jahres-Erfolgsrate von 91,7 % bei einer Überlebensrate von 94,3 % berichtet werden; untersucht wurden ein- oder mehrteilige Implantate aus aluminiumverstärktem Zirkoniumdioxid [39].

Eine der wenigen vergleichbaren Langzeitstudien zu ZrO₂-Implantaten stammt von Roehling et al. [79] und zeigt retrospektive Sieben-Jahres-Daten auf [79]. Verwendet wurden hier Monotypeimplantate der ersten Zirkoniumdioxid-Generation (Z-Look 3, 161 Implantate); die Nachuntersuchungen wurden mittels subjektiver, klinischer und radiologischer Kriterien durchgeführt [79]. Roehling et al. [79] fanden vergleichsweise geringe Überlebens- und Erfolgsraten von jeweils nur ca. 78 %; sie führten dies sowohl auf eine mangelnde Osseointegration als auch verminderte Frakturresistenz der Implantate zurück und hielten somit eine Materialweiterentwicklung für erforderlich [79]. In der vorliegenden Studie wurden im Langzeitverlauf keine Implantatfrakturen beobachtet, die Erfolgsrate zeigte mit 89,6 % ein besseres Ergebnis als bei Roehling et al. [79]. Dies kann möglicherweise auf die Verwendung eines bereits hochwertigeren Implantattyps zurückgeführt werden.

Zu ähnlich positiven Resultaten gelangten Lorenz et al. [80]; die Nachbeobachtungszeit betrug 7,8 Jahre bei Berücksichtigung von 83 Monotypeimplantaten [80]. Die Autoren geben eine Überlebensrate von 100 % an; zwar wird die Erfolgsrate nicht explizit genannt, jedoch von sehr guten Langzeitergebnissen gesprochen [80]. Ähnlich wie in unserer Studie wurde eine hohe Patientenzufriedenheit aufgezeigt; Lorenz et al. [80] heben insbesondere auch die geringe Plaqueaffinität und die problemlose Integration des Implantats in Knochen und Weichgewebe hervor [80]. Beide Phänomene ließen sich in vorliegender Follow-up-Erhebung bestätigen.

Ungeachtet der positiven Ergebnisse in der Langzeitstudie lassen sich mehrere Aspekte zur Methodik diskutieren.

Neben der klinischen Erhebung wurden sämtliche Implantate röntgenologisch untersucht. Somit konnten zum einen eventuelle periapikale Auffälligkeiten bzw. Radioluzenzen ausgeschlossen werden (kein Implantat auffällig), zum anderen konnten funktionell relevante Strecken bestimmt werden.

Jede Röntgenuntersuchung wurde mittels OPT durchgeführt. Mit dieser weit verbreiteten Methode kann der gesamte Kiefer mit einer geringen Strahlendosis übersichtlich

und reproduzierbar dargestellt werden [81]. Chopra et al. [82] beschreiben es darüber hinaus als geeignet, um das Knochenlager vor und nach Implantation zu bewerten, vor allem in Hinblick auf die Osseointegration nach der Insertion [82]. Als weiterer Vorteil gelten der überschaubare Aufwand und die geringen Kosten eines OPT [83].

Demgegenüber gilt es zu bedenken, dass Verzerrungen auftreten können [81]. Darüber hinaus nehme die Exaktheit des OPT durch Vergrößerungseffekte ab [83, 84]. Park [85] zufolge seien solche Effekte von der anatomischen Position abhängig [85]. Insgesamt wird das OPT jedoch als exakte Untersuchungsmethode bewertet [82, 85]. Da in der hiesigen Studie überwiegend Frontzahnimplantate mittels OPTs nachuntersucht wurden (80,6 % der Implantate), ist davon auszugehen, dass diese dimensionsgetreu dargestellt werden konnten. Auch durch die Anwendung der Kalibrierung der Röntgenbilder mithilfe einer bekannten Strecke (0,2 mm Abstand zwischen einer Implantatwindung) ließ sich eine weitgehend unverfälschte Größenbestimmung erreichen [86].

Ein alternatives Verfahren zum OPT wäre die Anfertigung eines Zahnfilms in Paralleltechnik gewesen. Bei dieser Technik komme es im Gegensatz zum OPT kaum zu Vergrößerungen [81]. Außerdem sei die Auflösung beim Zahnfilm genauer [83]. In der vorliegenden Studie war allerdings lediglich das OPT-Gerät zugänglich. Kleinere Unschärfen wurden durch das Programm ‚Image J‘ (siehe 2.2.6) ausgeglichen. Bereits vorhandene Röntgenaufnahmen vom Zeitpunkt der prothetischen Belastung an wurden in Zahnfilmtechnik angefertigt und mit den nun angefertigten OPTs verglichen (siehe 2.2.4). Zwar ist mit beiden Methoden eine genaue Längenabmessung möglich, jedoch sind die Werte gegebenenfalls nur eingeschränkt vergleichbar [81, 87]. Optimal wäre es gewesen, auch die Acht-Jahres-Kontrolle mittels eines Zahnfilms vorzunehmen.

Sowohl auf Basis der OPTs als auch mithilfe der Fotodokumentation konnten mehrere Strecken bestimmt werden, die zur weiteren Analyse des funktionellen und ästhetischen Resultats beitragen. Durch die erstmals von Kniha et al. [75] angewandte Methodik (Kombination der Strecken im Röntgenbild mit den Messstrecken im Foto, Ermittlung von Streckenlänge 6 und 7) konnte der Abstand des Knochenansatzes am Implantat bis zum Approximalkontakt zwischen den Kronen möglichst genau bestimmt werden. Die Anwendung des kontrastmittelreichen Wolframpulvergemisches erlaubte hierbei die exakte Lokalisation der Papillenspitze, die in der üblichen Röntgendarstellung eher unscharf sichtbar ist. Mithilfe der kieferorthopädischen Drähte war es zusätzlich möglich, den Kontaktpunkt zwischen den Kronen noch präziser zu definieren. Ein

grundsätzliches Problem der konventionellen Röntgendiagnostik ist die Bestimmung der Lage der Papillenspitze. Eine metrische Erfassung der Papillenhöhe bzw. des Papillendefizits und demnach eine objektive Einschätzung des ästhetischen Potentials war somit bisher schwierig [75]. Um die Papillenspitze im Röntgenbild kenntlich zu machen, wurde in einigen Studien eine Mixtur aus endodontischem Sealer (Zinkoxideugenol) und röntgenopakem Bariumsulfat appliziert [88-90]. In der vorliegenden Arbeit wurde hingegen ein Gemisch aus TempBond und Wolframpulver angewendet. Letzteres wurde gewählt, weil es röntgendichter ist und somit eine schärfere Markierung der Papillenspitze ermöglichen sollte [75].

Daneben werden in der Literatur einige Versuche beschrieben, den Abstand des krestalen Knochens zum Approximalkontakt zwischen den Kronen darzustellen, beispielsweise durch Anfertigung eines Zahnfilms in Paralleltechnik und nachfolgende Vermessung der Distanz [78, 91, 92]. Hierbei ergab sich jedoch die Schwierigkeit der genauen Bestimmung der Lage des Approximalkontakts. Um diesen detailliert zu orten, verwendeten Martegani et al. [93] im Rahmen der Röntgenuntersuchung einen Kupferdraht. Somit ließ sich die Strecke zum Knochen ideal vermessen, um dadurch Rückschlüsse auf ein etwaiges Knochendefizit zu ziehen [93]. Im Gegensatz dazu wurden in der vorliegenden Studie kieferorthopädische Stahldrähte genutzt, dies jedoch ausschließlich im Rahmen der Fotodokumentation (siehe 2.2.5).

Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass mit den hier eingesetzten Techniken im Vergleich zu konventionellen Vorgehensweisen ohne Drahtanwendung bzw. kontrastgebende Markierung eine präzisere Streckenabmessung erzielt werden konnte.

Auf die Relevanz dieser Messstrecken wurde bereits in 2.2.6 eingegangen. Bereits Tarnow et al. [69] wandten sich im Jahre 1992 einer der maßgeblichen Messstrecken zu, nämlich dem Abstand zwischen Knochenkamm und Approximalkontakt (hier Strecke 6); so sollte ermittelt werden, ob sich ein etwaiger Knochenrückgang auch auf die Papillenformation auswirkt [69]. Einem drohenden Papillendefizit komme deshalb hohe Bedeutung zu, weil dadurch ästhetische und funktionelle Probleme aufträten [68-70]. In der 1992 veröffentlichten Studie wurden bei 30 Patienten bzw. 144 Zähnen die Papillenformation an natürlichen Zähnen visuell beurteilt und nachfolgend unter Lokalanästhesie die Strecke des Approximalkontakts zum krestalen Knochenkamm sondiert wie auch gemessen [69]. Hierbei zeigte sich, dass bei einer Streckenlänge von ≥ 7 mm ein sogenannter ‚Leerraum‘ vorlag und somit die Papille den Interdentalraum nicht komplett füllte; hingegen war bei einer Distanz von ≤ 5 mm in praktisch allen Fällen eine komplette Papillenformation zu beobachten [69].

Betrachteten Tarnow et al. [69] den Nativzustand einer Papille an Zähnen, so untersuchten Choquet et al. [91] im Jahr 2001, wie sich nach Insertion von Titanimplantaten Knochen und Papille entwickelten. Circa 3,5 Jahre nach Setzung von 27 Implantaten wurde die Papille ähnlich wie bei Tarnow et al. [69] visuell beurteilt [91]. Ebenfalls wurde die Strecke des Approximalkontakts zum Knochenkamm bestimmt, jedoch nicht mittels Sondierung, sondern anhand eines Zahnfilms in Paralleltechnik [91]. Analog zu Tarnow et al. [69] ergab sich in fast allen Fällen mit einer Strecke ≤ 5 mm eine volle Papillenpräsenz; hingegen war die Papille bei einer Distanz von ≥ 6 mm bei maximal der Hälfte der Patienten komplett ausgefüllt [91].

In der vorliegenden Studie wurde ebenfalls die Thematik der ‚Papillenentwicklung nach Implantation‘ beleuchtet. Im Gegensatz zu den Untersuchungen von Tarnow et al. [69] (keine Implantate) und Choquet et al. [91] (Titanimplantate) wurden Zirkoniumdioxidimplantate untersucht, die vor etwa acht Jahren inseriert wurden. Die visuelle Einschätzung erfolgte durch den Patienten selbst (siehe ästhetische Zufriedenheit, 2.2.1) und anschließend auch durch den Untersucher (PES, siehe 2.2.7). Bei der Streckenvermessung wurden mithilfe der oben genannten Methoden (kontrastgebendes Gemisch, Drahtmarkierung) größtmögliche Präzision und Reproduzierbarkeit angestrebt; Invasivität (z. B. Sondierung des Knochens in Lokalanästhesie) wurde wiederum vermieden.

Nach den Kriterien von Tarnow et al. [69] und Choquet et al. [91] (ideale Streckenlänge 6 sollte ≤ 5 mm sein) wäre in der hiesigen Arbeit in nur etwa der Hälfte der Fälle eine volle Papillenformation erreicht worden, da die Streckenlängen für den Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze (Strecke 6) im Median und im Mittelwert bei 6,1 mm lagen. Dem widersprechen die Ergebnisse in Bezug auf die Patientenzufriedenheit (siehe 3.1) und die positiven PES-Einschätzungen (siehe 3.5). Zwischen der Streckenlänge 6 und den PES-Bewertungen fand sich jedoch ein mäßiger statistischer Zusammenhang ($r_s = -0,3$). Dies könnte sich damit erklären lassen, dass die PES-Kriterien nicht nur die Papillenbeurteilung enthalten, sondern mehrere andere Kriterien, wie zum Beispiel die Gingivakontur [5].

Mit Blick auf die Vergleichbarkeit der Resultate mit jenen von Tarnow et al. [69] und Choquet et al. [91] ist als wesentlicher Unterschied festzuhalten, dass die Streckenermittlung unseres Vorgehens kaum einer subjektiven Untersucher-Ungenauigkeit unterliegt und somit die Beurteilung der Papille gut reproduzierbar erscheint.

Eine weitere Studie mit Fokus auf dem ästhetischen Ideal der Papillenformation ist die Erhebung zur idealen KPR nach Chu et al. [76]. Chu et al. [76] untersuchten den Frontzahnbereich bei 20 gesunden Patienten und bildeten bei 120 Zähnen jeweils den

Quotienten zwischen Kronenlänge und Papillenhöhe. Ähnlich wie hier wurden die entsprechenden Strecken mittels eines Zirkels (KL) bzw. einer Abmessung am Foto (Strecke 4) bestimmt.

Chu et al. [76] fanden im Durchschnitt einen Quotienten von etwa 40 % und definierten diesen als ästhetischen Idealwert [76]. Einschränkend gaben sie zu bedenken, dass dennoch eine subjektive Variationsbreite bestehe und ferner ein ästhetisches Ideal durchaus gesellschaftlichen und kulturellen Einflüssen ausgesetzt sein könne [76]. Trotzdem wurden die Richtwerte von Chu et al. [76] in etlichen Publikationen aufgegriffen (z. B.: [30, 74]). Die Daten in der Studie ergaben für die KPR 31,8 % im Medianwert bzw. 31,4 % im Mittelwert. Somit erreichten nur wenige der ermittelten Quotienten das von Chu et al. [76] postulierte Ideal. Dem gegenüber hatten sich zufriedenstellende Resultate in puncto Patientenzufriedenheit und PES gezeigt. Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, dass die Einteilung nach Chu et al. [76] die Breite des Zahnes völlig außer Acht lässt: Nach Implantation wird bei der prothetischen Versorgung insbesondere im Frontzahnbereich auf das optisch-harmonische Gesamtbild Wert gelegt. Gegebenenfalls ist eine breitere Kronengestaltung erforderlich, was tendenziell zu einem eher niedrigeren KPR-Quotienten, aber dennoch zu einem ästhetisch überzeugenden Ergebnis führt. Auch Kolte et al. [94] betonen, dass die Konfiguration der Krone selbst Einfluss auf die Formation der Papille nimmt; so wird bei rechteckiger Kronenform stets eine komplette bzw. bei triangulärer Morphologie eine signifikant geringere Papillenausformung beobachtet [94]. Selbst wenn also bei solchen rechteckigen Kronen der Idealwert von 40 % nach Chu et al. [76] nicht erreicht wird, können trotzdem ästhetische Ergebnisse erzielt werden.

Neben den genannten objektiven Streckenbestimmungen zur Einschätzung der Ästhetik existieren – wie angesprochen – subjektive Methoden, die jeweils auf der Bewertung des Untersuchenden beruhen. Über den in dieser Studie verwendeten PES hinaus gelten der weit verbreitete ‚PES/White-Esthetic-Score‘ (PES/WES), der ‚Papilla-Presence-Index‘ (PPI), der ‚Peri-Implant-and-Crown-Index‘ (PICI) und der ‚Implant-Crown-Aesthetic-Index‘ (ICAI) als geeignete Einschätzungsverfahren für Implantate [95]. In der vorliegenden Arbeit fiel die Entscheidung auf den PES-Index nach Fürhauser et al. [5], da hier das Implantat selbst und nicht zusätzlich die Suprakonstruktion beurteilt wird und dieser mit sieben Kriterien eine umfassende Bewertung ermöglicht. Grundsätzlich gilt bei sämtlichen genannten Methoden einschränkend, dass eine Untersucherabhängigkeit besteht und keine metrischen Verfahren zur Anwendung kommen [96].

Daneben schien es von Bedeutung, wie das ästhetische Resultat von den Patienten selbst beurteilt wurde. Hierfür gaben sämtliche Patienten ihre Bewertung zur ästhetischen Zufriedenheit sowie zur Gesamtzufriedenheit ab, die jeweils als subjektiv gelten. Eine persönliche Befragung über das individuelle Empfinden könnte zu positiv ausfallen, wenn beispielsweise zwischenmenschliche und situative Einflüsse mitwirken. Des Weiteren könnte sich die Gestaltung der Suprakonstruktion (z. B. Krone) unabhängig vom Implantat auf die Bewertung auswirken. Möglicherweise haben Patienten mit ohnehin guter Mundhygiene grundsätzlich höhere Ansprüche an das ästhetische Ergebnis. Insgesamt erscheint somit die Aussagekraft derartiger Patientenbewertungen eher limitiert.

Wurde in den bisherigen Ausführungen jeweils in Bezug auf das Gesamtkollektiv diskutiert, sollen nun die bereits erwähnten Untergruppen betrachtet werden, um auf verschiedene Implantationsbedingungen eingehen zu können.

Zu Titanimplantaten existieren diverse Kurzzeitstudien, in denen die Ergebnisse nach unterschiedlichen Implantationszeitpunkten verglichen wurden [97-100]. Tonetti et al. [100] äußern sich in ihrer Drei-Jahres-Studie zu Titanimplantaten kritisch in Hinblick auf die Sofortimplantation: Es zeigte sich eine höhere Knochenrezession, der PES fiel ebenfalls ungünstiger aus; somit solle in ästhetisch relevanten Bereichen die Spätimplantation gewählt werden bzw. auf eine Sofortimplantation verzichtet werden [100]. Dieser Ansicht widersprechen die Ergebnisse von Kniha et al. [2], die in ihrer Ein-Jahres-Studie zu Zirkoniumdioxidimplantaten sowohl für sofort- als auch spät-inserierte Implantate ähnlich gute ästhetische Resultate und ein gleichermaßen geringes Papillendefizit feststellen konnten [2]. In der Langzeitstudie ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Differenzen zwischen den Papillendefiziten (Strecke 5) sowie zwischen den Papillenhöhen (Strecke 4) beider Gruppen (Sofort- versus Spätimplantation).

Von einem geringfügig erhöhten Risiko für Implantatverluste nach Titan-Sofortimplantation wurde in den Metaanalysen (Ein- bis Fünf-Jahres-Ergebnisse) von Canellas et al. [101] und Esposito et al. [102] berichtet [101, 102]. In unserer ausschließlich auf Zirkoniumdioxid bezogenen Langzeitstudie konnte hingegen nach Sofortimplantation eine Überlebensrate von 100 % beobachtet werden.

Francisco et al. [103] zufolge ergäben beide Implantationsweisen einen ästhetischen Outcome; Unterschiede im PES seien nicht festzustellen [103]. Einen Vorteil der Sofortimplantation in Bezug auf den PES bestätigten auch Canellas et al. [101], vor allem

das Frontzahnggebiet betreffend; möglicherweise sei dies auf stabile Hart- und Weichgewebeverhältnisse der Alveolen in der Front zurückzuführen [101]. Die vorliegende Arbeit lieferte weitere Ansatzpunkte für diese These, da hier 54 und somit zahlreiche Frontzahnimplantate vorlagen. Insgesamt zeigten sich nach Sofortimplantation sogar signifikant ($p = 0,0021$) bessere Ergebnisse für den PES als nach Spätimplantation. Auch Esposito et al. [102] postulierten bessere ästhetische Ergebnisse nach Sofortimplantation, schränken jedoch ein, dass hier mit höheren Implantatverlusten zu rechnen sei [102].

In den oben erwähnten kurz- bis mittelfristigen Studien wurde über klinisch äquivalente Resultate nach Sofort- versus Spätimplantation berichtet [97-99]. Langzeiterhebungen hierzu sind jedoch rar: Schropp et al. [104] stellten in ihrer Zehn-Jahres-Studie eine gleichermaßen gute Überlebensrate nach Sofort- bzw. Spätimplantation mit Titan fest (93 % bzw. 100 %); keine wesentlichen Unterschiede ergaben sich in Bezug auf den Abstand vom Knochen am Implantat zur Implantatschulter (hier Strecke 1) [104]. In der hiesigen Acht-Jahres-Studie mit Zirkoniumdioxid konnte nach Sofortimplantation jedoch eine signifikant kürzere Strecke 1 ($p = 0,0001$) als nach Spätimplantation ermittelt werden. Möglicherweise impliziert die Sofortimplantation eine atraumatischere chirurgische Vorgehensweise mit geringerem Hart- und Weichgewebeverlust.

Gemäß dieser Erhebung lässt sich feststellen, dass eine Sofortimplantation im Langzeitverlauf keine optischen Nachteile und auch keine wesentlichen funktionellen Einschränkungen mit sich bringt (hohe Überlebensrate, geringer Knochenabbau). Allerdings muss angemerkt werden, dass bei dem hier vorhandenen Patientengut die Indikation zur Sofortimplantation jeweils durch einen erfahrenen Operateur gestellt wurde (Beurteilung der Knochenqualität) und dass bei unkritischer Indikationsstellung möglicherweise schlechtere Ergebnisse zu erwarten gewesen wären.

Wünschenswert wären noch weitere Langzeitstudien zu den beiden möglichen Vorgehensweisen nach Titan-, insbesondere aber auch nach Zirkoniumdioxidimplantation.

Neben der Überprüfung möglicher Unterschiede nach Sofort- bzw. Spätimplantation erschien für die Langzeitbetrachtung noch die Differenzierung zwischen Einzel- und benachbarten Implantaten relevant.

Einzelimplantate lieferten in der vorliegenden Arbeit bessere ästhetische Ergebnisse im Vergleich zu benachbarten: Sowohl die KPR (Papillenhöhe/KL) als auch der PES erreichten hoch-signifikant (jeweils $p < 0,0001$) höhere Werte. Zudem war die Papillenhöhe (Strecke 4) bei Einzelimplantaten signifikant ($p = 0,0005$) größer.

Tarnow et al. [105] erhoben für benachbarte Titanimplantate ebenfalls eher ungünstigere Ergebnisse: Demnach sei die Papillenhöhe bei benachbarten Implantaten stets geringer als bei Einzelimplantaten; auch der Abstand vom Knochenansatz am Implantat zur Papillenspitze (Strecke 6) erreiche hier im Mittel etwa 3,4 mm und sei demnach zu kurz für eine komplette interimplantäre Papillenausformung [105]. In der vorliegenden Arbeit (ZrO₂-Implantate) erreichte die Streckenlänge 6 hingegen höhere Werte, nämlich durchschnittlich 6,1 mm. Bei der Einzelimplantatsituation war die Strecke 6 im Durchschnitt mit 6,3 mm bestimmbar, wobei kein signifikanter Unterschied zur Gruppe der Reihenimplantate festgestellt werden konnte. Bei Betrachtung der Strecke 1 (Abstand vom Knochenansatz zur Implantatschulter) wurden hingegen signifikant geringere Werte für Einzelimplantate gefunden ($p = 0,0098$). Der Knochen entwickelte sich bei diesen daher vorteilhafter, was die günstigeren ästhetischen Ergebnisse nach Einzelimplantation erklären könnte. Hingegen dürfte eine Reihenextraktion traumatischer für Knochen bzw. Weichgewebe sein und dadurch letztlich eher eine Knochenresorption induzieren.

Kniha et al. [106] berichten in ihrer Studie von einem günstigen Outcome für benachbarte Zirkoniumdioxidimplantate (geringeres Papillendefizit, Mittelwert 0,5 mm), allerdings handelte es sich um einen Nachbeobachtungszeitraum von nur einem Jahr [106]. In der vorliegenden Acht-Jahres-Studie waren bezüglich des Papillendefizits (Strecke 5) zwischen Einzelimplantaten (Mittelwert 1,0 mm) und benachbarten Implantaten (Mittelwert 0,9 mm) jedoch keine signifikanten Unterschiede mehr zu beobachten.

Im Falle eines geringen Restzahnbestands kann die Insertion mehrerer Implantate zweifellos erwogen werden, allerdings mit potentiell ungünstigerem Resultat (KPR, PES, Papillenhöhe nachteiliger). Eine Alternative wäre bei diesen Patienten z. B. die Anfertigung interimplantärer Brücken bei Ersatz von mehr als drei Zähnen. Die Langzeitbeobachtung legt nahe, dass aus einer Einzelimplantation eher ein optisch-ansprechenderes Ergebnis resultieren könnte. Welche Rolle spielt dabei grundsätzlich die präoperative Planung? Lässt sich neben der Planung der Implantatanzahl auch für das Einzelimplantat abschätzen, inwieweit die Wahl der Abmessungen der gesamten Konstruktion (Kronenlänge und Implantatlänge) Einfluss auf das optische Ergebnis nimmt?

Es ergab sich somit auch die Frage, ob sich aus dem Verhältnis von Kronen- zur Implantatlänge Hinweise auf das spätere optische Resultat ableiten ließen. Wäre z. B. eine möglichst große Implantatlänge anzustreben? Hätte etwa ein relativ geringer Quotient von KL/IL einen positiven Einfluss auf das optische Ergebnis? Als definitiv

ästhetisch unbefriedigend wird das Black-Triangle-Phänomen (siehe 1.3) eingestuft [68]. Am besten objektiviert wird dieses Phänomen durch das Papillendefizit (Strecke 5, siehe 2.2.6). Des Weiteren dient der PES nach Fürhauser et al. [5] (siehe 2.2.7) der ästhetischen Einschätzung.

In einer Metaanalyse von Pellizzer et al. [107] stellte sich eine positive Korrelation zwischen einem hohen Quotienten KL/IL und Knochenverlusten um Implantate heraus [107]. In vorliegender Studie wurde der KL/IL-Quotient mit den optisch relevanten Faktoren Papillendefizit (Strecke 5) und PES korreliert. Es zeigte sich ein dahingehender Trend, dass sich bei kleinem Quotienten KL/IL eher optisch bessere Resultate boten, wobei die Korrelation relativ schwach bis mäßig war ($r_s = 0,2$ für Korrelation mit Papillendefizit, $r_s = -0,4$ für Korrelation mit PES). Grundsätzlich gilt es in Abhängigkeit der anatomischen Gegebenheiten zu überlegen, welche Längendimensionen für Implantat und Krone idealerweise zu wählen sind. Tendenziell sollte demnach eine vergleichsweise kurze Kronenlänge und/oder eine hohe Implantatlänge verwendet werden. Die Variationsbreite ist diesbezüglich jedoch durch optische und lokale Limitationen relativ gering.

Variationsmöglichkeiten bestehen bei der Auswahl des Implantatmaterials; vielfach wird jedoch nach wie vor Titan als Standardmaterial in der Implantologie betrachtet [36, 78]. In zahlreichen Studien überzeugte aber auch Zirkoniumdioxid durch gute klinische Untersuchungsergebnisse sowie Gewebe- und Osseointegration [46, 55, 108]. Roehling et al. [108] fanden in ihrer Studie hingegen heraus, dass die Osseointegration von Zirkoniumdioxid langsamer abläuft als bei Titan [108]. In unserer Acht-Jahres-Nachbeobachtung war davon auszugehen, dass die Osseointegration längst abgeschlossen ist.

Vergleichende Langzeitstudien bezüglich der Überlebensraten von Titan- und Zirkoniumdioxidimplantaten liegen nicht vor. Für beide werden allerdings jeweils überzeugende Langzeitergebnisse aufgezeigt: Überlebensraten von 95 % bis 100 % für Titan bzw. eine Überlebensrate von 100 % für Zirkoniumdioxid [80, 109, 110]. Lorenz et al. [80] berichteten neben der optimalen Überlebensrate über eine geringe Plaqueaffinität und eine gute Osseointegration 7,8 Jahre nach Zirkoniumdioxidimplantation, was sich durch unsere Studie bestätigen lässt [80].

Clever et al. [65] stellten in einer kurzfristigen Vergleichsstudie zwischen Titan und Zirkoniumdioxid fest, dass die Sondierungstiefe nach Titanimplantation signifikant höher war als nach Zirkoniumdioxidimplantation [65]. Da eine hohe Sondierungstiefe als prognostischer Faktor für einen Knochenverlust gilt, ist die Periimplantitisgefahr bei

Titanimplantaten möglicherweise erhöht [111-113]. Roehling et al. [114] bestätigten in ihrer Studie die signifikant höheren Knochenverluste bei Titanimplantaten [114]. In der vorliegenden Arbeit zeigten sich wiederum niedrige Sondierungstiefen von durchschnittlich nur 1,39 mm. Das Ausmaß des Knochenrückgangs nach acht Jahren fiel relativ gering aus (35,8 % der Fälle mit $< 0,2$ mm/Jahr, 10,4 % der Fälle mit $\geq 0,2$ mm/Jahr), darüber hinaus war sogar häufig eine Zunahme der Knochensubstanz zu beobachten (46,3 % der Fälle).

Bezüglich der Plaqueakkumulation an Implantaten konnten Clever et al. [65] in ihrer in-vitro durchgeführten Studie herausfinden, dass Titan nach zwei Wochen deutlich plaqueaffiner war als Zirkoniumdioxid; die Bakterienbesiedlung war demnach bei Titan höher [65]. Auch in der aktuellen S3-Leitlinie zu Keramikimplantaten wird von einer geringeren Plaquerate, und damit einem geringeren Periimplantitisrisiko an Zirkoniumdioxidimplantaten gesprochen [45]. Mögliche Gründe für die höhere Plaqueaffinität von Titan nennen Hellwig et al. [115]: Zum einen könne die Modifikation der Oberfläche, beispielsweise deren Rauigkeit, eine Plaquebildung begünstigen; zum anderen wirke ein „hohe[s] elektrisches Bindungspotential“ [115] an der Oberfläche, was die Bindung von Plaquebakterien und somit das Fortschreiten von Plaque beschleunigen könne [115]. Scarano et al. [64] und Degidi et al. [116] bestätigten eine höhere bakterielle Adhäsion an Titanimplantaten; allerdings sei letztendlich nicht die Bakterienbesiedlung, sondern die absolute Plaquemenge für den Implantaterfolg relevant [64, 116].

In der vorliegenden Studie wurde der Plaque-Index nach Mombelli und Lang [67] an Zirkoniumdioxidimplantaten untersucht: Plaque war bei ca. 11,9 % der Patienten bei Sondierung nachweisbar und dann nur in geringer Ausprägung (Schweregrad 1). Die Schweregrade 2 und 3 kamen nicht vor. Nicht explizit berücksichtigt wurde hier die mikrobielle Bakterienbesiedlung. Es kann aber festgehalten werden, dass die Plaqueakkumulation an Zirkoniumdioxid im Langzeitverlauf gering war. In der Arbeit von Blume et al. [117], einer retrospektiven Langzeitstudie, kommt zum Ausdruck, dass nach Titanimplantation die Periimplantitis als hauptsächliche Ursache des Implantatverlustes anzusehen ist [117]. Karoussis et al. [109] beobachteten in einer Zehn-Jahres-Studie eine Überlebensrate von Titanimplantaten in 95,4 % der Fälle; bei diesen wird in immerhin 10 % der Fälle eine Periimplantitis beschrieben [109]. Ähnliche Resultate berichten Roos-Jansaker et al. [110, 118]: Die Überlebensrate neun bis 14 Jahre nach Titanimplantation (999 Implantate) liege bei 95,7 %; eine Periimplantitis sei bei 6,6 % der erhaltenen Implantate nachweisbar gewesen [110, 118]. Offenbar ist somit die Periimplantitis nach Titanimplantation ein relevantes Phänomen.

In einer Studie von Roehling et al. [79], die die Langzeitergebnisse von Zirkoniumdioxidimplantaten der ersten Generation untersuchten, fiel hingegen auf, dass in keinem

Fall eines Implantatverlustes eine Periimplantitis ursächlich gewesen war; die Überlebensrate von lediglich 77,3 % wurde aber im Wesentlichen auf Implantatfrakturen zurückgeführt [79]. Die in unsere Langzeitbeobachtung eingehenden Zirkoniumdioxidimplantate wiesen allesamt keinerlei klinische und radiologische Anzeichen einer Periimplantitis auf.

Neben den somit offenbar zufriedenstellenden funktionellen Eigenschaften wird Zirkoniumdioxid auch ästhetisches Potential zugeschrieben. Bei Titanimplantaten kann die dunkle bis graue Färbung, vor allem bei einem dünnem Gingivatyp, durchschimmern, was besonders in der Front als optisch wenig ansprechend empfunden wird [16, 59]. Dagegen zeigen Zirkoniumdioxidimplantate eine helle, zahnähnliche Farbe [2]. In der vorliegenden Studie wiesen die PES von im Mittel 10,2 Punkten und die ästhetische Zufriedenheit der Patienten (Note 1,4 im Mittel) nach Zirkoniumdioxidimplantation darauf hin, dass vielfach ein optisch ansprechendes Ergebnis erreicht werden konnte.

Titan hat sich trotz der angesprochenen Nachteile in den letzten Jahrzehnten als Implantatmaterial bewährt und zählt nach wie vor zum Goldstandard für dentale Implantate [36, 39]. Lediglich bei einer Titanunverträglichkeit solle Osman et al. [119] zufolge auf Zirkoniumdioxid ausgewichen werden; Zirkoniumdioxid nicht als primäre Option anzuwenden, sei durch die hohe Frakturnrate und den Knochenverlust nach Zirkoniumdioxidimplantation begründet [119]. Roehling et al. [79] bestätigten die relevanten Frakturnraten bei Zirkoniumdioxidimplantaten der ersten Generation, die zu nachteiligen Überlebens- und Erfolgsraten geführt hatten [79]. Die vorliegende Studie zeigt jedoch ein gegensätzliches Resultat, denn es trat keine Implantatfraktur auf. Ursächlich sein könnte hier die Verwendung von weiterentwickelten, frakturresistenteren Implantaten der PURE Ceramic-Generation (monotype, ZrO₂, Firma Straumann, Basel, Schweiz).

Das von Osman et al. [119] angesprochene Phänomen eines relevanten Knochenverlustes nach Zirkoniumdioxid-Insertion ließ sich hier nicht bestätigen [119]: In nur 10,4 % aller Implantate hatte sich im Langzeitverlauf ein relevanter Knochenverlust von $\geq 0,2$ mm pro Jahr entwickelt. Die Knochenstruktur blieb in 7,5 % auf gleichem Niveau, in 46,3 % kam es sogar zu einem Knochenzuwachs.

5 Schlussfolgerung

Zirkoniumdioxidimplantate zeigten im Langzeitverlauf funktionell zufriedenstellende Resultate: Die Überlebensrate betrug 100 %, die Erfolgsrate 89,6 %. Letztere ist durch mehrere klinische und radiologische Untersuchungsmethoden begründet. Zudem zeigten sich unter Zuhilfenahme weiterer Verfahren, wie etwa einer Score-Anwendung, ästhetisch günstige Resultate mit adäquater Papillenformation.

Demnach könnten Zirkoniumdioxidimplantate, die sich auch nach acht Jahren als stabil erwiesen, bei entsprechender Indikation – insbesondere für den optisch bedeutsamen Frontzahnbereich – eine Alternative zu Titanimplantaten darstellen. Eindeutige Nachteile ließen sich dabei weder nach einer Sofort- noch einer Reihenimplantation beobachten.

Sinnvoll wären allerdings weitere Langzeitstudien zu Zirkoniumdioxid (prospektiv, Multi-Center), wobei auch vergleichende Langzeitstudien zu Titan anzustreben sind.

Literaturverzeichnis

1. Hashim D, Cionca N, Courvoisier DS, Mombelli A.
A systematic review of the clinical survival of zirconia implants.
Clin Oral Investig. 2016;20(7):1403-1417.
2. Kniha K, Kniha H, Mohlhenrich SC, Milz S, Holzle F, Modabber A.
Papilla and alveolar crest levels in immediate versus delayed single-tooth zirconia implants.
Int J Oral Maxillofac Surg. 2017;46(8):1039-1044.
3. Afrashtehfar KI, Del Fabbro M.
Clinical performance of zirconia implants: A meta-review.
J Prosthet Dent. 2020;123(3):419-426.
4. Depprich R, Naujoks C, Ommerborn M, Schwarz F, Kubler NR, Handschel J.
Current findings regarding zirconia implants.
Clin Implant Dent Relat Res. 2014;16(1):124-137.
5. Fürhauser R, Florescu D, Benesch T, Haas R, Mailath G, Watzek G.
Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score.
Clin Oral Implants Res. 2005;16(6):639-644.
6. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR.
The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success.
Int J Oral Maxillofac Implants. 1986;1(1):11-25.
7. ZWP-online.
In Deutschland werden jährlich 1,3 Millionen Implantate gesetzt.
ZWP-Online, 2018 [verfügbar unter: <https://www.zwp-online.info/zwpnews/dental-news/branchenmeldungen/zahnimplantate-zunehmend-erste-wahl-13-millionen-werden-in-deutschland-pro-jahr-eingepflanzt>].
8. Gaviria L, Salcido JP, Guda T, Ong JL.
Current trends in dental implants.
J Korean Assoc Oral Maxillofac Surg. 2014;40(2):50-60.
9. Franz A.
Die Eisen-Beißerin.
Spiegel-Online, 2014 [verfügbar unter: <https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/archaeologen-finden-fruehestes-keltisches-zahnimplantat-a-972910.html>].
10. Block MS.
Dental Implants: The Last 100 Years.
J Oral Maxillofac Surg. 2018;76(1):11-26.

11. Brinkmann AK, Brinkmann ELW.
Geschichte der zahnärztlichen Implantologie in Deutschland.
Oldenburg: ANKE-Verlag; 1995.
12. Implantatstiftung Schweiz P.
50 Jahre Zahnimplantate - dank Per-Ingvar Brånemark.
Implantatstiftung online, 2015 [verfügbar unter: https://implantatstiftung.ch/wp-content/uploads/2019/03/MM_20150504.pdf].
13. Uhlmann B.
Gewagte Einsätze. Geschichte der Implantate.
Süddeutsche Zeitung, 2016 [verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/gesundheit/geschichte-der-implantate-gewagte-einsaetze-1.2902888>].
14. Sullivan RM.
Implant dentistry and the concept of osseointegration: a historical perspective.
J Calif Dent Assoc. 2001;29(11):737-745.
15. Schwarz P.
Zahnärztliche Implantologie von den Anfängen bis 1930.
Ludwig-Maximilians-Universität München; 1984.
16. Nelson K, Fretwurst T, Flügge T, Schmelzeisen R.
Zahnärztliche Chirurgie und Implantologie.
Köln: Deutscher Ärzte-Verlag; 2019.
17. Strock A.
Experimental work on a method for the replacement of missing teeth by direct implantation of a metal support into the alveolus.
Am J Orthod Oral Surg. 1939;15:467-472.
18. Brånemark P.
Tissue-integrated Protheses
Osseointegration in Clinical Dentistry.
Chicago, Illinois: Quintessenz Publishing Co.; 1985.
19. Albrektsson T, Sennerby L, Wennerberg A.
State of the art of oral implants.
Periodontol 2000. 2008;47:15-26.
20. Bosshardt DD, Chappuis V, Buser D.
Osseointegration of titanium, titanium alloy and zirconia dental implants: current knowledge and open questions.
Periodontol 2000. 2017;73(1):22-40.
21. Schroeder A, van der Zypen E, Stich H, Sutter F.
The reactions of bone, connective tissue, and epithelium to endosteal implants with titanium-sprayed surfaces.
J Maxillofac Surg. 1981;9(1):15-25.

22. Hartmann H.
Vom Extensionsimplantat zur Hightech-Schraube.
Zahnärztliche Mitteilungen (zm). 2009;22:46-55.
23. Buser D, Sennerby L, De Bruyn H.
Modern implant dentistry based on osseointegration: 50 years of progress, current trends and open questions.
Periodontol 2000. 2017;73(1):7-21.
24. ITI.
Das ITI Curriculum.
Basel: International-Team-for-Implantology (ITI), 2018 [verfügbar unter: <https://www.iti-curriculum.org/curriculum-implantologie/>].
25. Kohal RJ, Klaus G.
A zirconia implant-crown system: a case report.
Int J Periodontics Restorative Dent. 2004;24(2):147-153.
26. Schulte W, Heimke G.
The Tübinger immediate implant.
Quintessenz. 1976;27(6):17 - 23.
27. Cionca N, Hashim D, Mombelli A.
Zirconia dental implants: where are we now, and where are we heading?
Periodontol 2000. 2017;73(1):241-258.
28. De Wijs FL, Van Dongen RC, De Lange GL, De Putter C.
Front tooth replacement with Tübingen (Frialit) implants.
J Oral Rehabil. 1994;21(1):11-26.
29. Reich E.
Keramikimplantate - Möglichkeiten und Grenzen.
ZWP-online, 2015 [verfügbar unter: <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/implantologie/keramikimplantate/keramikimplantate-moeglichkeiten-und-grenzen/>].
30. Comisso I, Arias-Herrera S, Gupta S.
Zirconium dioxide implants as an alternative to titanium: A systematic review.
J Clin Exp Dent. 2021;13(5):e511-e519.
31. Albrektsson T, Brånemark PI, Hansson H-A, Kasemo B, Larsson K, Lundström I, McQueen DH, Skalak R.
The interface zone of inorganic implantsIn vivo: Titanium implants in bone.
Annals of Biomedical Engineering. 1983;11(1):1-27.
32. Albrektsson T, Brånemark PI, Hansson HA, Lindstrom J.
Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man.
Acta Orthop Scand. 1981;52(2):155-170.

33. Zarb GA, Albrektsson T.
Osseointegration: a requiem for the periodontal ligament.
Int J Periodontics Restorative Dent. 1991;11(1):88-91.
34. Gahlert M, Roehling S, Sprecher CM, Kniha H, Milz S, Bormann K.
In vivo performance of zirconia and titanium implants: a histomorphometric study in mini pig maxillae.
Clin Oral Implants Res. 2012;23(3):281-286.
35. Buser D, Schenk RK, Steinemann S, Fiorellini JP, Fox CH, Stich H.
Influence of surface characteristics on bone integration of titanium implants. A histomorphometric study in miniature pigs.
J Biomed Mater Res. 1991;25(7):889-902.
36. Lorenz J, Holländer J, Ghanaati S, Sader R.
Keramikimplantate - eine Übersicht.
Jahrbuch Implantologie 2016. 2016.
37. Brånemark PI, Adell R, Breine U, Hansson BO, Lindstrom J, Ohlsson A.
Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies.
Scand J Plast Reconstr Surg. 1969;3(2):81-100.
38. Kasemo B.
Biocompatibility of titanium implants: surface science aspects.
J Prosthet Dent. 1983;49(6):832-837.
39. Kohal RJ, Spies BC, Vach K, Balmer M, Pieralli S.
A Prospective Clinical Cohort Investigation on Zirconia Implants: 5-Year Results.
J Clin Med. 2020;9(8).
40. Roehling S, Schlegel KA, Woelfler H, Gahlert M.
Performance and outcome of zirconia dental implants in clinical studies: A meta-analysis.
Clin Oral Implants Res. 2018;29 Suppl 16:135-153.
41. Bowers KT, Keller JC, Randolph BA, Wick DG, Michaels CM.
Optimization of surface micromorphology for enhanced osteoblast responses in vitro.
Int J Oral Maxillofac Implants. 1992;7(3):302-310.
42. Tarnow DP.
Commentary: replacing missing teeth with dental implants: a century of progress.
J Periodontol. 2014;85(11):1475-1477.
43. Wennerberg A, Albrektsson T, Chrcanovic B.
Long-term clinical outcome of implants with different surface modifications.
Eur J Oral Implantol. 2018;11 Suppl 1:S123-S136.
44. Schliephake H, Hefti T, Schlottig F, Gedet P, Staedt H.
Mechanical anchorage and peri-implant bone formation of surface-modified zirconia in minipigs.
J Clin Periodontol. 2010;37(9):818-828.

45. Thiem DGE, Stephan D, Kniha K, Kohal RJ, Rohling S, Spies BC, Stimmelmayer M, Grotz KA.
Correction: German S3 guideline on the use of dental ceramic implants.
Int J Implant Dent. 2023;9(1):2.
46. Blaschke C, Volz U.
Soft and hard tissue response to zirconium dioxide dental implants--a clinical study in man.
Neuro Endocrinol Lett. 2006;27 Suppl 1:69-72.
47. Christel P, Meunier A, Heller M, Torre JP, Peille CN.
Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia.
J Biomed Mater Res. 1989;23(1):45-61.
48. Nistor L, Gradinaru M, Rica R, Marasescu P, Stan M, Manolea H, Ionescu A, Moraru I.
Zirconia Use in Dentistry - Manufacturing and Properties.
Curr Health Sci J. 2019;45(1):28-35.
49. Kieschnick A.
Wann ist welches Zirkonoxid die richtige Wahl?
DZW Zahntechnik. 2021;1:6-13.
50. Kieschnick AS, B.
Reise durch die Welt der Zirkonoxide.
Dentalmagazin, 2022 [verfügbar unter:
<https://dentalmagazin.de/praxiszahnmedizin/cad-cam/reise-durch-die-welt-der-zirkonoxide/>].
51. Stawarczyk B, Kieschnick A, Rosentritt M.
25 Jahre Zirkonoxid - sind wir am Ziel angekommen?
Dental Digital. 2020;1:56-61.
52. Rosentritt M, Kieschnick A, Stawarczyk B.
Zirkonoxide.
ZM-online, 2019 [verfügbar unter: <https://www.zm-online.de/artikel/2019/ids-2019/zirkonoxide>].
53. Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lumkemann N.
Three generations of zirconia: From veneered to monolithic. Part II.
Quintessence Int. 2017;48(6):441-450.
54. Zhang Y, Lawn BR.
Novel Zirconia Materials in Dentistry.
J Dent Res. 2018;97(2):140-147.
55. Depprich R, Zipprich H, Ommerborn M, Naujoks C, Wiesmann HP, Kiattavorncharoen S, Lauer HC, Meyer U, Kubler NR, Handschel J.
Osseointegration of zirconia implants compared with titanium: an in vivo study.
Head Face Med. 2008;4:30.

56. Kohal RJ, Wolkewitz M, Hinze M, Han JS, Bachle M, Butz F.
Biomechanical and histological behavior of zirconia implants: an experiment in the rat.
Clin Oral Implants Res. 2009;20(4):333-339.
57. 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 Suppl 1:S13-20.
58. Sivaraman K, Chopra A, Narayan AI, Balakrishnan D.
Is zirconia a viable alternative to titanium for oral implant? A critical review.
J Prosthodont Res. 2018;62(2):121-133.
59. Kniha K, Bock A, Peters F, Heitzer M, Modabber A, Kniha H, Holzle F, Mohlhenrich SC.
Aesthetic aspects of adjacent maxillary single-crown implants-influence of zirconia and titanium as implant materials.
Int J Oral Maxillofac Surg. 2020;49(11):1489-1496.
60. Arzt T, Merten HA, A P.
ZrO₂-Keramimplantate
Humanhistologische Aspekte eines innovativen Implantatwerkstoffes.
Implantologie Journal. 2009;13:26-29.
61. Clever K, Schlegel KA, Kniha H, Conrads G, Rink L, Modabber A, Holzle F, Kniha K.
Experimental peri-implant mucositis around titanium and zirconia implants in comparison to a natural tooth: part 1-host-derived immunological parameters.
Int J Oral Maxillofac Surg. 2019;48(4):554-559.
62. Roehling S, Astasov-Frauenhoffer M, Hauser-Gerspach I, Braissant O, Woelfler H, Waltimo T, Kniha H, Gahlert M.
In Vitro Biofilm Formation on Titanium and Zirconia Implant Surfaces.
J Periodontol. 2017;88(3):298-307.
63. Lindhe J, Meyle J, Periodontology GDoE Wo.
Peri-implant diseases: Consensus Report of the Sixth European Workshop on Periodontology.
J Clin Periodontol. 2008;35(8 Suppl):282-285.
64. Scarano A, Piattelli M, Caputi S, Favero GA, Piattelli A.
Bacterial adhesion on commercially pure titanium and zirconium oxide disks: an in vivo human study.
J Periodontol. 2004;75(2):292-296.
65. Clever K, Schlegel KA, Kniha H, Conrads G, Rink L, Modabber A, Holzle F, Kniha K.
Experimental peri-implant mucositis around titanium and zirconia implants in comparison to a natural tooth: part 2-clinical and microbiological parameters.
Int J Oral Maxillofac Surg. 2019;48(4):560-565.

66. Tarnow DP.
Increasing Prevalence of Peri-implantitis: How Will We Manage?
J Dent Res. 2016;95(1):7-8.
67. Mombelli A, Lang NP.
Clinical parameters for the evaluation of dental implants.
Periodontol 2000. 1994;4:81-86.
68. Singh VP, Uppoor AS, Nayak DG, Shah D.
Black triangle dilemma and its management in esthetic dentistry.
Dent Res J (Isfahan). 2013;10(3):296-301.
69. 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. 1992;63(12):995-996.
70. Yu YC, Alamri A, Francisco H, Cho SC, Hirsch S.
Interdental Papilla Length and the Perception of Aesthetics in Asymmetric Situations.
Int J Dent. 2015;2015:125146.
71. Karthik K, Sivakumar, Sivaraj, Thangaswamy V.
Evaluation of implant success: A review of past and present concepts.
J Pharm Bioallied Sci. 2013;5(Suppl 1):S117-119.
72. Smith DE, Zarb GA.
Criteria for success of osseointegrated endosseous implants.
J Prosthet Dent. 1989;62(5):567-572.
73. Brånemark PI.
Osseointegration and its experimental background.
J Prosthet Dent. 1983;50(3):399-410.
74. Kniha K, Schlegel KA, Kniha H, Modabber A, Holzle F, Kniha K.
Evaluation of peri-implant bone levels and soft tissue dimensions around zirconia implants-a three-year follow-up study.
Int J Oral Maxillofac Surg. 2018;47(4):492-498.
75. Kniha K, Gahlert M, Hicklin S, Bragger U, Kniha H, Milz S.
Evaluation of Hard and Soft Tissue Dimensions Around Zirconium Oxide Implant-Supported Crowns: A 1-Year Retrospective Study.
J Periodontol. 2016;87(5):511-518.
76. Chu SJ, Tarnow DP, Tan JH, Stappert CF.
Papilla proportions in the maxillary anterior dentition.
Int J Periodontics Restorative Dent. 2009;29(4):385-393.
77. Bormann KH, Gellrich NC, Kniha H, Schild S, Weingart D, Gahlert M.
A prospective clinical study to evaluate the performance of zirconium dioxide dental implants in single-tooth edentulous area: 3-year follow-up.
BMC Oral Health. 2018;18(1):181.

78. Payer M, Arnetzl V, Kirmeier R, Koller M, Arnetzl G, Jakse N.
Immediate provisional restoration of single-piece zirconia implants: a prospective case series - results after 24 months of clinical function.
Clin Oral Implants Res. 2013;24(5):569-575.
79. Roehling S, Woelfler H, Hicklin S, Kniha H, Gahlert M.
A Retrospective Clinical Study with Regard to Survival and Success Rates of Zirconia Implants up to and after 7 Years of Loading.
Clin Implant Dent Relat Res. 2016;18(3):545-558.
80. Lorenz J, Giulini N, Holscher W, Schwiertz A, Schwarz F, Sader R.
Prospective controlled clinical study investigating long-term clinical parameters, patient satisfaction, and microbial contamination of zirconia implants.
Clin Implant Dent Relat Res. 2019;21(2):263-271.
81. Monsour PA, Dudhia R.
Implant radiography and radiology.
Aust Dent J. 2008;53 Suppl 1:S11-25.
82. Chopra A, Mhapuskar AA, Marathe S, Nisa SU, Thopte S, Saddiwal R.
Evaluation of Osseointegration in Implants using Digital Orthopantomogram and Cone Beam Computed Tomography.
J Contemp Dent Pract. 2016;17(11):953-957.
83. Gupta S, Patil N, Solanki J, Singh R, Laller S.
Oral Implant Imaging: A Review.
Malays J Med Sci. 2015;22(3):7-17.
84. Schulze R, Krummenauer F, Schalldach F, d'Hoedt B.
Precision and accuracy of measurements in digital panoramic radiography.
Dentomaxillofac Radiol. 2000;29(1):52-56.
85. Park JB.
The evaluation of digital panoramic radiographs taken for implant dentistry in the daily practice.
Med Oral Patol Oral Cir Bucal. 2010;15(4):e663-666.
86. Meijer HJ, Steen WH, Bosman F.
A comparison of methods to assess marginal bone height around endosseous implants.
J Clin Periodontol. 1993;20(4):250-253.
87. Athota A, Gandhi Babu D, Nagalaxmi V, Raghoji S, Waghray S, Reddy C.
A comparative study of digital radiography, panoramic radiography, and computed tomography in dental implant procedures.
Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology. 2017;29(2):106-110.
88. Chen MC, Liao YF, Chan CP, Ku YC, Pan WL, Tu YK.
Factors influencing the presence of interproximal dental papillae between maxillary anterior teeth.
J Periodontol. 2010;81(2):318-324.

89. 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(9):1541-1547.
90. Lee DW, Park KH, Moon IS.
Dimension of interproximal soft tissue between adjacent implants in two distinctive implant systems.
J Periodontol. 2006;77(6):1080-1084.
91. 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(10):1364-1371.
92. Tarnow DP, Cho SC, Wallace SS.
The effect of inter-implant distance on the height of inter-implant bone crest.
J Periodontol. 2000;71(4):546-549.
93. 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(12):2260-2265.
94. Kolte A, Kolte R, Bodhare G.
Association between the central papilla and embrasure crown morphology in different gingival biotypes - a cross-sectional study.
Int J Esthet Dent. 2016;11(4):550-563.
95. Afrashtehfar KI, Assery MKA, Bryant SR.
Aesthetic Parameters and Patient-Perspective Assessment Tools for Maxillary Anterior Single Implants.
Int J Dent. 2021;2021:1-9.
96. Hartmann A, Seiler M, Oeschey P, Dreyling M, Heinig N, Beuer F.
Evaluation der Ästhetik durch unterschiedliche Fachdisziplinen mittels Pink Esthetic Score.
Implantologie. 2013;21(3):321-328.
97. Barone A, Toti P, Quaranta A, Derchi G, Covani U.
The Clinical Outcomes of Immediate Versus Delayed Restoration Procedures on Immediate Implants: A Comparative Cohort Study for Single-Tooth Replacement.
Clin Implant Dent Relat Res. 2015;17(6):1114-1126.
98. Bassir SH, El Kholly K, Chen CY, Lee KH, Intini G.
Outcome of early dental implant placement versus other dental implant placement protocols: A systematic review and meta-analysis.
J Periodontol. 2019;90(5):493-506.

99. Lang NP, Tonetti MS, Suvan JE, Pierre Bernard J, Botticelli D, Fourmouis I, Hallund M, Jung R, Laurell L, Salvi GE, Shafer D, Weber HP, European Research Group on P.
Immediate implant placement with transmucosal healing in areas of aesthetic priority. A multicentre randomized-controlled clinical trial I. Surgical outcomes.
Clin Oral Implants Res. 2007;18(2):188-196.
100. Tonetti MS, Cortellini P, Graziani F, Cairo F, Lang NP, Abundo R, Conforti GP, Marquardt S, Rasperini G, Silvestri M, Wallkamm B, Wetzel A.
Immediate versus delayed implant placement after anterior single tooth extraction: the timing randomized controlled clinical trial.
J Clin Periodontol. 2017;44(2):215-224.
101. Canellas J, Medeiros PJD, Figueredo C, Fischer RG, Ritto FG.
Which is the best choice after tooth extraction, immediate implant placement or delayed placement with alveolar ridge preservation? A systematic review and meta-analysis.
J Craniomaxillofac Surg. 2019;47(11):1793-1802.
102. Esposito M, Grusovin MG, Polyzos IP, Felice P, Worthington HV.
Timing of implant placement after tooth extraction: immediate, immediate-delayed or delayed implants? A Cochrane systematic review.
Eur J Oral Implantol. 2010;3(3):189-205.
103. Francisco H, Marques D, Pinto C, Aiquel L, Carames J.
Is the timing of implant placement and loading influencing esthetic outcomes in single-tooth implants?-A systematic review.
Clin Oral Implants Res. 2021;32 Suppl 21:28-55.
104. Schropp L, Wenzel A, Stavropoulos A.
Early, delayed, or late single implant placement: 10-year results from a randomized controlled clinical trial.
Clin Oral Implants Res. 2014;25(12):1359-1365.
105. Tarnow D, Elian N, Fletcher P, Froum S, Magner A, Cho SC, Salama M, Salama H, Garber DA.
Vertical distance from the crest of bone to the height of the interproximal papilla between adjacent implants.
J Periodontol. 2003;74(12):1785-1788.
106. Kniha K, Modabber A, Kniha H, Mohlhenrich SC, Holzle F, Milz S.
Dimensions of hard and soft tissue around adjacent, compared with single-tooth, zirconia implants.
Br J Oral Maxillofac Surg. 2018;56(1):43-47.
107. Pellizzer EP, Marcela de Luna Gomes J, Araujo Lemos CA, Minatel L, Justino de Oliveira Limirio JP, Dantas de Moraes SL.
The influence of crown-to-implant ratio in single crowns on clinical outcomes: A systematic review and meta-analysis.
J Prosthet Dent. 2021;126(4):497-502.

108. Roehling S, Schlegel KA, Woelfler H, Gahlert M.
Zirconia compared to titanium dental implants in preclinical studies-A systematic review and meta-analysis.
Clin Oral Implants Res. 2019;30(5):365-395.
109. Karoussis IK, Bragger U, Salvi GE, Burgin W, Lang NP.
Effect of implant design on survival and success rates of titanium oral implants: a 10-year prospective cohort study of the ITI Dental Implant System.
Clin Oral Implants Res. 2004;15(1):8-17.
110. Roos-Jansaker AM, Lindahl C, Renvert H, Renvert S.
Nine- to fourteen-year follow-up of implant treatment. Part I: implant loss and associations to various factors.
J Clin Periodontol. 2006;33(4):283-289.
111. Backhaus T, Kreppel M.
Periimplantitis - Das sollte man wissen.
ZWP online, 2015 [verfügbar unter: <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/implantologie/komplikationsmanagement/periimplantitis-das-sollte-man-wissen>].
112. Heitz-Mayfield LJ.
Peri-implant diseases: diagnosis and risk indicators.
J Clin Periodontol. 2008;35(8 Suppl):292-304.
113. Schwarz F, Derks J, Monje A, Wang HL.
Peri-implantitis.
J Periodontol. 2018;89 Suppl 1:S267-S290.
114. Roehling S, Gahlert M, Janner S, Meng B, Woelfler H, Cochran DL.
Ligature-Induced Peri-implant Bone Loss Around Loaded Zirconia and Titanium Implants.
Int J Oral Maxillofac Implants. 2019;34(2):357-365.
115. Hellwig E, Schäfer E, Klimek J, Attin T.
Einführung in die Zahnerhaltung.
Köln: Deutscher Ärzte-Verlag; 2018.
116. Degidi M, Artese L, Scarano A, Perrotti V, Gehrke P, Piattelli A.
Inflammatory infiltrate, microvessel density, nitric oxide synthase expression, vascular endothelial growth factor expression, and proliferative activity in peri-implant soft tissues around titanium and zirconium oxide healing caps.
J Periodontol. 2006;77(1):73-80.
117. Blume O, Schnödt EM, Back M, Wildenhof JI, Probst FA, Otto S.
Long-Term Efficacy of Variable-Thread Tapered Implants-A Retrospective, Clinical and Radiological Evaluation.
Medicina (Kaunas). 2020;56(11).

118. Roos-Jansaker AM, Lindahl C, Renvert H, Renvert S.
Nine- to fourteen-year follow-up of implant treatment. Part II: presence of peri-implant lesions.

J Clin Periodontol. 2006;33(4):290-295.

119. Osman RB, Swain MV, Atieh M, Ma S, Duncan W.
Ceramic implants (Y-TZP): are they a viable alternative to titanium implants for the support of overdentures? A randomized clinical trial.

Clin Oral Implants Res. 2014;25(12):1366-1377.

Danksagung

Für die Themenstellung, die hervorragende wissenschaftliche Betreuung und die engagierte Unterstützung bei den Untersuchungen bedanke ich mich herzlichst bei Herrn Professor Dr. med. Dr. med. dent. Heinz Kniha und Herrn Privatdozent Dr. med. dent. Kristian Kniha.

Daneben bedanke ich mich beim gesamten Praxisteam der Praxis für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Kniha, Schlegel und Kollegen in München für die problemlose Zusammenarbeit.

Ferner gilt mein Dank Frau Univ-Prof. Dr. Anja Liebermann, M. Sc., und Herrn Privatdozent Dr. med. Dr. med. dent. Gerson Mast für die Mitbetreuung der Arbeit.

Abschließend widme ich diese Arbeit meinen Eltern. Ihnen danke ich für die uneingeschränkte Unterstützung und den stetigen Zuspruch während meines Studiums und bei der Anfertigung dieser Dissertation.

Affidativ

Eidesstaatliche Versicherung

Kiechle, Stella

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

Klinische und radiologische Bewertung von einteiligen vollkeramischen Dentalimplantaten aus Zirkoniumdioxid – eine Langzeit-Follow-up-Studie

selbstständig 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.

München, den 19.09.2023

Ort, Datum

Stella Kiechle

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand

Publikation

Das zur Dissertation zugehörige Paper

„Evaluation of one-piece zirconia dental implants: An 8-year follow-up study“

wurde am 25.02.2023 von der Fachzeitschrift

„Clinical Oral Investigations“ (Springer Verlag)

zur Publikation angenommen und wird im Laufe des Jahres 2023 veröffentlicht.