

DIPLOMARBEIT

Vollkeramische Sofortversorgung einteiliger Zirkonoxidimplantate bis zu klinischen Ergebnissen nach 4 Jahren

eingereicht von

Elisabeth Amberger

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Zahnheilkunde (Dr.ⁱⁿ med. dent.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

klinischen Abteilung für Orale Chirurgie

der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz

unter der Anleitung von

Assoz.-Prof. Priv.-Doz. Dr. med. univ. Dr. med. dent. et scient.
med. Michael Payer

&

Univ.-Prof. Dr. med. univ. Dr. med. dent.
Norbert Jakse

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 27. Februar 2015

Elisabeth Amberger

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle von ganzem Herzen bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich über die ganze Studiendauer hinweg unterstützt und mich immer wieder motiviert haben.

Außerdem gebührt allen, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit angeleitet haben Dank. Im Besonderen möchte ich hierbei die Herrn Assoz.-Prof. Priv.-Doz. DDr. Michael Payer, Univ.-Prof. DDr. Norbert Jakse, Dr. Martin Koller und Frau DI Irene Mischak erwähnen.

Des Weiteren bedanke ich mich bei allen Angehörigen der MedUni Graz, welche mir im Laufe meines Studiums das Wissen rund um die Zahnmedizin näher gebracht und mich die nötigen praktischen Fertigkeiten gelehrt haben.

In dieser Arbeit wird die von der Medizinischen Universität Graz geforderte geschlechtergerechte Schreibweise verwendet. Sollte dies fallweise nicht geschehen sein, steht das generische Maskulinum stellvertretend für die feminine und maskuline Form.

Kurzfassung

Schlüsselworte: dentale Implantate, Zirkoniumdioxid, Titan

Ziel: Das Ziel dieser Arbeit ist es, anhand einer klinischen Langzeitkontrolle herauszufinden, ob es sich bei Zirkoniumdioxid um eine mögliche Alternative für Reintitan handeln kann. Außerdem soll sowohl das objektive als auch das subjektive Empfinden des Ergebnisses untersucht werden. Aufgrund weniger dokumentierter klinischer Nachuntersuchungsergebnisse über einen längeren Zeitraum, wurde eine ebensolche Kontrolle von Zirkoniumdioxidimplantaten durchgeführt. Es wurde das Implantatsystem whiteSKY der Firma Bredent (Senden, Deutschland) verwendet.

Material: Von ursprünglich 20 PatientInnen konnten 3 die Studienkriterien nicht erfüllen und mussten ausgeschlossen werden. Im Laufe der ersten 3 Monate ging 1 Implantat, aufgrund der erst bei der letzten Umdrehung erreichten Primärstabilität, verloren. Dieses wurde aus der Folgeuntersuchung ausgeschlossen. Von den verbleibenden 16 Implantaten konnten 11 Patientinnen und Patienten für die Kontrolluntersuchung erreicht werden. Davon waren 5 weibliche und 6 männliche Personen, mit einem durchschnittlichen Alter von 52,4 Jahren (30,3a bis 74,4a). Die Nachuntersuchung erfolgte über einen Zeitraum von 48 bis zu 60 Monaten, wobei die durchschnittliche Implantatliegedauer 52,5 Monate (Standardabweichung [SD] $\pm 3,8$) beträgt.

Methoden: Bestimmt wurden der Pink Esthetic Score (PES), die beiden parodontalen Indices Bleeding on Probing (BOP) und Plaqueindex (PI) inklusive der Erhebung des Gesamtsondierungsstatus, die Knochenresorptionsrate, die Ausdehnung der keratinisierten Gingiva an der Implantatposition sowie die subjektive Zufriedenheit der ProbandInnen.

Ergebnisse: Die Überlebensrate beträgt 94,1%. Die durchschnittlichen Ergebnisse der letzten Kontrolluntersuchung erreichen für den PES Werte von 10,8 Punkten (SD $\pm 1,7$). Der BOP beträgt 10,5% (SD $\pm 6,8$). Beim PI liegen die Ergebnisse bei 10,1% (SD $\pm 4,8$). Die Knochenresorptionsrate beträgt durchschnittlich 0,57mm (SD $\pm 0,68$). Die keratinisierte Gingiva erreicht Ausmaße von 3,8mm (SD ± 1). Subjektiv sind die PatientInnen sehr zufrieden mit dem Gesamtergebnis und geben an, dass sich ihre Lebensqualität durch die Implantation verbessert hat.

Schlussfolgerung: Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse, stellen die Zirkoniumdioxidimplantate bei diesem PatientInnenkollektiv eine mögliche Alternative zu Titanimplantaten dar. Vor allem die ästhetischen Ergebnisse der Weichgewebsadaptation sind durchaus positiv. Allerdings ist das Kollektiv sehr klein und nicht ausreichend repräsentativ. Des Weiteren sollte bedacht werden, dass die Langzeiterfahrungen mit Titanimplantaten deutlich zahlreicher vorhanden und umfangreicher dokumentiert sind. Daher ist es sinnvoll weitere Untersuchungen für Zirkoniumdioxid anzuschließen.

Abstract

Key words: dental implants, zirconia, titanium

Background: The aim of this study is to determine whether zirconia could be a possible alternative for pure titanium based on a long-term clinical control. It also purposes to examine both the objective and the subjective perception of the result. Because there are less documented clinical follow-up results over a longer period of time, this control of zirconia implants was performed. In this study the implant system whiteSKY of the company Bredent (Senden, Germany) was used.

Materials: Out of primary 20 patients 3 had to be excluded because they couldn't achieve the study criteria. During the first 3 months another implant was lost, due to the primary stability witch could not be reached before the last turn. That case was excluded from subsequent analysis. Of the remaining 16 implants 11 patients could be attained for the examination. This group consists of 5 females and 6 males with an average age of 52.4 years (30,3a to 74,4a). The follow-up was carried out over a period of 48 to 60 months. The implants are in situ over an average duration of 52.5 months (standard deviation [SD] \pm 3.8).

Methods: Determined were the pink esthetic score (PES), the two periodontal indices bleeding on probing (BOP) and plaque index (PI), including the elevation of the total periodontal status, the bone resorption, the dimension of the keratinized gingiva at the implant position as well as the subjective satisfaction of the study participants.

Results: The overall survival rate is 94.1%. The mean results of the last examination are 10.8% points (SD \pm 1.7) for the PES, the BOP reaches 10.5% (SD \pm 6.8) and the PI 10.1% (SD \pm 4.8). The bone resorption averages 0.57mm (SD \pm 0.68). The mean width of the keratinized gingiva is 3.8mm (SD \pm 1). Subjectively the patients are very satisfied with the overall result and indicate that their quality of life has improved by the implantation.

Conclusion: With the limitations of this study and a small population of patients, which is not enough representative, zirconia seems to be a suitable alternative for titanium implants in that group of patients because of the collected (available) outcomes. Especially the results of soft tissue adaptation in the periimplant area are quite positive. Furthermore we have to think about the numerous available data in literature about long term experience with titanium implants which are documented extensively. Therefor it is necessary to do adjacent research for zirconia.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Geschichte/Entwicklung der Implantologie.....	1
1.2	Indikationen	4
1.3	Materialien und Implantatdesign	6
2	Titan- vs. Zirkoniumdioxid-Implantate	8
2.1	Zirkoniumdioxid als Implantatwerkstoff	15
2.2	Titanunverträglichkeit.....	19
3	ein- vs. zweiteilige (Zirkoniumdioxid)Implantate	23
3.1	Mikrospalt	23
4	Periimplantitis	26
	klinische Untersuchung	28
5	Material	28
6	Methoden (klinische Untersuchungen)	29
6.1	Merkmale des PatientInnenkollektives	30
6.2	Pink Esthetic Score.....	31
6.3	Bleeding on Probing / Plaque Index.....	33
6.4	keratinisierte Gingiva	35
6.5	radiologische Untersuchung.....	36
6.6	subjektives Empfinden der PatientInnen	37
7	Ergebnisse der klinischen Untersuchung	38
7.1	Merkmale des PatientInnenkollektives / allgemeine Ergebnisse	38
7.2	Pink Esthetik Score (PES)	41
7.3	Sondierungsstatus inkl. BOP und PI	42
7.4	Ausdehnung der keratinisierten Gingiva	45
7.5	radiologische Untersuchung.....	46
7.6	subjektives Empfinden der PatientInnen	49
8	Diskussion	50
8.1	Interpretation der Ergebnisse.....	50
8.2	Methodische Einschränkungen & Empfehlungen – Stärken und Schwächen der Studie	53
9	Literaturverzeichnis	54

Abkürzungen

AAP	American Academy of Peridontology
BIC	bone implant contact
BOP	Bleeding on Probing
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
DGI	Deutsche Gesellschaft für Implantologie
DGUZ	Deutsche Gesellschaft für Umwelt-Zahnmedizin
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
ECT	Epikutantest
IgE	Immunglobulin E
IL-1 / IL-6	Interleukin-1 / Interleukin-6
IL-1RN	Interleukin-1-Rezeptorantagonist-Gen
Ko	Kontrolle
KV	Knochenverlust
LTT	Lymphozytentransformationstest
mm	Millimeter
	µm Mikrometer
	mol% Molprozent (Stoffmengenprozent)
Ncm	Newton-Zentimeter
OK	Oberkiefer
OR	Odds Ratio
Pat.	Patientin / Patient
PES	Pink Esthetic Score
PGU	Parodontale Grunduntersuchung
PI	Plaque Index nach O'Leary
ppm	parts per million
RTQ-Test	Removal Torque Test
SD	standard deviation / Standardabweichung
TNFα	Tumor-Nekrose-Faktor-α
UK	Unterkiefer
WES	White Esthetic Score

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: **Möglichkeiten der Implantatverankerung**
Reitemeier B., Schwenzer N., Ehrenfeld M. (2006):
Einführung in die Zahnmedizin, Thieme Verlag, Stuttgart; 202
- Abbildung 2: **Implantatfraktur**
Gahlert M., Burtscher D., Grunert I., Kniha H., Steinhauser E. (2012):
Failure analysis of fractured dental zirconia implants. Clin. Oral Impl. Res., 23;
289
- Abbildung 3: **Knochenmatrixanlagerung an Implantaten**
Depprich R., Zipprich H., Ommerborn M., Mahn E., Lammers L., Handschel J.,
Naujoks C., Wiesmann H.-P., Kübler N.R., Meyer U. (2008):
Osseointegration of zirconia implants: an SEM observation of the bone-implant
interface. Head & Face Medicine, 4, 25, [http://www.head-face-
med.com/content/4/1/25](http://www.head-face-med.com/content/4/1/25)
- Abbildung 4: **Beispiel einer intraoralen Aufnahme**
zur Verfügung gestellt von Dr. Koller, klinische Abteilung für Zahnersatzkunde
an der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz
- Abbildung 5: **Sondierungsstatus**
Parodontaler Befundbogen der Fa. HPL Software KG, Dentalsoftware
WinDent^R (Graz, Österreich) – Klinische Abteilung für Parodontologie an der
Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz
- Abbildung 6: **Plaquesindex und Bleeding on Probing**
Parodontaler Befundbogen der Fa. HPL Software KG, Dentalsoftware
WinDent^R (Graz, Österreich) – Klinische Abteilung für Parodontologie an der
Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz
- Abbildung 7: **Kleinbildröntgen Implantat 46**
Klinische Abteilung für Röntgenologie an der Universitätsklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde Graz
- Abbildung 8: **Kaplan-Meier Kurve**
zur Verfügung gestellt von DI Mischak Irene, Universitätsklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde Graz
- Abbildung 9: **Diagramm „Pink Esthetic Score“**
zur Verfügung gestellt von DI Mischak Irene, Universitätsklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde Graz
- Abbildung 10: **Diagramm „Bleeding On Probing“**
zur Verfügung gestellt von DI Mischak Irene, Universitätsklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde Graz
- Abbildung 11: **Diagramm „Plaque Index“**
zur Verfügung gestellt von DI Mischak Irene, Universitätsklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde Graz
- Abbildung 12: **Vergleichsdiagramm „durchschnittlicher PI und BOP“**
zur Verfügung gestellt von DI Mischak Irene, Universitätsklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde Graz

Abbildung 13: **Diagramm „Knochenverlust mesial und distal gemittelt“**
zur Verfügung gestellt von DI Mischak Irene, Universitätsklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde Graz

Abbildung 14: **Diagramm „durchschnittlicher Knochenverlust“**
zur Verfügung gestellt von DI Mischak Irene, Universitätsklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde Graz

Abbildung 15: **Vergleichsdiagramm „tolerabler vs. tatsächlicher Knochenverlust“**
zur Verfügung gestellt von DI Mischak Irene, Universitätsklinik für Zahn-,
Mund- und Kieferheilkunde Graz

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: **5- bzw. 10-Jahres Überlebensraten von festsitzenden Versorgungen**
Pjeturson B.E., Brägger U., Lang N.P., Zwahlen M. (2007):
Clin. Oral Impl. Res. 18 (Suppl. 3), 97-113
- Tabelle 2: **Häufigkeitsverteilung der Implantate in Bezug auf die Insertionsposition**
eigene Darstellung
- Tabelle 3: **Verteilung der Implantatdurchmesser in Bezug auf die Position der Implantate**
eigene Darstellung
- Tabelle 4: **Häufigkeitsverteilung für die Ausdehnung der keratinisierten Gingiva**
eigene Darstellung
- Tabelle 5: **Ausdehnung der keratinisierten Gingiva in Bezug auf die Implantatposition**
eigene Darstellung

1 Einleitung

1.1 Geschichte/Entwicklung der Implantologie

Als Implantat beschreibt man in der Medizin alloplastisches Gewebe, welches in den Körper eingepflanzt wird, um dort bestimmte Funktionen zu übernehmen. Das Wort leitet sich aus dem Lateinischen „in = hinein“ und „plantare = pflanzen“ ab (Duden, 2000: 492).

Im zahnmedizinischen Sinne handelt es sich dabei um die Funktion restaurativen oder prothetischen Zahnersatz zu befestigen beziehungsweise (bzw.) abzustützen und durch Zahnverlust entstandene Lücken aufzufüllen.

Vor mehr als 40 Jahren waren die zahnärztlichen Implantate eine Neuheit in diesem Bereich der Medizin. Mittlerweile sind sie ein unverzichtbarer Bestandteil im Behandlungsspektrum beinahe jeder Zahnärztin / jedes Zahnarztes und eine gern gesehene Ergänzung im prothetisch-restaurativen Therapiekonzept. Die Möglichkeit der Implantation stellt, neben dem Erhalt der natürlichen Zähne, die einzige Versorgungsvariante dar, die der Inaktivitätsatrophie des Alveolarknochens entgegenwirkt. Vergleiche dazu: *„Der Zahnverlust und der damit verbundene Verlust der funktionellen Belastung des Alveolarfortsatzes führt zu Remodellationsprozessen mit Reduktion des vertikalen und transversalen Knochenangebots. Druckbelastende abnehmbare prothetische Versorgungen, wie Teil- und Totalprothesen verstärken diese Vorgänge. Diesen Knochenabbau möglichst hintanzustellen, muss Aufgabe einer verantwortungsvollen Zahnheilkunde sein.“* (Piehslinger, 2006: 334).

Der erste Versuch der Implantation mittels eines, aus einer Platin-Iridium-Legierung bestehenden, korbformigen Hohlimplantates wurde vom Amerikaner E. J. Greenfield im Jahr 1913 unternommen. 1937 gelang es A. E. Strock dann eine Schraube aus dem so genannten Vitallium (Chrom-Kobalt-Molybdän-Legierung) enossal zu fixieren (Reitemeier, 2006: 202).

Ende der 1940er Jahre wurde von M. Formiggini eine Heliokolloidal-Schraube empfohlen, welche aus Tantal hergestellt wurde. Er wird seither oftmals als Vater der modernen Implantologie bezeichnet. Über einen kurzen Umweg zu subperiostal gesetzten Implantaten kam man in den 1970er Jahren wieder zurück zur enossalen Implantation. Diese wurde zu dieser Zeit vor allem durch L. I. Linkow und P.-I. Branemark geprägt. Von Linkow wurde das Blattimplantat angewandt, welches bei einem vorliegenden Entzündungsgeschehen aufgrund seiner großen Ausdehnung jedoch zu großen Knochendefekten führte, weswegen dieser Implantattypus wieder weitestgehend verlassen wurde. Das Branemark-Implantatsystem hingegen wird heute noch verwendet (Schwenzer, 2009: 227).

In den letzten Jahrzehnten entwickelte sich das Gebiet der Implantologie vom Verankerungssystem für abnehmbare Prothesen im zahnlosen Kiefer über Einzelzahnimplantate, vor allem im Frontzahnbereich, zur unverzichtbaren

Behandlungsoption im prothetisch-restaurativen Versorgungskonzept, was dadurch bekräftigt wird, dass implantatgetragener Zahnersatz bei beinahe allen Indikationen Anwendung findet und so die ursprünglichen Behandlungsmaßnahmen zusehends verdrängt. Dazu wurden 2005 von der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) und der Deutschen Gesellschaft für Implantologie (DGI) folgende Indikationsrahmen festgelegt:

- Wenn ohne Implantate keine funktionell befriedigende Versorgung möglich ist (zum Beispiel bei extremer Kieferkammatrophy oder ausgedehnter Tumorresektion).
- Wenn die implantatgetragene Versorgung funktionelle oder strukturelle Vorteile im Vergleich zur herkömmlichen Behandlungsvariante bietet.
- Wenn durch alternative Maßnahmen keine funktionell vergleichbaren Ergebnisse zu erzielen sind (Strub, 2001: 925f).

Wie bereits erwähnt, wird ein alloplastisches Material, welches in den Kieferknochen eingebracht wird, um den Zahnersatz zu befestigen, als dentales Implantat bezeichnet. Die in der allgemeinen Chirurgie benutzten Implantate (wie zum Beispiel Hüftgelenksprothesen) sind nach ihrer Einheilung überall von lebendem Gewebe umgeben. Im Gegensatz dazu perforieren dentale Implantate die Schleimhaut. Demzufolge handelt es sich hierbei um offene Implantate, welche ständig mit der keimbesiedelten Mundhöhle in Verbindung stehen.

Enossale Implantate gelten als Implantate der Wahl und sind direkt im Knochen verankert. Allerdings ist es auch möglich diese subperiostal, transossal und transdental zu setzen (siehe Abb. 1).

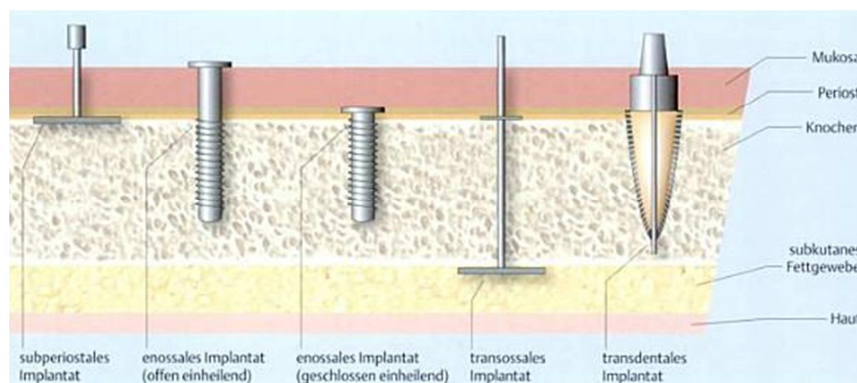


Abb. 1: Möglichkeiten der Implantatverankerung (Reitemeier, 2006: 202).

Bezogen auf den Zeitraum zwischen Zahnverlust und Implantation unterscheidet man zwischen Sofort-, verzögerten oder Spätimplantaten. Bei Sofortimplantaten wird, wie es der Name schon sagt, unmittelbar nach der Extraktion implantiert. Verzögerte Implantate werden 4-6 Wochen nach Zahnverlust, Spätimplantate erst nach knöcherner Ausheilung der Alveole, gesetzt.

Enossale Implantate werden als Halteelemente für abnehmbaren Zahnersatz oder für festsitzende Versorgungen als Pfeiler eingesetzt. Einen wichtigen Faktor in der Implantologie stellt in diesem Zusammenhang die Osseointegration dar (Strub, 2001: 923). Unter diesem Begriff versteht man einen im lichtmikroskopischen Bereich sichtbaren, direkten funktionellen und strukturellen Verbund zwischen dem organisierten, lebenden Knochengewebe und der Oberfläche eines belasteten Implantates (Branemark, 1985).

Die in der Zahnmedizin gebräuchlichen Implantate sind heutzutage üblicherweise aus Reintitan oder Zirkoniumdioxidkeramik. Außerdem zeichnen sie sich durch unterschiedliche Oberflächenstrukturen, ein- oder zweiteiligen Aufbau mit verschiedenen Innen- oder Außenverbindungen sowie durch variierende Formen aus. Am häufigsten werden zweiteilige Reintitanimplantate verwendet. Sie bestehen aus einem Implantatkörper und einem Implantataufbau, welcher auch als Abutment bezeichnet wird. Diese werden meist mittels Schrauben mit dem Implantatkörper verbunden. An diesem Abutment wird der festsitzende Zahnersatz durch Zementierung oder Verschraubung verankert. Der abnehmbare Zahnersatz hingegen wird über spezielle Retentionselemente mit dem Implantat vereint. Speziell bei Zirkoniumdioxidimplantaten finden einteilige Varianten Anwendung. In diesem Fall müssen die in die Mundhöhle ragenden Implantatanteile individuell beschliffen werden, um sie für den jeweiligen Zahnersatz passend zu gestalten.

Heutzutage kann man bereits zwischen sehr vielen verschiedenen Implantatsystemen wählen. Daher wurden nach dem Frankfurter Konsensus für Implantologie im Jänner 1991 allgemeine Forderungen für Implantatsysteme gestellt, damit ein routiniertes und praxistaugliches Arbeiten möglich ist. Dabei sollte ein solches alltagstaugliches Implantatsystem auf ausreichende klinische Erfahrungsberichte verweisen können. Ein geeignetes Material und Design sind dabei als Voraussetzung zu betrachten. Es sollte ein für das System spezifisches Präparationsinstrumentarium mit geeignetem Kühlsystem vorhanden sein. Auch auf die Möglichkeit der einfachen und sicheren Operationstechnik, der prothetischen Versorgbarkeit und der sterilen Entnahme des Implantates aus der Verpackung wurde dabei, neben noch ein paar anderen Faktoren, Bezug genommen (Bücking, 1995: 12).

1.2 Indikationen

Wie bei allen restaurativ-prothetischen Behandlungen muss im Vorfeld eine adäquate Anamnese, Befunderhebung und eine genaue Diagnosestellung des gesamten stomatognathen Systems erfolgen. Des Weiteren müssen die Patientinnen und Patienten über mögliche Alternativtherapien sowie die möglichen Folgen einer Unterlassung der Behandlung aufgeklärt werden.

In Bezug auf die Indikationsstellung muss individuell, je nach PatientInnenfall, genau gegenüber den konventionellen Behandlungsmöglichkeiten abgewogen werden (Strub, 2011: 927). Bevorzugte Indikationen stellen beispielsweise Einzelzahnlücken mit unversehrten Nachbarzähnen, lange zahnbegrenzte Lücken (im Speziellen auch bei fehlender Retention von Brückenversorgungen auf den Pfeilerzähnen oder zu erwartende parodontale Schäden), einseitig nicht zahnbegrenzte Lücken (um herausnehmbaren Zahnersatz vermeiden, oder das Kiefergelenk entlasten zu können) dar. Indikationen die den Kaukomfort und das Selbstwertgefühl der Patientin / des Patienten verbessern, liegen im Falle eines zahnlosen Kiefers mit einigermaßen gut erhaltenem Alveolarkamm und stark reduziertem Restgebiss mit keiner günstigen Pfeilerverteilung vor (Ludwig, 2002: 55).

Für den Fall, dass man sich für eine Versorgung mit Implantaten entscheidet, wurde im Rahmen der Konsensuskonferenz Implantologie 2014 eine „*Indikationsbeschreibung für die Regelfallversorgung in der Implantologie*“ erstellt (Konsensuskonferenz Implantologie, 2014).

Die Indikationen werden in 3 Klassen eingeteilt:

- Klasse I → Einzelzahnersatz
- Klasse II → reduzierter Restzahnbestand
- Klasse III → zahnloser Kiefer

○ Indikationsklasse I

- Frontzahnbereich – Indikationsklasse Ia
 - Fehlen in der Oberkiefer-Front bis zu vier Zähne und besteht an den Nachbarzähnen keine Behandlungsnotwendigkeit wird folgendes empfohlen → 1 Implantat je fehlendem Zahn
 - Für die Unterkiefer-Front lautet die Empfehlung unter denselben Voraussetzungen → 1 Implantat pro 2 fehlenden Zähnen
- Seitenzahnbereich – Indikationsklasse Ib
 - fehlen im Seitenzahnbereich einzelne Zähne der sonst geschlossenen Zahnreihe und liegt auch hier keine Behandlungsnotwendigkeit der Nachbarzähne vor → 1 Implantat je fehlendem Zahn

- Indikationsklasse II

Es gilt der Grundsatz, dass bei der Versorgung eines reduzierten Restgebisses die antagonistische Bezaehlung berücksichtigt werden muss. Außerdem sind die konventionellen prothetischen Richtlinien miteinzubeziehen.

- Lückengebiss – Indikationsklasse IIa

- für die festsitzende Versorgung im Oberkiefer gilt → 8 Pfeiler
- für die festsitzende Versorgung im Unterkiefer gilt → 6 Pfeiler
 - wenn natürliche Zähne an statisch günstigen Positionen stehen und kein potentiellcs Risiko für die Versorgung darstellen, können diese in die Anzahl der Pfeiler miteinbezogen werden
- herausnehmbare Versorgung im Oberkiefer → 6 Pfeiler
- im Unterkiefer → 4 Pfeiler
 - auch hier gilt bezüglich natürlicher Pfeilerzähne der selbe Grundsatz, wie für eine festsitzende Therapie

- Freiendsituation – Indikationsklasse IIb

- fehlen, unabhängig vom Quadranten, die Zähne 6 - 8 → 1 bis 2 Implantate
- fehlen die Zähne 5 - 8 → 2 bis 3 Implantate
- fehlen die Zähne 4 - 8 → 3 Implantate

- Indikationsklasse III

- zahnloser Oberkiefer – Indikationsklasse IIIa

- festsitzender Zahnersatz → 8 Implantate
- herausnehmbarer Zahnersatz → 6 Implantate

- zahnloser Unterkiefer – Indikationsklasse IIIb

- festsitzender Zahnersatz → 6 Implantate
- herausnehmbarer Zahnersatz → 4 Implantate

(Konsensuskonferenz Implantologie, 2014)

Bei gemischt getragenen Versorgungen ist allerdings besondere Vorsicht geboten, da die natürlichen Pfeilerzähne im Vergleich zu den Implantaten, eine – um den Faktor 10 – niedrigere Resilienz ausweisen. Außerdem bringt die Versorgungsmöglichkeit mit Implantaten den Vorteil, nicht behandlungsbedürftige Pfeilerzähne nicht in Mitleidenschaft ziehen zu müssen. So wurden zum Beispiel in einem systematischen Review von Pjeturson et al. aus dem Jahr 2007 die in der Tabelle 1 ersichtlichen Werte zur 5- bzw. 10-Jahres Überlebensrate von zahn-, zahn-implantat- und rein implantatgetragenen Versorgungen erhoben. Es zeigt sich, dass im Falle der konventionellen Versorgung einer Schallücke mit einer zahngetragenen Brücke eine rund 89%ige, im Vergleich zu einer 90%igen 10-Jahres-

Überlebensrate bei der Versorgung einer solchen Lücke mit einem Einzelzahnimplantat vorliegt. Noch deutlicher wird der Unterschied bei zahn-implantatgetragenen zu rein implantatgetragenen Brücken. Hier liegt die 10-Jahres-Überlebensrate bei 78% im Vergleich zu 87%.

Restaurationsart	5-Jahres-Überlebensrate [%]	10-Jahres-Überlebensrate [%]
konventionelle Zahngetragene Brücke	93,8	89,2
konventionelle Extensionsbrücke	91,4	80,3
rein implantatgetragene Brücke	95,2	86,7
zahn-implantatgetragene Brücke	95,5	77,8
Einzelzahn-Implantatkronen	94,5	89,4

Tab. 1: 5- bzw. 10-Jahres Überlebensraten von festsitzenden Versorgungungen (Pjetturson et al. 2007).

Anhand der Ergebnisse und der häufigsten Komplikationen, die ebenfalls im Zuge dieser Studie untersucht wurden, kam die Gruppe um Pjetturson zu dem Schluss, dass die Indikation einer Extensionsbrücke bzw. die Versorgung mit einer kombiniert getragenen Brücke nur im Falle des eindeutigen PatientInnenwunsches bzw. unter speziellen anatomischen Gegebenheiten oder als Alternativkonzept der 2. Wahl gestellt werden sollte (Pjetturson et al. 2007).

1.3 Materialien und Implantatdesign

Implantatwerkstoffe müssen entsprechend ihrer Funktion passende mechanische Eigenschaften aufweisen, um den anfallenden Belastungen standhalten zu können und hinsichtlich ihrer Verwendung im menschlichen Organismus biokompatibel sein.

Das häufigste und daher auch am besten untersuchte Material ist Reintitan. Es gehört zu den Leichtmetallen und wird aus Rutil oder Ilmenit gewonnen. Titan wird, je nach Gehalt der Zusatzelemente - welche zum Beispiel Sauerstoff und Eisen sind - in 4 Härtegrade eingeteilt. Entscheidend dabei ist, dass durch die unterschiedliche Zusammensetzung eine höhere Dehngrenze erreicht werden kann, die das Material beanspruchbarer werden lässt. Die Bandbreite für die 0,2%-Dehngrenze liegt dann zwischen 170 und 440MPa und kann durch Kaltverformung auf 520MPa gesteigert werden. Übertroffen werden diese Werte dann noch von Titanlegierungen, welche vor allem für Kleinteile, wie Schrauben, verwendet werden. Hierbei kann der Wert auf bis zu 800MPa erhöht werden.

Aufgrund der extrem hohen Sauerstoffaffinität von Titan bildet sich auf dessen Oberfläche praktisch sofort eine Oxidschicht aus, welche durch die Passivierung des Metalls dieses inert macht, was wiederum bedeutet, dass mit potentiellen Reaktionspartnern minimale bis keine Interaktion und somit auch praktisch keine Korrosion stattfindet (Strub, 2011: 974-976).

Zirkoniumdioxid ist eine Hochleistungskeramik. Die Besonderheit liegt an der Fähigkeit, die Volumensabnahme, welche durch die Phasenumwandlung, von einer

monoklinen Kristallstruktur zu einer tetragonalen Gitterstruktur die beim Erhitzen der Keramik entsteht, im umgekehrten Sinne nutzbar zu machen. Durch den Zusatz von Yttrium wird beim Abkühlen eine Rückumwandlung in die monokline Struktur unterbunden. Diese Stabilisierung bei Raumtemperatur wird jedoch im Falle einer mechanischen Überbelastung, wie sie an Rissspitzen entstehen kann, überwunden. Es kommt zur Rückumwandlung und damit wiederum zur entsprechenden Volumenzunahme. Durch den entstehenden Druck in der unmittelbaren Rissumgebung wird somit einer Rissausbreitung und damit der häufigsten Fehlerquelle von keramischen Materialien entgegen gewirkt (Strub, 2011: 984f). Für Zirkoniumdioxid kann eine Biegebruchfestigkeit von 900-1200 MPa, eine Vickers Härte von 1200 und ein Weibull Modul von 10-12 angegeben werden (Andreiotelli, 2009: 158-166).

Zu Beginn der Implantologie wurden auch noch Materialien wie Hydroxylapatit, Aluminiumoxid und Vitallium verwendet. Vitallium ist eine Kobalt-Chrom-Molybdän-Legierung, welche ab den späten 1920er Jahren in der Implantologie angewendet wurde (Gore et al., 2005: 673-686).

Hinsichtlich des Implantatdesigns unterscheidet man prinzipiell zwischen zylindrischen oder parallelwandigen, wobei hier auch gestuftes Zylinderdesign in Frage kommt, und konischen oder zylindrisch-konischen Implantaten. Des Weiteren gibt es auch wurzelförmige Mischformen, hierbei verjüngen sich die Implantate nach apikal im Durchmesser. Ein wichtiges Unterscheidungskriterium ist, ob es sich um ein Schrauben- oder ein Zylinderimplantat handelt. Beim Schraubenimplantat ist die Implantatoberfläche zusätzlich durch das Gewinde vergrößert. Das Einbringen ist aufgrund der Kongruenz zwischen Aufbereitungsinstrumentarium und Implantat recht exakt möglich, wodurch Drucknekrosen vorgebeugt werden soll und das umliegende Knochengewebe die Heilungsprozesse beginnen kann, um eine Osseointegration zu erzielen. Zylinderimplantate haften vor allem über die jeweilige Oberflächenbeschaffenheit und Perforationen. Erwähnen kann man an dieser Stelle nochmals die Blattimplantate, welche subperiostal verankert werden (Gutwald, 2010: 391).

Nicht zu vernachlässigen ist das Unterscheidungsmerkmal des ein- oder zweiteiligen Implantatdesigns, worauf später noch Bezug genommen wird.

Die Oberflächenbearbeitung, zur besseren Osseointegration, kann über verschiedene Verfahren geschehen. Diese sind Titan-Plasma-Flamed Beschichtungen, anodische Oxidation und Hydroxylapatit-Beschichtungen als additive Verfahren. Chemische Oberflächenbearbeitung wird mittels Säureätzung und mechanische über Sandstrahlen durchgeführt. Außerdem gibt es noch elektrochemische Verfahren oder Kombinationen aus Abstrahlen und Säureätzen, welche Anwendung finden (Ott, 2002: 416). Wie in allen Gebieten der Implantologie finden natürlich auch im Bereich der Oberflächenbearbeitung laufend neue Entwicklungen statt.

2 Titan- vs. Zirkoniumdioxid-Implantate

Reintitan als Standardimplantatmaterial wurde nun schon des Öfteren erwähnt, allerdings gelangt man, vor allem im ästhetisch wichtigen Bereich oder im Falle von gingivalen Rezessionen aufgrund der gräulichen Farbe, an die Grenzen dieses Materials. Außerdem wird man immer wieder mit dem PatientInnenwunsch nach einer metallfreien Versorgungsmöglichkeit konfrontiert. Daher ist man auf der Suche nach einer möglichen Alternative.

Zu Beginn wurde Aluminiumoxid-Keramik als Implantatmaterial verwendet. Dieses ist aufgrund seiner Materialeigenschaften allerdings eher brüchig, weswegen es vermutlich anlässlich seiner Frakturanfälligkeit bei ungünstiger Belastung wieder verlassen wurde. Beispiele für Aluminiumoxid-Keramik-Systeme sind Cerasand, Bionit oder das Tübingen Implantat (Andreiotelli et al., 2009: 32-47).

Bei dünner Schleimhaut zum Beispiel in der Oberkieferfront ist es möglich, dass das dunkle Titanimplantat im Bereich der marginalen Gingiva durchscheint, oder der zervikale Implantatanteil aufgrund von Zahnfleischrückgang sichtbar wird. Außerdem wird selten, aber immer wieder, über eine mögliche Titanunverträglichkeit berichtet, welche in dieser Arbeit noch beschrieben wird. Aufgrund dessen wird Zirkoniumdioxid als eine mögliche Materialalternative in den vergangenen Jahren vermehrt verwendet und untersucht, wobei noch einige Studien folgen müssen, um dem sehr gut dokumentierten Umgang mit Titanimplantaten gerecht werden zu können (Möller et al., 2012: 638-645).

Zirkoniumdioxid bzw. viel mehr sein Metalloxid Zirkoniumdioxid (ZrO_2) wurde 1789 vom deutschen Chemiker Martin Heinrich Klaproth entdeckt. Es dauerte dann bis 1824, bis es in einer unreinen Form von Jöns Jakob Berzelius isoliert und bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts, bis es in seiner reinen Form hergestellt werden konnte. Ende der 1960er-Anfang der 1970er-Jahre wurden erste Artikel zur Verwendung von Zirkoniumdioxid in der Medizin veröffentlicht. Hierbei beschäftigte man sich in erster Linie mit der Verwendung in Hüftgelenksendoprothesen, welche auch heute noch ein wichtiges Anwendungsgebiet von Zirkoniumdioxid darstellt. Es konnten aufgrund verschiedener in vitro und in vivo Tests, deren Ergebnisse Piconi und Maccauro in ihrer Review zum Thema „*Zirkonium als Biomaterial*“ zusammengefasst haben und von Assal erst unlängst wiederholt festgestellt wurde, keine Zytotoxizität, Teratogenität sowie lokale oder systemische Toxizitäten festgestellt werden, wobei verschiedene Testmethoden mit unterschiedlichen Zelltypen, Tierspezies (Ratten, Mäuse und Hasen) und Implantationsgebiete herangezogen wurden (Piconi & Maccauro, 1999: 1-25; Assal, 2013: 644-654).

Eine mögliche Graufärbung der Gingiva im Implantationsgebiet sowie die damit einhergehende ästhetische Beeinträchtigung, stellen einen Nachteil von Titanimplantaten dar. Daher haben bereits 1996 Bianco et al. eine Freisetzung von Titanpartikeln in die lokale

Umgebung von Titanfaservliesen, welche in die Tibia von Hasen gesetzt wurden, beschrieben. Sie haben die Untersuchung über einen Zeitraum von einem Jahr durchgeführt und fanden im angrenzenden Knochen höher werdende Konzentrationen von Titanpartikeln mit ansteigender Verweildauer der Titanfasern im Gewebe. Sie bestätigten damit, dass Titanpartikel freigesetzt werden, diese aber eine niedrige Löslichkeit aufweisen und daher lokal begrenzt in der Umgebung des verursachenden Materials bleiben (Bianco, 1996: 227-234).

Im Fall der klinischen Studie von Mellinghoff wurden Zirkoniumdioxidimplantate des Typs Z-Look 3 der Firma Z-Systems AG (Oensingen, Schweiz) verwendet, welche von 2003 bis 2005 implantiert wurden. Hier waren es in Summe 189 Implantate bei 71 Patientinnen und Patienten, die nach einer durchschnittlichen Liegedauer von 8,2 Monaten nachuntersucht wurden. Die Implantationsindikation war dabei die Versorgung von Einzelzahn-Lücken und teilbezahnten Kiefer. Die Einheilung erfolgte transgingival unter der ausschließlichen Verwendung von dental getragenen Schutzschienen. Neun Implantate mussten explantiert werden, acht innerhalb der Einheilungsphase, sechs davon aufgrund erhöhter Beweglichkeit und eines beinahe unmittelbar nach der definitiven prothetischen Versorgung, aufgrund einer Implantatfraktur. Trotz alledem schlussfolgerte Mellinghoff, dass seine Arbeit mit einem klinischem Ergebnis für eine günstige Kurzzeitprognose, ein erstes Zeichen für eine erfolgreiche Anwendung von Zirkoniumdioxidimplantaten darstellen könnte (Mellinghoff, 2006: 288-293).

Gahlert et al. verwendeten 2007 eigens von der Firma Metoxid AG (Thayngen, Schweiz) hergestellte Zirkoniumdioxidimplantate mit maschinell bearbeiteter (30 Stück) und sandgestrahlter (30 Stück) Oberfläche im Vergleich zu exakt gleich designten sandgestrahlten und säuregeätzten Titanimplantaten (18 Stück) der Firma Straumann AG (Basel, Schweiz). Für Implantationszwecke wurden 13 Minischweine mit einem Alter zwischen 8 und 12 Jahren herangezogen, wobei bei jedem Tier 6 Implantate in die Maxilla inseriert wurden. Es wurden drei Untersuchungsgruppen geformt. In den Gruppen der 4- (bestehend aus 4 Minischweinen) und 12-wöchigen (5 Minischweine) Einheilungsphase wurden jeweils 5 der 6 Implantate, bei der 8-wöchigen (4 Minischweine) Einheilungsphase wurden alle 6 Implantate, für den „Removal Torque Test“ (RTQ-Test) herangezogen. An den übrigen Implantaten wurden histologische Untersuchungen durchgeführt. Von den gesamt 64 mechanisch untersuchten Implantaten wurden 7, welche nicht osseointegriert waren bzw. während des Tests frakturierten, aus der statistischen Analyse ausgeschlossen. Dabei handelte es sich um jeweils 3 Zirkoniumdioxid- beider Oberflächentypen und 1 Titanimplantat. Zu allen Testzeitpunkten zeigten die Titanimplantate höhere Explantationswiderstände und zwar durchschnittlich 105,2N/cm im Vergleich zu 40,5N/cm bei den sandgestrahlten und 25,9N/cm bei den maschinell bearbeiteten

Zirkoniumdioxidimplantaten. Auch bei den 13 histologisch untersuchten Implantaten konnte bei den Titanimplantaten eine stärkere Knochenanlagerung als bei den Zirkoniumdioxidimplantaten, wobei wiederum die sandgestrahlten besser als die maschinell bearbeiteten abschnitten, festgestellt werden (Gahlert et al., 2007: 662–668).

Oliva et al. veröffentlichten ebenfalls 2007 ihre Ergebnisse zu einer Untersuchung von 100 einteiligen Zirkoniumdioxidimplantaten – von der Firma CeraRoot (Barcelona, Spanien) eigens für diese Untersuchung hergestellt – mit zwei unterschiedlichen Rauigkeiten als Oberflächenmodifikation. Davon wurden 50 mit einem speziellen diamantierten Rad bearbeitet, um die Oberfläche mechanisch aufzurauen. Die übrigen 50 wurden mit einer bioaktiven Keramik beschichtet. Die Oberflächenbeschaffenheit wurde mithilfe eines Interferometers charakterisiert, wobei festgestellt wurde, dass die beschichteten Implantate eine größere Rauigkeit aufwiesen, als die mechanisch bearbeiteten. Außerdem wurden 5 verschiedene Implantatdesigns, in Abhängigkeit von der vorgesehen Implantationsregion, gefertigt. Die Implantation wurde mit oder ohne Aufklappung und bei Bedarf auch mit Augmentation durchgeführt. Ebenso variierte der Implantationszeitpunkt in Hinblick auf eine Sofort- oder Spätimplantation. Die Implantate wurden im ästhetisch bedeutsamen Bereich mit provisorischen Kronen versorgt, welche aus der Okklusion geschliffen wurden, um eine vorzeitige Belastung zu vermeiden. Die Probandinnen und Probanden wurden angewiesen die Implantate innerhalb der ersten 2 Monate möglichst keinen Kaubelastungen auszusetzen. Im Falle einer Primärstabilität niedriger als 35 Ncm wurden die Implantate durch eine zusätzliche Verbindung mit den Nachbarzähnen oder Kunststoffschienen vor übermäßiger Implantatbeweglichkeit und einem dadurch möglichen Versagen geschützt. Die definitive prothetische Versorgung folgte nach 4 Monaten, wenn augmentative Maßnahmen notwendig waren, erst nach 8 Monaten. Auch die definitiven Kronen wurden in einer leichten Infraokklusion belassen, um die Elastizität der parodontalen Faseraufhängung an den natürlichen Zähnen kompensieren zu können. Ab dem Zeitpunkt der definitiven Versorgung folgte eine einjährige Nachuntersuchung.

Zwei Implantate, ein beschichtetes und ein unbeschichtetes, gingen 15 Tage nach Insertion verloren, da die Schiene gebrochen war, wodurch die Implantate mobil wurden. Außerdem war in beiden Fällen ein simultaner Sinuslift mit nur 5mm Eigenknochenhöhe durchgeführt worden. Ansonsten konnten innerhalb des Untersuchungszeitraumes keine Implantatverluste verzeichnet werden. Es traten auch keine anderen Beschwerden, wie Schmerzen, Entzündungen oder Blutungen auf. Aufgrund der Überlebensrate von 98% kamen Oliva et al. zu dem Schluss, dass Zirkoniumdioxidimplantate eine gangbare Alternative zu Titanimplantaten sein könnten, allerdings noch klinische Langzeitergebnisse - was die von ihnen untersuchte Oberflächenstruktur betrifft - ausständig sind (Oliva et al., 2007: 430-435).

In einer retrospektiv angelegten Studie von Lambrich et al. aus dem Jahr 2008 wurden 376 Implantate, welche im Zeitraum von 2003 bis 2006 an einem unselektierten PatientInnen gut von 124 Personen gesetzt wurden, nachuntersucht. Sowohl im Ober- (OK), als auch im Unterkiefer (UK), mit und ohne Augmentation, wurden 237 Titan- [3i-Osseotite- (Außenhexagon) und 3i-Osseotite-Certain-Implantate (Innenverbindung) von BIOMET 3i, Inc.] und 139 Zirkoniumdioxidimplantate (Z-Look 3; Z-System AG) inseriert. Die Zirkoniumdioxidimplantate waren einteilig und mussten daher - im Gegensatz zu den Titanimplantaten, bei denen auch eine geschlossene Einheilung möglich war - transgingival einheilen. Um eine Sofortbelastung zu vermeiden wurden die Implantatpfosten nach Insertion beschliffen und gekürzt, außerdem kamen zum Belastungsschutz schleimhautgetragene Totalprothesen – welche im Implantationsbereich ausgeschliffen waren – und dental abgestützte Schutzschienen zum Einsatz. Eine Belastung erfolgte im Unterkiefer nach über drei und im Oberkiefer nach über sechs Monaten. Das nachzuuntersuchende Implantatgut waren 361 Stück, da 12 der Zirkoniumdioxid- und 3 der Titanimplantate aus der Studie ausgeschlossen werden mussten. Die Überlebensrate konnte nach einer Implantatliegedauer von durchschnittlich 21,4 Monaten - wobei der Bereich zwischen mindestens 5 bis zu maximal 45 Monaten reichte - erhoben werden. Im Oberkiefer kam es zu deutlich mehr Implantatverlusten als im Unterkiefer, so gingen 10 Zirkoniumdioxid- und 2 Titanimplantate verloren. Daraus ergibt sich eine Überlebensrate von 84,4% bei den Zirkoniumdioxid- und 98,41% bei den Titanimplantaten.

Im Unterkiefer konnte ein Verlust von 1 Zirkoniumdioxid- und 2 Titanimplantaten festgestellt werden. Hier bestand eine Überlebensrate von 98,4% der Zirkoniumdioxid- und 97,2% der Titanimplantate. Die Verfasser stellten die Hypothese auf, dass der erhöhte Implantatverlust im Oberkiefer möglicherweise auf die schlechtere Knochenqualität, eine dadurch geringere Primärstabilität und eine eventuelle vorzeitige Belastung aufgrund der hauptsächlich verwendeten schleimhautgetragenen Schutzprothesen bei den betroffenen Implantaten zurück zu führen ist. Es wurde keine Fraktur eines Zirkoniumdioxidimplantates festgestellt.

Man kam zu dem Schluss, dass bei ausreichender Primärstabilität und einem absolut belastungsfreien Einheilen mit Zirkoniumdioxidimplantaten eine annähernd gleiche Überlebenswahrscheinlichkeit erreicht werden kann, wobei ebenfalls darauf hingewiesen wurde, dass diese bei weichem und/oder augmentierten Knochen wahrscheinlich noch reduziert sein würde (Lambrich et al., 2008: 182-191).

In der in vivo-Studie von Depprich et al. aus dem Jahr 2008 wurde festgehalten, dass die Oberflächenstruktur einen entscheidenden Faktor bezüglich der Osseointegration darstellt und auch zu kürzeren Heilungsphasen führen kann. Aus diesem Grund testeten sie an 12 Minischweinen, älter als 5 Jahre, Zirkoniumdioxidimplantate mit säuregeätzter Oberfläche. Es wurden je 24 Zirkoniumdioxid- und Titanimplantate der Firma Konus Dental

Implants verwendet, welche dasselbe makroskopische Design aufwiesen. In den Tibiaknochen jedes Tieres wurden 4 Implantate gesetzt. Diese konnten gedeckt einheilen. Die Untersuchungen folgten 1, 4 und 12 Wochen post operationem, wobei jeweils eine Gruppe von 4 Minischweinen herangezogen wurde. Bereits nach der ersten Woche fand man matrix-reiches Granulationsgewebe zwischen dem Implantat und Knochengewebe. Der durchschnittliche BIC betrug für Zirkoniumdioxid 35,3% ($\pm 10,8$) und 47,7% ($\pm 9,1$) für Titan. Nach 4 Wochen konnte man schon reifes Granulationsgewebe mit Osteoidformationen und Geflechtknochen sowie engen Kontakt zwischen Knochen und Implantatoberfläche, bei beiden Materialien, feststellen (BIC Zirkoniumdioxid: 45,3%; $\pm 15,7$; Titan: 58,6%; $\pm 9,5$). Lamelläer Knochen in der direkten Umgebung, unter entzündungsfreien Umständen, konnte wiederum bei Titan und Zirkoniumdioxid nach 12 Wochen beobachtet werden. Hier betrug der BIC 71,4% ($\pm 17,8$) für Zirkoniumdioxid- und 82,9% ($\pm 10,7$) für Titanimplantate. Die Unterschiede waren zu allen Untersuchungszeitpunkten nicht signifikant. Aus Sicht der Autoren sollten noch weitere Studien, die sich vor allem mit der Oberflächenmodifikation bei Zirkoniumdioxidimplantaten beschäftigen, folgen (Depprich et al., 2008: 4, 30).

2009 wurde von Gahlert et al. eine weitere Studie zur Osseointegration von oberflächen-behandelten Zirkoniumdioxid- im Vergleich zu Titanimplantaten an 15 Schweinen durchgeführt. Pro Tier wurden in der Maxilla je ein Zirkoniumdioxid und ein Titanimplantat gesetzt. In diesem Fall wurde die Zirkoniumdioxidoberfläche säuregeätzt, die der Titanimplantate sandgestrahlt und säuregeätzt. Obwohl die Oberflächenstruktur mikroskopisch sehr ähnlich aussah, konnte ein deutlicher Unterschied in deren Rauigkeit festgestellt werden. Die Oberfläche des Zirkoniumdioxids war etwas flacher und weniger porös, außerdem nur halb so rau wie die von Titan. Aufgrund insuffizienter Integration gingen im Beobachtungszeitraum je ein Zirkoniumdioxid- und ein Titanimplantat verloren welche ausgeschlossen wurden. Die Untersuchungen fanden nach Heilungsphasen von 4, 8 und 12 Wochen statt. In beiden Gruppen konnte ein Anstieg der Knochendichte zwischen der 4. und 12. Woche festgestellt werden. Die periimplantäre Knochendichte zeigte nur zwischen der 4. und 12. Woche rund um die Titanimplantate einen signifikanten Unterschied, nicht aber bei den Zirkoniumdioxidimplantaten. Sie stieg bei Titan von 29% auf 52%, bei Zirkoniumdioxid von 42% auf 55% an. Hinsichtlich des BIC konnte ein geringfügig höherer Wert bei den Titanimplantaten in den Gruppen der 8. (Titan: 53%; Zirkoniumdioxid: 52%) und 12. Woche (Titan: 59%; Zirkoniumdioxid: 51%) nachgewiesen werden, was nach der 4. Woche (Titan: 24%; Zirkoniumdioxid: 27%) noch nicht absehbar war. Außerdem konnte beobachtet werden, dass bei einer Korrespondenz mit der Mundhöhle aufgrund von Schleimhautdehiszenzen, bei wenigen Fällen die Osseointegration nicht vollständig war und sich Bindegewebe mit mononuklearen Zellen in der dünnen Schicht zwischen Knochen und Implantat gebildet hatte. Dies wurde von den Autoren als Entzündungsgeschehen gewertet. Eine nicht

entzündliche Bindegewebsschicht konnte an Implantaten festgestellt werden, die in irgendeiner Art und Weise mit beweglichen Strukturen in Verbindung standen, wodurch es ebenfalls zu einer eingeschränkten Osseointegration kam. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass das Ergebnis trotz der positiven Tendenz, aufgrund der geringen Fallzahl und dem Umstand, dass es sich hierbei um ein Tiermodell handelt, nicht den eindeutigen Beweis erbringen kann, dass Zirkoniumdioxid und Titan in gleichem Maße für den Menschen angewandt werden können (Gahlert et al., 2009: 1247-1253).

2010 beschrieben Stadlinger et al. die Unterschiede hinsichtlich der kurzfristigen Weichgewebs- und Knochenadaptation von unbelasteten gedeckt (1. Gruppe) und transgingival einheilenden (2. Gruppe) Zirkoniumdioxid- sowie gedeckt einheilenden Titanimplantaten (3. Gruppe). Dazu wurden 7 Minischweine im Alter von einem Jahr herangezogen. Es wurden WhiteSky-Zirkoniumdioxidimplantate der Firma Bredent mit sandgestrahlter Oberfläche und Xive-Titanimplantate mit einer sandgestrahlten und säuregeätzten Oberfläche der Firma Dentsply verwendet. Zu beachten ist allerdings, dass die Implantate ein unterschiedliches Design haben und der überstehende Teil der gedeckt einheilenden Zirkoniumdioxidimplantate unmittelbar nach Insertion abgetrennt werden muss. Jedem Minischwein wurde jeweils ein Implantat der oben genannten Gruppen inseriert. Nach einer 4-wöchigen Einheilungsphase wurden die Tiere getötet.

Eines der gedeckten Zirkoniumdioxidimplantate ging verloren und konnte daher nicht in die Untersuchung miteinbezogen werden. Ein weiteres, allerdings transgingival einheilendes Zirkoniumdioxidimplantat zeigte eine erhöhte Mobilität. Beide ausgeschlossenen Implantate waren im selben Minischwein gesetzt gewesen. Die übrigen 19 Implantate zeigten keine Anzeichen von Entzündungen und waren als klinisch stabil zu betrachten. An den offen einheilenden Implantaten konnte eine gute Weichgewebsadaptation festgestellt werden. Auch an den Gedeckten traten keine Schleimhautdehiszenzen auf. Sowohl die offen, als auch die geschlossen einheilenden Implantate bewahrten einen natürlichen Gingivaaufbau und Keratinisierungsgrad, wobei bei den transgingivalen Implantaten ein nach unten wachsendes Bindegewebe zu beobachten war, was mit einem resorptiven Knochenabbau einherging. Apikal dieser Übergangszone zwischen Weich- und Hartgewebe konnten direkter Knochen-Implantatkontakt (BIC – bone-implant contact) und keine Entzündungszeichen nachgewiesen werden. An fast allen koronalen Implantatflächen konnten angelagerte Knochenlamellen gefunden werden. Bei den Zirkoniumdioxidimplantaten bestand ein Unterschied im BIC hinsichtlich der bereits erwähnten vertikalen Knochenresorption und dem Bindegewebe, dadurch wurde koronal eine direkte Anlagerung verhindert, weshalb die Lamelleninsertion etwas weiter apikal erfolgte. Im apikalen Teil konnte kein Unterschied zwischen den verschiedenen Einheilungsprozessen festgestellt werden. Innerhalb der Gewinde fand sich unreifer Knochen ohne jegliche Entzündungszeichen und ohne

Bindegewebsspalt. Der höchste BIC konnte bei den Titan- (53,1%), unmittelbar gefolgt von den gedeckt einheilenden Zirkoniumdioxidimplantaten (52,7%) gefunden werden. Den geringsten BIC wiesen die transgingival einheilenden Zirkoniumdioxidimplantate (48%) auf. Bezogen auf die Knochendichte schnitten die gedeckt einheilenden Zirkoniumdioxidimplantate mit einer Knochendichte von 80%, innerhalb der Gewinde, im Vergleich zum Referenzknochen im implantatfernen Wirtsknochen am besten ab. Hier folgten die Titanimplantate mit einer 74%igen und die transgingivalen Zirkoniumdioxidimplantate mit einer 63%igen Knochendichte. Es konnte gezeigt werden, dass zwischen den drei Implantatgruppen kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Osseointegration und außerdem eine gute Weich- und Hartgewebsbiokompatibilität von Zirkoniumdioxid besteht (Stadlinger et al., 2010: 585-592).

Koch et al. veröffentlichten 2010 eine Vergleichsstudie am Hundemodell. Es wurden 4 verschiedene Implantattypen und zwei verschiedene Einheilungsverfahren an 6 Hunden getestet. Jedem Hund wurden je zwei einteilige unbeschichtete, zwei mit einer Kalzium-freisetzenden Titanoxid Beschichtung versehene Zirkoniumdioxidimplantate, zwei Titan- und zwei Implantate aus dem synthetisch hergestellten Material Polyetheretherketon implantiert. Das Implantatdesign war bei allen gleich. Wobei die vier Implantate auf einer Seite des Unterkiefers gedeckt und auf der anderen transgingival einheilten. Alle 48 Implantate waren primärstabil und keines ging innerhalb der 4-monatigen Einheilungsphase verloren. Aufgrund der sofortigen Kaubelastung waren an den offen einheilenden Implantaten an 30% der Zirkoniumdioxidköpfe Sprünge und an den Titanköpfen eine Abrundung feststellbar. Die Schleimhaut über den gedeckt einheilenden Implantaten fenestrierte nach durchschnittlich 7 Wochen. Innerhalb der transgingivalen Gruppe bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Zirkoniumdioxidimplantaten und dem aus Titan. Bei den gedeckt einheilenden zeigte das beschichtete Zirkoniumdioxidimplantat sowohl das höchste knochenbezogene, als auch das höchste implantatbezogene Knochenniveau, allerdings auch hier nicht signifikant. Ein Unterschied bestand jedenfalls zwischen dem offenen und dem geschlossenen Heilungsmodus, die gedeckt einheilenden schnitten in Bezug auf das implantatbezogene Knochenniveau besser ab, wobei hier auch die höhere Einbringtiefe beachtet werden muss. Hinsichtlich des BIC wurden folgende Durchschnittswerte festgestellt: 59% bei unbeschichteten Zirkoniumdioxid-, 56% bei beschichteten Zirkoniumdioxid-, 26% bei den synthetischen und 41% bei den Titanimplantaten. Abgesehen davon, dass zwischen den Zirkoniumdioxid und den Titanimplantaten keine signifikanten Unterschiede aufgezeigt werden konnten, weisen die Autoren auf einen möglichen positiven Einfluss der Kalzium-freisetzenden Beschichtung hin, die noch weiter untersucht werden muss (Koch et al., 2010: 350-356).

Von Möller et al. wurde 2012 eine Vergleichsstudie an 8 weiblichen Hausschweinen durchgeführt. Ziel dieser Studie war der in vivo Vergleich bezüglich der Osseointegration von Titan- versus Zirkoniumdioxid-Implantaten. Dazu wurden Implantate der Firma Bredent verwendet. Jedem Tier wurden jeweils 4 BlueSky Titan- und 4 WhiteSky Zirkoniumdioxid-Implantate inseriert. Die Wahl fiel vor allem aus dem Grund auf die Hausschweine, weil die Neubildungsrate von Knochen ziemlich genau mit der des Menschen übereinstimmt. Nach einer Einheilphase von 4 bzw. 12 Wochen kam man zu dem Ergebnis, dass die Osseointegration der Zirkoniumdioxidimplantate gegenüber der der Titanimplantate leicht verzögert war, aber kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte. In beiden Fällen zeigten die Tiere keine Veränderung des Fressverhaltens oder ein Anzeichen von Infektionen (Möller et al., 2012: 638-645).

Zusammenfassend kann man sagen, dass nahezu alle StudienautorInnen mehr Untersuchungen und evidenzbasierte Studien fordern. Allerdings ist ebenfalls herauszulesen, dass Zirkoniumdioxid durchaus als mögliche Variante zur Verfügung steht. Es konnte gezeigt werden, dass die Biokompatibilität sowie die Osseointegration vergleichbar, in manchen Studien sogar für Zirkoniumdioxid etwas besser bewertet wird, als es für Reintitan der Fall ist. Außerdem wird der Keramik eine geringere Plaqueakkumulation nachgesagt, was einen positiven Effekt auf die periimplantäre Gewebegesundheit hat (Prithviraj et al., 2012: 643-649). Zusätzlich ist es allerdings noch wichtig zu erwähnen, dass die derzeitigen Herstellungsverfahren für Zirkoniumdioxidimplantate zwar ähnlich aber nicht ident sind. Daher kann es vor allem in Hinblick auf die Oberflächenbeschaffenheit deutliche Unterschiede geben, die sich auf die Osseointegration auswirken können. Dies ist bei den Keramikimplantaten noch wichtiger als bei denen aus Titan, da eine nicht modifizierte, glatte Zirkoniumdioxidoberfläche signifikant schlechter osseointegriert (Assal, 2013: 644-654).

2.1 Zirkoniumdioxid als Implantatwerkstoff

Schon seit längerem versucht man in der Implantologie sein Glück mit zahnfarbenen, keramischen Materialien. Nach Aluminiumoxid, das aufgrund seiner schlechten Überlebensraten im Vergleich zu Titan, wieder das Feld räumen musste, fand man mit Zirkoniumdioxid ein Material, das zumindest in Hinblick auf Haltbarkeit und Osseointegrationsfähigkeit durchaus mit Titan vergleichbar ist. Trotz alledem konnte es sich aus verschiedenen Gründen noch nicht als vertraute Alternative durchsetzen. Wie bereits erwähnt ist Zirkoniumdioxid äußerst gut verträglich. Es hat keine toxikologischen oder kanzerogenen Effekte auf den Organismus. Teilweise wird dem Material sogar osteokonduktive Fähigkeit nachgesagt, welche durch zahlreiche lebensfähige Osteozyten im umliegenden Knochen bestätigt wird. Neben der Lichtdurchlässigkeit und der weißen Farbe, welche vor allem im Einsatzgebiet der restaurativen Zahnmedizin bedeutende Eigenschaften

darstellen, ist im Bereich der Implantologie seine Radioopazität zur deutlichen Abgrenzung gegenüber anderen Strukturen wichtig (Scarano et al., 2003: 8-12). Zum einen ist es ein Vorteil, dass bei einteiligen Zirkoniumdioxidimplantaten die Gefahr der Schraubenlockerung, -fraktur oder anderer Komplikationen im Bereich der Implantat-Abutment-Verbindung nicht vorhanden ist und eine sofortige Versorgung mit einer provisorischen Krone vorliegt. Zum anderen ist es bekannt, dass aufgrund der verschiedenen kristallinen Strukturen, in denen Zirkoniumdioxid bei unterschiedlichen Temperaturen und Modifikationen vorliegt, im Zuge eben dieser Präparation, die zur weiteren Versorgung notwendig ist, zu einer Umwandlung von der tetragonalen in die weniger stabile monokline Phase kommt. Aufgrund dessen findet eine beschleunigte Materialalterung statt, welche mit einer höheren Frakturanfälligkeit einhergeht (Andriotelli & Kohal, 2009: 158-166). Dieser Vorgang beginnt an der Oberfläche und setzt sich weiter in den Implantatkörper fort. Durch eine möglichst kleine Korngröße ($<1\mu\text{m}$), eine größtmögliche Dichte und einem Yttriumoxid-Gehalt von ca. 3mol% kann man den Transformationswiderstand erhöhen (Assal, 2013: 644-654). Ein Materialvorteil in Zusammenhang mit der Präparation ist, dass es bei Zirkoniumdioxid zu keiner Wärmeentwicklung kommt und daher eine Nekrose durch Überhitzung ausbleibt (Borgonovo et al., 2012: 981-987). Erschwerend kommt hinzu, dass die Implantate möglichst optimal inseriert werden müssen, da aufgrund des einteiligen Designs nur geringe Anpassungen für die weitere Versorgung möglich sind. Ein Angulationsausgleich mit verschiedenen gewinkelten Abutments kann nicht vorgenommen werden. Außerdem ist eine Explantation bei Fraktur unumgänglich, weil keine Reparaturmöglichkeiten vorliegen (bei zweiteiligen Systemen mit Abutment- oder Schraubenfraktur kann man diese Teile austauschen) (Andriotelli & Kohal, 2009: 158-166). Des Weiteren sollte man bedenken, dass es aufgrund zu hoher Biegekräfte, die auf Zirkoniumdioxidimplantate beim Kauvorgang oder durch Bruxismus einwirken können, zu Frakturen kommen kann.

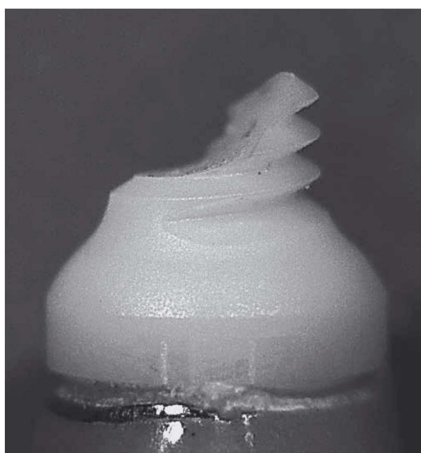


Abb. 2: Implantatfraktur
Seitliche makroskopische
Aufnahme eines frakturierten
Implantates mit Frakturlinie im
Bereich des ersten
Gewindenganges
(Gahlert et al., 2012: 289).

Am häufigsten geschieht dies bei durchmesserreduziertem Implantatdesign (lt. Gahlert et al., 2012 liegen in ihrer Untersuchung 12 von 13 Implantatfrakturen bei einem Durchmesser von 3,25mm vor). Diese Frakturlinien liegen dann meist im Bereich des ersten Gewindenganges (siehe Abb. 2) bzw. am Übergang in den Knochen. Vor allem wenn das Implantat sandgestrahlt ist, kann man an den tiefsten Stellen der Oberfläche den Ausgangspunkt der Fraktur beobachten. Daher ist es wichtig in klinischen Untersuchungen das Verhalten unter mechanischer Beanspruchung über einen ausgedehnten Zeitraum zu

beobachten, um tatsächliche Aussagen über die Langzeitprognose von Zirkoniumdioxidimplantaten treffen zu können (Gahlert et al., 2012: 287-293).

Aus bisherigen Arbeiten weiß man, dass die Oberflächenbeschaffenheit eine entscheidende Rolle in Hinblick auf die Osseointegrationsfähigkeit spielt. Am häufigsten wird dies durch eine Säureätzung erreicht. Genau dieser Bearbeitungsmodus stellt bei Zirkoniumdioxid noch ein Problem dar, weil die Oberfläche oft zu glatt bleibt. Es konnte zwar in vitro auf Zirkoniumdioxidoberflächen ein signifikant höheres Zellwachstum von bovinen Osteoblasten, im Vergleich zu Titan, festgestellt werden, allerdings fand gleichzeitig, eine höhere Ablösungsrate von Zellen von der Oberfläche statt, was auf die zu niedrige Rauigkeit zurückgeführt werden könnte (Depprich et al., 2008: 4, 29). Vergleichbar dazu konnten für speziell oberflächenmodifizierte Zirkoniumdioxidimplantate gleiche bis sogar – wenn auch statistisch nicht signifikant – bessere Ergebnisse in Bezug auf die Osseointegration gefunden werden. Wobei es im Gegenzug dazu, wiederum bei nicht Oberflächen-behandelten Implantaten, zu deutlich schlechteren Werten beim RTQ-Test gekommen ist (Sennerby et al., 2005: 13-20). Ähnliche Ergebnisse konnten in dem Tierversuch von Rocchietta et al. für chemisch und strukturell modifizierte Implantate gefunden werden. Sie erreichten geringgradig höhere RTQ-Werte als rein strukturell bearbeitete (Rocchietta et al., 2009: 844-850). Die Gruppe um Salem N.A. konnte 2012 ebenfalls zeigen, dass mit Zirkoniumdioxid-Pulver bestrahlte Zirkoniumdioxidimplantate im Vergleich zu nicht modifizierten signifikant höhere RTQ-Werte aufwiesen. Gegenüber den Titanvergleichsimplantaten wurden genauso höhere Werte für das modifizierte Zirkoniumdioxid festgestellt. Erst beim 3. Untersuchungsintervall, welches 12 Wochen nach der Insertion stattfand, zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den bearbeiteten Zirkoniumdioxid- und Titanimplantaten (Salem et al., 2012: 1-7). Auch Depprich et al. konnten, in einer weiteren Untersuchung im Jahr 2008, bestätigen, dass bei gleicher Oberflächenbeschaffenheit kein signifikanter Unterschied zwischen der Osseointegrationsfähigkeit von Zirkoniumdioxid- und Titanimplantaten feststellbar ist. Einzig nach der ersten Woche lässt sich bei den Zirkoniumdioxidproben ein höheres Maß an Knochenmatrix erkennen (siehe Abb.3).

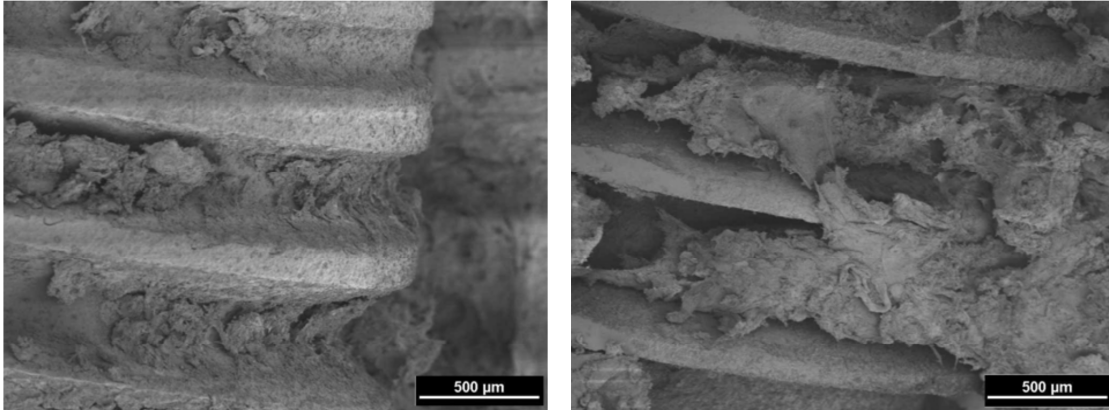


Abb. 3: Knochenmatrixanlagerung an Implantaten
An einem Zirkoniumdioxid- (links) bzw. einem Titanimplantat (rechts) nach einer Woche Einheilung (Depprich et al., 2008; 4:25).

Nach 12 Wochen ist dies allerdings wieder ausgeglichen und es besteht in beiden Fällen eine direkte Knochenanlagerung ohne jegliche Fremdkörperreaktion (Depprich et al., 2008; 4:25). Es lässt sich also sagen, dass die Oberflächenbeschaffenheit eine wesentliche Rolle in puncto Vergleichbarkeit der Implantatmaterialien spielt.

Zur Oberflächenbeschaffenheit und den daraus resultierenden Ergebnissen kommt noch hinzu, dass Zirkoniumdioxid eine geringere Plaqueakkumulation aufweist, als dies bei Titan der Fall ist. Das Material und die Modifikation haben einen Einfluss auf die Anlagerung von Mikroorganismen und somit den Verbleib und das mögliche Wachstum eines Biofilms auf dem Implantat (Teughels et al., 2006; 68-81). Ein Material kann natürlich die Plaqueakkumulation nicht gänzlich verhindern, eine Verringerung der Menge kann allerdings auch bereits positive Einflüsse auf die periimplantären Gewebe haben (do Nascimento et al., 2013: 1-7). Ein wichtiges Untersuchungskriterium, welches zur Beurteilung über Erfolg oder Misserfolg der Implantation herangezogen wird, ist der marginale Knochenverlust. Dabei ist allerdings zu unterscheiden, ob es sich um augmentierten, oder natürlichen Knochen handelt, in den die Implantate gesetzt werden. Es konnte festgestellt werden, dass bei künstlichem Knochenaufbau größere Verluste auftreten (Borgonovo et al., 2012: 981-987). So sollte dieser in die Gesamtbeurteilung mit einbezogen werden, da aufgrund dessen eine genauere Differenzierung in Hinblick auf die Qualität des Implantationserfolges getroffen werden kann. Wenn man lediglich den entzündungs-, bewegungs- und frakturfreien Erhalt der Implantate über den Untersuchungszeitraum, also die Überlebensrate, betrachtet, erreicht man damit leichter Werte von über 90%. Stützt man sich zusätzlich auf die quantitative Beurteilung des marginalen Knochenverlustes, sinkt diese meist drastisch ab. Auch die klinischen Untersuchungskriterien wie Sondierungstiefen und Attachmentniveau im Vergleich mit den natürlichen Referenzzähnen sind im Implantationsgebiet meist niedriger, wohingegen ein signifikanter Unterschied in Bezug auf die Plaqueanlagerung besteht, welche an den Implantaten deutlich geringer ist. Es konnte außerdem festgestellt werden,

dass der Knochenverlust nicht immer mit entzündlichen Prozessen einher zu gehen scheint, da er auch ohne klinische Entzündungszeichen zu beobachten ist. Eine mögliche Ursache könnten Zementreste von der Fixierung der Versorgungen sein (Kohal et al., 2012: 590–597). In einer weiteren Untersuchung von Kohal et al. konnte ein Unterschied beim marginalen Knocheniveau in Zusammenhang mit einer lappenfreien Implantatoperation im Vergleich zu einer mit vollständiger Aufklappung verzeichnet werden. In diesem Fall herrschte bei Aufklappung ein geringerer Verlust vor (Kohal et al., 2013: 553–562).

2.2 Titanunverträglichkeit

Wie zu Beginn beschrieben werden seit Jahrzehnten in der Zahnmedizin Implantate aus Reintitan verwendet. Die Erfolge dieser bewährten Vorgehensweise sind aufgrund der guten Biokompatibilität, die Titan seit jeher nachgesagt wird, und der ausgedehnten Untersuchungslage evidenzbasiert. Nun stellt sich die Frage, warum man einen bekannten Weg verlassen und auf ein alternatives Material wie Zirkoniumdioxid umsteigen sollte.

Ein Grund, warum man – neben den zuvor genannten Vorteilen von Zirkoniumdioxid im ästhetischen Bereich – Alternativen im Behandlungsspektrum haben sollte, ist, dass möglicherweise eine Unverträglichkeit gegen Titan bei einzelnen Patientinnen / Patienten bestehen könnte.

Das Thema der Titanunverträglichkeit oder gar der Titanallergie wird immer wieder recht kontrovers diskutiert. Vor allem wichtig ist, dass man zwischen einer wirklichen Allergie und einer Unverträglichkeit unterscheidet, weil nicht jede immunologisch bedingte Unverträglichkeit eine Allergie darstellt (von Baehr V., Schütt S., 2011: 21-26).

Eine Allergie im klassischen Sinn ist eine immunvermittelte Reaktion des Körpers auf einen Reiz (ein Allergen), die nur bei gewissen Personen auftritt. Dabei ist die Immunglobulin E (IgE)-vermittelte Allergie vom Soforttyp, von der nicht IgE-vermittelten vom Spättyp zu unterscheiden. Um von einer Allergie sprechen zu können, müssen bei Exposition des Organismus mit dem Allergen reproduzierbare objektive Symptome auftreten, die von einer Person ohne Allergie toleriert werden. Andere Ursachen für Hypersensibilität können auch ein Enzymmangel oder psychogene Symptome, sprich eine subjektive Unverträglichkeit, sein (Trautmann A., 2013: 26).

Um eine allergische Reaktion auslösen zu können, müssen zumindest Bestandteile des Allergens mit körpereigenen Proteinen Verbindungen eingehen und sogenannte Haptene bilden. Wie bereits erwähnt besitzt Titan allerdings eine hohe Sauerstoffaffinität wodurch freiwerdende Titanionen sofort Oxide bilden, welche praktisch nicht mit der Umgebung reagieren. Allerdings kann es, durch übermäßige proinflammatorische Reaktivität von Makrophagen, die mit Titanpartikeln in Kontakt kommen - was durch die Anwesenheit von Zytokinen, wie Interleukin-1 (IL-1) oder Tumor-Nekrose-Faktor- α (TNF- α) gemessen

werden kann – zu einer Titan-induzierten Periimplantitis kommen. Außerdem kann auch die Ausschüttung von IL-6, Prostaglandin E2 sowie Matrix-Metalloproteinasen und lysosomalen Enzymen angeregt werden. Im Gegensatz dazu wird durch die Anwesenheit gleich großer Zirkoniumdioxidpartikel keine TNF- α Freisetzung angeregt. Die Zytokinantwort hängt nicht mit einer Lymphozytenanwesenheit zusammen, was für eine allergische Reaktion definitionsgemäß der Fall sein müsste, sondern mit der zuvor erwähnten Entzündungsbereitschaft. Das Ausmaß in dem Patientinnen oder Patienten mit TNF- α - und IL-1- Ausschüttung reagieren, kann durch einen genetischen Polymorphismus, der bei 15-20% der Bevölkerung vorliegt und eine starke Entzündungsreaktion auslöst, erhöht sein. Man spricht in einem solchen Fall von High-Respondern, welche eine erhöhte Empfindlichkeit für periprothetischen Knochenverlust zeigen (von Baehr V., Schütt S., 2011: 21-26).

Die Allergie ist in 4 Typen eingeteilt. Typ-I-Allergie, die Sofortreaktion ist wie bereits erwähnt IgE vermittelt. Der Hauptmediator ist das Histamin und die Latenzzeit nach Exposition mit dem Allergen beträgt meist unter 1 Stunde. Die Typ-II-Allergie ist die zytotoxische Immunreaktion, welche - genauso wie die Typ-III-Allergie (Immunkomplex-Reaktion) - IgG vermittelt ist. Zuletzt gibt es noch die Typ-IV-Allergie, welche eine zelluläre Reaktion darstellt, die über T-Lymphozyten vermittelt wird. Die Typ-II bis IV- Allergien gehören zu denen der Spätreaktion, wobei die Latenzzeit ungefähr zwischen 6 Stunden und 1 Tag dauert (Trautmann A., 2013: 28f).

Als mögliche Verfahren um eine Allergie feststellen zu können, stehen folgende Hauttests zur Verfügung: Prick-, Intrakutan-, Scratch-, Reib- und Epikutantest (ECT). Am häufigsten kommt der Prick-, im Falle einer Kontaktdermatitis der Epikutantest zum Einsatz (Merk H.F., 2008: 41). Beim ECT muss man berücksichtigen, dass das Untersuchungsergebnis zum einen die Infiltration von allergenspezifischen T-Lymphozyten, zum anderen aber auch Reizungen einer empfindlichen Haut darstellen kann. Es ist außerdem bis zu einem gewissen Grad in der Auswertung untersucherspezifisch, abhängig von der Hautbeschaffenheit der Testpersonen und nur bedingt nachvollziehbar. Des Weiteren besteht bei einer Präventivtestung mittels ECT die Gefahr den betreffenden Organismus erst zu sensibilisieren (Bartram F. et al., 2006: 101-106). Da es sich bei der möglichen Titanallergie allerdings nicht um eine klassische Kontaktallergie handelt und der ECT daher nicht ausreichend aussagekräftig ist, behilft man sich häufig mit dem Lymphozytentransformationstest (LTT) oder dem eigens dafür entwickelten Titan-Stimulationstest. Dieser Test eignet sich im Speziellen für die Feststellung einer Überempfindlichkeit, da man damit die Hyperaktivität der Makrophagen bestimmen kann. Dabei wird anhand einer Vollblut-Probe der Probandin/des Probanden überprüft, ob die Makrophagen nach Kontakt mit Titanpartikeln mit einer erhöhten IL-1- und TNF- α -

Ausschüttung reagieren. Wenn man alle Möglichkeiten ausschöpfen möchte kann man auch eine genetische Testung auf die oben erwähnten Polymorphismen in den Zytokingenen vornehmen (von Baehr V., Schütt S., 2011: 21-26). In einer von der Deutschen Gesellschaft für Umwelt-Zahnmedizin (DGUZ) durchgeführten Untersuchung konnte gezeigt werden, welche Auswirkungen ein positiver Titan-Stimulationstest oder die Zuordnung zu einem erhöhten Entzündungsgrad (Grad 2-4) aufgrund einer genetischen Determination haben kann. Das Risiko für einen Titanimplantatverlust kann hierbei um das ca. 12- (pos. Titan-Stimulationstest) bzw. das bis zu 6-fache (Gentestung) erhöht sein (Jacobi-Gresser E. et al., 2013: 537-543). Beim LTT wird ebenfalls im PatientInnenblut die Anwesenheit von spezifischen T-Gedächtniszellen nach Exposition mit dem Allergen getestet. Mittels rekombinantem Interferon- α konnte die Sensitivität und Spezifität erhöht werden (Bartram F. et al., 2006: 101-106).

In einer von Lalor et al. durchgeführten Untersuchung aus dem Jahre 1991 wurden 5 Verlustfälle von Hüftgelenksendoprothesen aus Titan bzw. dessen Legierungen, die für die Schrauben Anwendung fanden, nachgeprüft. Im umgebenden Gewebe der Prothesen konnte ein hoher Gehalt an Titanpartikeln festgestellt werden. Außerdem fand sich ein hohes Maß an T-Lymphozyten. Entgegengesetzt dazu waren allerdings nur wenige B-Lymphozyten und kaum Granulozyten sowie Mastzellen nachzuweisen, was auf eine immunologische Reaktion auf den Reiz der Titanpartikel hindeutet. Dies wäre den Autoren zufolge nicht zu erwarten gewesen, wären die Prothesen nur aufgrund der mechanischen Belastungen verloren gegangen. Für sie war es ein Indiz für eine allergische Reaktion vom Typ-IV. Dagegen spricht, dass die Hauttests mit Titansalzen bei allen ProbandInnen negativ ausgefallen sind, wobei sie hätten positiv sein sollen. So kam man zu dem Schluss, dass es keine passablen Sensibilitätstestungen für eine Titansensibilisierung gibt. Außerdem fehlen Daten über die wirkliche Inzidenz von Fällen der Titanallergie (Lalor et al., 1991: 25-28). Aus einer früheren Tierstudie von Brown et al. (1990) geht hervor, dass Vanadium, welches eines der Legierungsmetalle darstellt, eine höhere Löslichkeit aufweist und daher in den Blutkreislauf übergeht und über die Nieren ausgeschieden wird. Auch Aluminium ist leichter löslich und könnte daher ebenfalls vom Implantationsgebiet abtransportiert werden. Titan allerdings bleibt ortsständig (Brown et al., 1990: 37-42).

Aufgrund dessen, dass Titan bzw. Titandioxid in vielen uns umgebenden Gegenständen (Wandfarbe, Möbel- oder Schmuckstücke), aber auch in Kosmetika und Nahrungsmitteln enthalten ist, liegt in unserem Organismus ohnehin eine geringe Konzentration von Titanpartikeln vor (Sicilia et al., 2008: 823-835). Laut Parr et al. (1985) sind dies ca. 50ppm (Parr et al., 1985: 410-414). Durch die zusätzliche Exposition mit Titanimplantaten kann dieser Wert im umgebenden Gewebe sowie in den lokalen Lymphknoten auf 100 bis 300ppm ansteigen, was auch mit einer (symptomlosen) Verfärbung

des periimplantären Gewebes einhergehen kann. Eine, durch die aneinander Reibung von zwei Titanoberflächen, entstehende Korrosion kann eine zelluläre Reaktion oder Osteolyse hervorrufen (Sicilia et al., 2008: 823-835). Allergische Reaktionen auf Metalle sind wegen der oft nur unspezifischen Symptome und einem nicht regelmäßigen Auftreten derselben nur schwer zu diagnostizieren bzw. eindeutig dem Metall zuzuordnen (Hallab et al., 2001). Zu bedenken ist allerdings, dass viele dieser Untersuchungen an Hüftgelenksendoprothesen durchgeführt wurden, wo zum einen eine wesentlich größere Kontaktfläche zum Knochen und umgebenden Gewebe vorliegt als bei Zahnimplantaten, zum anderen liegt an der Mundschleimhaut ein anderes Zellgefüge vor, als es bei Haut der Fall ist, dies äußert sich beispielsweise in Form der antigen-präsentierenden Zellen, die in Mukosa seltener vorkommen. Darum lassen sich nicht alle Ergebnisse eins zu eins übernehmen. Speziell im Bereich der Implantologie wurden Symptome wie Gesichtserythema und nicht-keratinisiertes, ödematöses, proliferatives, hyperplastisches Gewebe beschrieben (Sicilia et al., 2008: 823-835).

Anhand einer Nachuntersuchung von 1500 Titanimplantaten wurden 35 Fälle ausgewählt, wovon bei 16 Patientinnen und Patienten bereits allergische Symptome nach Implantatinsertion oder ein ungeklärter Implantatverlust vorlagen, bei den 19 verbleibenden waren bereits andere Allergien bekannt oder es fand während der vorangegangenen Implantation eine hohe Titanexposition statt. Zum Vergleich wurden 35 gesunde ProbandInnen, welche in einem Allergie-Zentrum stichprobenartig ausgewählt wurden, herangezogen. Es konnte festgestellt werden, dass in diesem Kollektiv 9 positive Reaktionen auf den Titanallergietest bestanden, wobei 8 aus der Gruppe stammten, bei denen bereits allergische Symptome festgestellt wurden, nur ein Fall entstammte der Gruppe mit den bereits bekannten anderen Allergien bzw. der erhöhten Titanexposition. Bezogen auf das Gesamtkollektiv der 1500 Individuen beträgt die Prävalenz zwar nur 0,6%, allerdings ist bei 5 der positiv getesteten Personen ein ungeklärter Implantatverlust zu verzeichnen gewesen (Sicilia et al., 2008: 823-835).

3 ein- vs. zweiteilige (Zirkoniumdioxid)Implantate

Man versucht mit jeglicher Art von Ersatz den natürlichen Zahn in puncto Funktion, Stabilität und Ästhetik so gut wie irgend möglich zu imitieren. Mit Implantaten ist dies bereits nahezu in jeglicher Hinsicht relativ gut gelungen. Es kann eine sehr gute Stabilität erreicht werden, was zu sehr guten Ergebnissen im Bereich der Funktion führt. Außerdem gelingen mit den heutigen Abutment- und Kronenmaterialien täuschend echte Versorgungen. Für ein absolut natürliches Empfinden ist aber auch eine entsprechende Weichgewebsadaptation unabdingbar. Genau aus diesen Gründen ist man auf der Suche nach möglichen Ursachen, die eine mangelhafte Einheilung oder Schleimhutanlagerung verursachen beziehungsweise die Entstehung von periimplantärem Entzündungsgeschehen begünstigen können.

Ein möglicher Ansatzpunkt ist der Mikrospace, der bei zweiteiligen Implantatsystemen im Bereich der Verbindung von Implantatkörper mit –abutment besteht.

3.1 Mikrospace

Bei zweiteiligen Implantaten kann es im Bereich der Innenverbindung zu solchen Mikrospace kommen. In Abhängigkeit der Art dieser Verbindung (geschraubt, zementiert, konisch, Sechskantverbindungen, ...) können diese Bereiche größer oder kleiner ausfallen, was sich durch eine bessere oder schlechtere Penetrierbarkeit für Bakterien äußern kann. Die Gruppe um Assenza kam in ihrer Untersuchung zu dem Schluss, dass von den drei getesteten Verbindungsarten die zementierte, gefolgt von der internen konischen Verbindung gegenüber der geschraubten Innenverbindung eine deutlich geringere bis gar keine Penetrierbarkeit für die beiden verwendeten Bakterienspezies (*Aggregatibacter actinomycetemcomitans* und *Pseudomonas aeruginosa*) aufwies. Allerdings sind die Bereiche im Inneren des Implantats geschützt und könnten so ein Bakterienreservoir bilden, was wiederum mögliche Auswirkungen auf das periimplantäre Gewebe und das langfristige Überleben von Implantaten haben kann (Assenza et al., 2012: 491-497). Einen die Mikroorganismen-Penetrationsfähigkeit vermindern – wenn auch keinen signifikant bedeutenden – Effekt, kann die Kraft, mit der die Implantat-Abutment-Verbindung verschlossen wird, haben. Bei einer zu geringen Verschlusskraft kommt es in Einzelfällen zum Austritt von Mikroorganismen, wenn die Implantatsystem-spezifische Kraft aufgewendet wird, ist dies laut J.P. da Silva-Neto et al. vermeidbar, wenngleich die Bakterien im Inneren der Verbindung nach Ende des Versuches noch lebens- und vermehrungsfähig waren. Dies konnte durch Öffnung der Implantat-Abutment-Verbindung und Übertragung in ein steriles Nährmedium, in dem sich ein Wachstum der Kolonien zeigte, bewiesen werden (da Silva-Neto et al., 2012: 581-587). Es konnte ein Anstieg der Entzündungszellen in unmittelbarer Nähe der Implantat-Abutment-Verbindung festgestellt werden, die im Vergleich dazu bei einteiligen Implantatsystemen nur in geringer Anzahl vorhanden waren. Außerdem besteht

ein direkter Zusammenhang mit der Position des Mikropaltes in Bezug auf das Knochenniveau. Je weiter subkrestal die Verbindung zu liegen kommt, desto größer war die Anzahl der neutrophilen Leukozyten und desto stärker die Knochenresorption (Broggini et al., 2006: 473-478). Aufgrund der Penetrationsmöglichkeit durch die Implantat-Abutment-Verbindung nimmt man an, dass dieser Flüssigkeits- und Mikroorganismenfluss aus der Mundhöhle, einen auslösenden Reiz für die Rekrutierung von Entzündungszellen darstellt bzw. diese aufrecht erhält (Broggini et al., 2003: 232-237).

Der Implantatverlust kann grob auf die Bereiche biologische, mechanische, iatrogene und funktionelle Ursachen aufgeteilt werden (Scarano et al., 2005: 269-275; Esposito et al. 1999: 473-490). Der Mikropalt kann in diesem Zusammenhang sowohl mit dem biologischen Versagen, durch eine Verschleppung der Bakterien in den Schraubenkanal, von wo sie, wie bereits erwähnt, wieder in das periimplantäre Gewebe penetrieren können, als auch mit einer mechanisch bedingten Komplikation, durch die Mikrobeweglichkeit, wodurch es zum Versagen der internen Implantat-Abutmentverbindung kommen kann, zusammenhängen (Scarano et al., 2005: 269-275).

Oft wird nur die Penetration von Bakterien aus dem Implantatinneren in das periimplantäre Gewebe untersucht, wohingegen auch die Möglichkeit eines Eindringens von Mikroorganismen durch den Abutment-Schraubenkanal, bei verschraubten Versorgungen, eine mögliche Bakterienquelle darstellt und nicht außer Acht gelassen werden darf. Häufig werden für den Abutmentverschluss, bevor der Kunststoff für die okklusale Abdeckung aufgetragen wird, Wattepellets, Silikonmaterialien oder plastisch verformbare Materialien, wie zum Beispiel Gutta-Percha, verwendet. Der Vorteil der flüssig eingebrachten Verschlussmaterialien besteht in der besseren Adaptation an die Kanalwand, wobei die zusätzliche laterale Kondensation bei Gutta-Percha einen deutlich dichteren Abschluss erreicht, als die sehr häufig verwendeten Watte-Pellets (Park et al., 2012: 173-180). Ein anderer Ansatz besteht zum Beispiel in der von der Firma m&k dental (Kahla, Deutschland) angebotenen Golddichtung für das Implantatsystem Trias[®]. Es besteht die Möglichkeit diese Dichtung zwischen Implantat und Abutment einzubringen, welche sich aufgrund der physikalischen Eigenschaften des Edelmetalls an die Gewinde anpasst – dies macht man sich in ähnlicher Weise beim Anfinieren von Inlays bzw. Onlays aus Gold bereits lange zu Nutze – und somit den Mikropalt ausfüllt bzw. dadurch eine Randspaltoptimierung stattfindet (Schermer, 2007: 37-40).

Von Hermann et al. konnte ebenfalls eine direkte Verbindung zwischen Mikropalt und krestalem Knochenverlust festgestellt werden. Sie hingegen zeigten im Tierversuch, dass bei einer Koronalverschiebung der Verbindung weniger Knochenverlust, bei einer tieferen Insertion in den Knochen jedoch ein größerer Abbau auftritt (Hermann et al., 2000: 1412-1424). Allerdings konnte das nahezu selbe Forschungsteam in einer späteren Tierstudie

feststellen, dass es dabei nicht nur um die Position des Mikrospalts und den möglichen bakteriellen Einfluss, sondern auch um die Tatsache, wie weit entfernt sich die Implantat-Abutmentverbindung vom Übergang der glatten zur rauhen Implantatoberfläche befindet und um die Möglichkeit der Mikrobeweglichkeit im Bereich der Verbindung, geht. So postulierten sie, dass bei einer Distanz von mehr als 1,5 - 2mm zwischen dem Mikrospalt und der Grenze von glatter zu rauher Oberfläche der Einfluss dieses Übergangs mehr Bedeutung bekommt und umgekehrt, wenn die Distanz geringer als 1,5 - 2mm ist, der Einfluss des Mikrospalts, in Hinblick auf die Menge des Knochenabbaus, wichtiger ist. Außerdem fanden sie in derselben Studie heraus, dass nicht die Breite des Mikrospalts, sondern die Möglichkeit der Beweglichkeit zwischen Implantat und Abutment einen signifikanten Unterschied in Bezug auf das Knochenniveau bewirkt (Hermann et al., 2001: 1372-1383). Durch Mikrobewegungen kommt es zu einem Pump-Effekt, durch den Mikroorganismen, aus dem Implantatinneren nach außen oder vom periimplantären Gewebe nach innen, durch den Mikrospalt in die Implantat-Abutment-Verbindung hinein, befördert werden können (Steinebrunner et al., 2005: 875-881). Auch Yamanishi et al. weisen in ihrer Untersuchung darauf hin, dass es sowohl durch Mikrobewegungen, den mit Mikroorganismen kontaminierten Mikrospalt, eine übermäßige Belastung, als auch durch vermehrtes Zu- und Aufschrauben der Implantat-Abutment-Verbindung zu marginalen Knochenverlusten und vermindertem Remodelling kommen kann (Yamanishi et al., 2012, 1126-1133).

Allerdings spielen nicht allein mechanische und bakterielle Umstände eine Rolle. Es kann zusätzlich auch noch ein Zusammenhang mit einem Genpolymorphismus im IL-1-Rezeptorantagonist-Gen (IL-1RN) bestehen, welcher sich negativ auf das periimplantäre Knochengewebe auswirkt. Bei Trägern dieses Polymorphismus ist die Wahrscheinlichkeit, dass, bei entsprechender Bakterienbesiedelung, eine Periimplantitis auftritt, signifikant erhöht (Odds Ratio: 2,6). Es konnte gezeigt werden, dass zwischen 36% und 46% der Patientinnen / Patienten mit Periimplantitis diesen Genpolymorphismus – im Gegensatz zu 33% bei der gesunden Population – aufweisen (Laine et al., 2006: 380-385). Des Weiteren ist es bekannt, dass Stress und Rauchen ebenfalls nicht zu vernachlässigende Risikofaktoren darstellen.

4 Periimplantitis

Dass Parodontitis im natürlichen Gebiss eine ernst zu nehmende Krankheit darstellt und – neben den Gefahren durch die Keimstreuung im gesamten menschlichen Organismus – unbehandelt bis zum Zahnverlust führen kann, ist mittlerweile ein weit verbreitetes Faktum. Doch ebenso spielt in der Implantologie die entzündliche Erkrankung des Zahnhalteapparates in Form der Periimplantitis eine wichtige Rolle in Hinblick auf die Langlebigkeit der Versorgung. Auch hier ist es wesentlich zwischen der reversiblen Vorstufe, der periimplantären Mukositis, welche durch Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen, wie sie in der Parodontaltherapie üblich sind, heilbar ist und Periimplantitis zu unterscheiden. In diesem Stadium der Erkrankung kann es bereits zum Knochenverlust kommen (Zitzmann, 2008: 286–291).

Außerdem spielt es eine Rolle, ob Patientinnen oder Patienten, welche sich für eine implantologische Versorgung entscheiden, parodontal als gesund eingestuft werden können oder nicht. Es besteht ein Zusammenhang zwischen der bereits vorliegenden Gesamtsondierungstiefe und dem Attachmentverlust im bestehenden Gebiss. Je höher diese sind, desto höher ist auch der zu erwartende Attachmentverlust rund um das Implantat. Bei vorliegender chronischer Parodontitis konnte ein 4- bis 5-fach erhöhtes Risiko für eine Periimplantitis festgestellt werden (Karoussis et al., 2003: 329-339). Ein noch deutlicheres Ergebnis für die Risikosteigerung, dass Periimplantitis auftritt, kann dargestellt werden, wenn die Betroffenen, bei denen implantiert wird, an generalisierter aggressiver Parodontitis gelitten haben. Dies wurde in einer Studie von Swierkot et al. mithilfe der Untersuchung von 35 Patientinnen und Patienten, welche aufgrund der Erkrankung erfolgreich – mindestens 2 Jahre im 3 monatigen Recall vor der Implantatinserktion – in Behandlung waren und 18 gesunden Probandinnen und Probanden beschrieben. Hierbei konnte gezeigt werden, dass für die erkrankten Individuen ein 5-fach erhöhtes Risiko einen Implantatverlust zu erleiden, eine 3 mal größere Gefahr periimplantäre Mukositis zu bekommen und eine 14-fache Risikosteigerung für das Auftreten von Periimplantitis vorliegt. Ein vergleichsweise geringeres Risiko für Periimplantitis fiel bei männlichen Patienten mit einem Alter von über 50 Jahren auf, wobei Männer zwischen 41 und 49 Jahren wiederum ein höheres Erkrankungsrisiko präsentierten. Raucherinnen bzw. Raucher zeigten auch hier insgesamt eine OR von ungefähr 3 (Swierkot et al., 2012: 1213-1225). Sollte eine Periimplantitis vorliegen, ist es empfehlenswert die Patientin / den Patient in einem lebenslangen Recall zu behalten. Ist die Periimplantitis schon zu weit fortgeschritten, bzw. ist, trotz Therapie, keine Besserung zu verzeichnen, sollte man eine Explantation und Neuinsertion nach Heilung des Defekts überlegen (Singh, 2011: 622-626). Neben bereits vorangegangener parodontaler Erkrankungen stellen ein schlechtes Mundhygieneniveau, Diabetes, Rauchen, Zementreste, okklusale Überbelastung und, wie bereits früher erwähnt, genetische Prädispositionen

zusätzliche Risikofaktoren für Periimplantitis bzw. deren Ausprägung dar (AAP - American Academy of Periodontology, 2013: 436-443).

Es ist in jedem Fall von äußerster Wichtigkeit die Patientinnen und Patienten für die ersten Anzeichen periimplantärer Erkrankungen zu sensibilisieren, da eine Behandlung bei beinahe allen Individuen eine Besserung der klinischen Symptome, wie zum Beispiel Verringerung des Bleeding on probing (BOP) beziehungsweise eine Stabilisierung oder sogar Verbesserung des klinischen Attachment Niveaus, bewirken kann (Schwarz et al. 2005: 44–52). Je früher begonnen werden kann, desto effektiver gestaltet sich die Therapie, da es, wie bereits oben erwähnt, die periimplantäre Mukositis ist, welche reversibel ist. Es gibt auch die Vermutung, dass selbst diese Form der Erkrankung in unterschiedliche Stadien einzuteilen wäre, welche in verschiedenem Maß auf die Behandlung ansprechen. Nur mit rechtzeitig eingeleiteten Schritten kann ein Fortschreiten zur ausgeprägten Periimplantitis und in weiterer Folge der Implantatverlust vorgebeugt werden. Gerade bei Implantaten stellt dies einen wichtigen Faktor dar, da natürliche Barrieren, wie das parodontale Ligament, eine höhere Anzahl von Fibroblasten und Blutgefäßen welche beim Zahn vorliegen, nicht vorhanden sind (Zeza B., 2012: 83-89). Außerdem liegt mit sichergestellter Infektionskontrolle und professioneller Parodontaltherapie, im besten Fall gut organisiert an einer Universitätsklinik, keine absolute Kontraindikation für eine implantologische Versorgung von Patientinnen und Patienten mit parodontalen Beschwerden vor, was die Wichtigkeit des Einschreitens für das Versorgungsspektrum noch unterstreicht (Kim K.-K., 2012: 210-217; Pjetursson et al., 2012: 888–894).

klinische Untersuchung

5 Material

Neben der Literaturrecherche standen die Ergebnisse von 11 Nachuntersuchungen des PatientInnenkollektives zur Verfügung. Der Prozess der Implantation und die ersten Kontrollergebnisse wurden bereits in der Arbeit „Immediate provisional restoration of single-piece zirconia implants: a prospective case series – results after 24 months of clinical function“ (Payer et al., 2012: 1-7) beschrieben und können dort nachgelesen werden.

Im Rahmen der damaligen und dieser Kontrolluntersuchung wurden folgende Parameter erhoben:

- objektive Beurteilung des Weichgewebeerscheinungsbildes mit Hilfe des Pink Esthetic Scores (PES) mittels intraoraler Fotografien der entsprechenden Region
- parodontaler Sondierungsstatus mit Hauptaugenmerk auf die Indices:
 - Bleeding on Probing nach Ainamo und Bay (BOP) (1975)
 - Plaqueindex nach O’Leary (PI) (1972)
- Ausdehnung der keratinisierten Gingiva (unter Zuhilfenahme der Parodontalsonde wird die Distanz vom Gingivalrand bis zur Mukogingivalgrenze gemessen)
- Knochenverlust mittels Kleinbildröntgen in Rechtwinkeltechnik

Außerdem wurde mit den Patientinnen und Patienten ein persönliches Gespräch über ihre subjektive Zufriedenheit mit dem Implantat und ihre Einschätzung des ästhetischen Erscheinungsbildes sowie die funktionelle Eingliederung in ihren Kauapparat geführt.

6 Methoden (klinische Untersuchungen)

Bei den Erfolgskriterien in der Beurteilung von Implantaten orientiert man sich in den meisten Fällen an jenen, welche von Albrektsson et al. bereits im Jahr 1986 definiert wurden. Es sollten bei einem erfolgreich inserierten Implantat keine subjektiven Beschwerden (dazu zählen zum Beispiel Schmerzen oder Fremdkörperempfinden), keine periimplantären Entzündungen des Weichgewebes, keine übermäßige Beweglichkeit sowie keine kontinuierliche radiologische Aufhellung rings um das Implantat und kein vertikaler Knochenverlust höher als 0,2mm jährlich nach dem ersten Jahr in Funktion, auftreten. Außerdem hält die Gruppe eine Überlebensrate von 85% nach 5 und eine von 80% nach 10 Jahren als Erfolgsnachweis fest (Albrektsson et al., 1986: 11-25).

In den Folgejahren wurden weitere Beurteilungsparameter hinzugefügt, um eine vielseitigere Aussage, vor allem auch, hinsichtlich lebensnaher ästhetischer Ergebnisse und Funktion treffen zu können. Dazu gehören laut einem Review von Papaspyridakos et al. (2012) zum einen der Gesundheitszustand und das möglichst natürliche Erscheinungsbild der Gingiva, prothetische Parameter, die Ästhetik im Allgemeinen und das subjektive Empfinden der Patientinnen und Patienten (Papaspyridakos et al., 2012: 242-248).

6.1 Merkmale des PatientInnenkollektives

Das PatientInnenkollektiv der vorliegenden Untersuchung besteht aus dem der klinischen Pilot-Studie, welche, wie bereits erwähnt, im Rahmen der Erstellung einer Publikation mit dem Titel „Immediate provisional restoration of single-piece zirconia implants: a prospective case series – results after 24 months of clinical function“ (Payer et al., 2012: 1-7) an der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz, am Department für orale Chirurgie, unter der Leitung von Univ.-Prof. DDr. N. Jakse, in Ausführung von einem Team rund um Assoz.Prof. DDr. M. Payer, im Jahr 2008 begonnen und durchgeführt wurde.

Von gesamt 20 Implantaten, welche im Zeitraum von November 2008 bis November 2009 inseriert wurden, mussten 3 ProbandInnen ausgeschlossen werden, da sie die Einschlusskriterien nicht erfüllen konnten. Außerdem musste ein Implantatverlust aufgrund erst abschließend erreichter Primärstabilität verzeichnet werden. Dieses Individuum wurde ebenfalls aus der Folgeuntersuchung ausgeschlossen. Zur Kontrolluntersuchung konnten von den übrigen 16 PatientInnen 11 rekrutiert werden. Darunter 5 weibliche und 6 männliche Personen, mit einem durchschnittlichen Alter von 52,4 Jahren (30,3a bis 74,4a). Voraussetzung für die Rekrutierung als Studienpatientin / Studienpatient war das Vorhandensein einer Einzelzahnlücke mit ausreichend Platz zur Implantatinserterion, ohne die Notwendigkeit augmentativer Maßnahmen und Gegenbiss. Es gab keine Einschränkung, was die Lokalisation der Lücke angeht. Andere bereits vorhandene Implantate waren, unabhängig vom Material, kein Ausschlussgrund.

Im Folgenden werden nun die Vorgehensweise und die verschiedenen Untersuchungskriterien zur Erfolgsbeurteilung, welche bei dieser Kontrolle Anwendung fanden, näher erörtert.

6.2 Pink Esthetic Score

Beim Pink Esthetic Score (PES) handelt es sich um einen Index, mit dem das Verhalten des periimplantiären Weichgewebes und des Alveolarknochens nach einer Implantation, in Relation zu einem Vergleichszahn, objektiv beurteilt werden kann. Dabei werden 7 verschiedene Beurteilungsparameter herangezogen.

Diese sind das Erscheinungsbild der mesialen und distalen Papille, das Weichgewebsniveau, die Weichgewebkontur, das Alveolarfortsatzdefizit, die Farbe und die Textur des Weichgewebes.

Pro Kriterium können 0 bis maximal 2 Punkte vergeben werden, wobei 0 für das schlechteste und 2 Punkte für das beste vorliegende Ergebnis vergeben werden können. Daraus resultiert das zu erreichende Maximum von 14 Punkten.

Von Fürhauser et al. wurde die reproduzierbare Beurteilung der periimplantären Weichgewebsentwicklung mittels des PES im Rahmen einer Studie mit 5 Prothetikern, 5 Oralchirurgen, 5 Studierenden der Zahnmedizin und 5 Kieferorthopäden, welche das periimplantäre Weichgewebe von 30 Einzelzahnimplantaten anhand der zuvor genannten 7 Kriterien beurteilen mussten, überprüft (Fürhauser et al., 2005: 639–644). Ein gutes ästhetisches Ergebnis ist allerdings auch von teils zuvor gegebenen Umständen abhängig. Es sollten optimale Voraussetzungen in Hinblick auf das Knochenvolumen und die Knochenkontur, den Parodontalzustand, welcher gesund und stabil sein sollte, das bereits vorhandene ästhetische Erscheinungsbild des Weichgewebes und eine optimale Implantatposition vorliegen (Juodzbalys 2007: 237–243). Speziell im Falle von Frontzahnrestorationen kann auch eine Beurteilung mit dem White Esthetic Score (WES) erfolgen, der die Kriterien Ausdehnung, Form, Farbe, Oberflächenstruktur sowie Transluzenz bzw. Charakterisierung der Krone - ebenfalls mit einem 0 bis 2 Punktesystem - beurteilt (Belser et al., 2009: 140-151). Es wird allerdings keine Auskunft über den Erfolg des Implantates an sich gegeben. Ein weiterer Index, der das ästhetische Erscheinungsbild der Implantatkrone und dem umliegenden Weichgewebe vereint, ist der Implantat Kronen Ästhetik Index. Dieser wurde ziemlich zeitgleich mit dem PES (Fürhauser et al., 2005) von Meijer et al. (2005) entwickelt und bezieht die nachfolgend genannten 9 Punkte ein, von denen sich 5 auf die Krone und 4 auf die Mukosa beziehen. Dies sind: die mesiodistale Ausdehnung, die Position der Inzisalkante, die labiale Konvexität, die Farbe und Transluzenz sowie die Struktur der Krone, die Position der marginalen Gingiva, die Position der papillären Gingiva im interdentalen Dreieck, die Kontur der labialen Oberfläche der Mukosa in Bezug auf den Alveolarknochen sowie als letzten Punkt die Farbe und Oberfläche der Gingiva. Die Beurteilung erfolgt nicht nach einem einheitlichen Punktesystem, sondern hat abhängig vom jeweiligen Kriterium 3 bis 5 Charakterisierungsmöglichkeiten, welche wiederum mit 0, 1 oder 5 Strafpunkten gewertet werden. Liegen 0 Strafpunkte vor, handelt es sich um ein

exzellentes, bei 1 bis 2 Punkten um ein zufriedenstellendes, bei 3 oder 4 Punkten um ein moderates und bei 5 oder mehr Strafpunkten um ein schlechtes ästhetisches Ergebnis. Zum Vergleich werden die benachbarten bzw. kontralateralen Zähne als Referenzzähne verwendet und nicht allgemein gültige Durchschnittsrichtlinien, da ein natürliches Aussehen für das jeweilige Individuum im Vordergrund steht. Erfolgt die Untersuchung innerhalb eines Kollektives durch dieselbe Prothetikerin / denselben Prothetiker erlangt man die einheitlichsten Ergebnisse (Mejier et al., 2005: 645-649). Da in den vorangegangenen Kontrolluntersuchungen ebenfalls der PES verwendet wurde und der Implantat Kronen Ästhetik Index eine deutlich variablere Beurteilbarkeit beinhaltet bzw. es beim WES nur um die ästhetischen Aspekte der Krone geht und somit mögliche Anzeichen auf Entzündungen im Weichgewebe aus der Wertung ausgeschlossen sind, wurde in dieser Untersuchung auf diese beiden Indices verzichtet, welche hier nur der Vollständigkeit halber erwähnt seien.

Zu Beginn der Kontrolluntersuchung wurden die intraoralen Aufnahmen (Beispielfoto siehe Abb. 4) mit einer Spiegelreflexkamera der Fa. Nikon (Nikon D300) mit



Abb. 4: Zu sehen ist eine intraorale Aufnahme der Implantatregion 21 auf der die natürliche Färbung und Textur der Gingiva deutlich zu erkennen sind. Die Papillen gleichen denen der natürlichen Nachbarzähne, da gesamt bereits eine parodontale Schädigung vorliegt.

gleichbleibenden Einstellungen angefertigt. Für die Blende wurden die Werte $f=36$ oder $f=40$ gewählt, um eine größtmögliche Tiefenschärfe zu erreichen. Die Belichtungszeit betrug 0.001 Sekunden. Die Schärfe wurde manuell eingestellt. Es wurde ein AF-S MICRO NIKKOR 105mm 1:2.8 G ED Nikon Objektiv verwendet. Diese Vorgehensweise wurde aus der Überlegung heraus getroffen, um eine mögliche Beeinflussung des PES durch eventuelle Blutung nach Sondierung oder Verfärbung im Zuge der PI-Erhebung zu vermeiden. Die

Beurteilung des PES erfolgte durch denselben Prothetiker, der auch die bereits stattgehabten Untersuchungen leitete, um ein gleichmäßiges Ergebnis zu gewährleisten. Gehrke et al. kamen zum selben Ergebnis wie zuvor die Gruppe um Fürhauser, welches zeigt, dass es zu Unterschieden in der Beurteilung bei verschiedenen Befundern kommen kann (Gehrke et al., 2008: 375-384).

6.3 Bleeding on Probing / Plaque Index

Aufgrund der im Kapitel „Periimplantitis“ beschriebenen Gegebenheiten, steht es außer Frage, dass die periimplantäre Gesundheit des Halteapparates einen entscheidenden Faktor in der Charakteristik des Implantaterfolgs spielt.

Parodontal gesunde Menschen sollten Sondierungstiefen im physiologischen Bereich von 0mm bis 3mm, einen Gesamt-BOP von 0% und einen PI von $\leq 30\%$ aufweisen.

Somit erschien es notwendig mittels objektivierbarer Indices den Parodontalzustand jeder Patientin/ jedes Patienten zu beurteilen. Dazu wurden der Sondierungsstatus – wobei man mit der Parodontalsonde die Distanz zwischen Gingivalrand und Taschenfundus misst – und die Stellen mit Blutung, auf dem Untersuchungsbogen - der an der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Graz zur Verfügung steht - eingetragen (siehe Abb. 5). Zu diesem Zweck fand die Sondierung an 6 Stellen (distobukkal, bukkal, mesiobukkal sowie distolingual, lingual und mesiolingual) jedes einzelnen Zahnes statt, welche mit Ausnahme der Implantatregion, mit einer, nach WHO-Vorgaben, standardisierten Parodontalsonde durchgeführt wurde. An den Implantaten wurde die Sondierung mit einer speziellen Implantatparodontalsonde aus Gummi vorgenommen. Im Falle des BOP wird das Vorliegen einer Blutung mit 1 und das Fehlen derselben mit 0 bewertet. Es liegt also eine dichotome Beurteilung, die nur das Vorhanden- oder Nicht-Vorhandensein eines Zustandes angibt, vor. Die Berechnung erfolgt anhand der Division der Anzahl der positiven Messstellen, welche mit dem Faktor 100 multipliziert wird, durch die Anzahl der Gesamtmessstellen. Das Ergebnis wird als prozentueller Wert für das jeweilige Individuum angegeben und sollte im Optimalfall bei 0% liegen. Dasselbe Bewertungssystem erfolgt beim Plaqueindex nach O'Leary der auf einem separaten Bogen eingetragen wurde. Dieser wird an vier Stellen des Zahnes, und zwar mesial, bukkal, distal und lingual, abgenommen. Auch hier erfolgt die Division der positiven Messstellen mal 100 durch die Anzahl der Gesamtmessstellen, wobei das Ergebnis ebenfalls eine Prozentangabe darstellt, welche hier allerdings einen Wert von unter 30% haben sollte. Zuvor erfolgte ein Anfärben der Zähne mit einer Färbelösung (Mira-2-Ton^R Plaquefärbelösung, Hager & Werken Verwaltungs-GmbH, Duisburg) zur deutlichen Sichtbarmachung der angelagerten Plaque (siehe Abb. 6). Es gibt in beiden Fällen keine Gradeinteilung der Indices BOP und PI. Der Entzündungs-/ bzw. Erkrankungsgrad wird aber umso schwerwiegender angenommen, je höher die Werte liegen.

6.4 keratinisierte Gingiva

Definiert wird die keratinisierte Gingiva als der Anteil der Schleimhaut, der vom freien Gingivalrand bis zur Mukogingivalgrenze reicht. Als attached Gingiva bezeichnet man den Bereich der Schleimhaut, welcher die Distanz zwischen der Mukogingivalgrenze und der Projektion des gingivalen Sulkus beziehungsweise der parodontalen Tasche auf die orale Seite der Gingiva darstellt. Dies ist meist anhand einer kleinen Furche am Zahnfleisch knapp unter dem freien Gingivarand zu sehen. Es ist wichtig diese nicht mit dem Begriff der keratinisierten Gingiva gleichzusetzen, da diese den Bereich zwischen gingivaler Furche und dem Gingivarand miteinschließt (Kolte R. et al, 2014: 478-481). Unter Zuhilfenahme der Parodontalsonde wird diese Distanz gemessen und in Millimeter angegeben. Zur besseren Sichtbarmachung der Mukogingivalgrenze kann man den Rolltest heran ziehen, bei welchem man die bewegliche Schleimhaut in Richtung der unbeweglichen streift. Eine andere Möglichkeit ist die Anfärbung der glykogenhaltigen freien Mukosa mittels der Schiller'schen Jodlösung. Die Farbstoffe werden nur bei Vorhandensein von Glykogenen eingelagert. Dadurch stellt die Mukogingivalgrenze den Übergang von der gefärbten Mukosa zur ungefärbten keratinisierten Gingiva dar.

Für die Breite der keratinisierten Gingiva gibt es keine eindeutigen Angaben, da diese in Abhängigkeit vom Ober- oder Unterkiefer, von der Position im Zahnbogen, dem Geschlecht und Alter der Patientin / des Patienten variiert. Sie ist im Oberkiefer und bei Männern prinzipiell deutlicher ausgeprägt. Mit zunehmendem Alter nimmt die attached Gingiva und somit auch die keratinisierte Gingiva an Breite zu. Es wurde des Weiteren festgestellt, dass Männer eine geringfügig breitere keratinisierte Gingiva aufweisen als Frauen, wobei der Unterschied hierbei nicht signifikant ist (Kolte et al, 2014: 478-481). Für die Dicke der Gingiva gilt allerdings, dass sie mit dem Alter abnimmt (Vandana und Savitha, 2005: 828-830).

Am breitesten ist die keratinisierte Gingiva im Bereich der Oberkiefer Front, am wenigsten ausgeprägt ist sie an den Unterkiefer Inzisivi und den Prämolaren.

6.5 radiologische Untersuchung

Die radiologische Untersuchung erfolgte mit Hilfe von standardisierten Kleinbildaufnahmen in Rechtwinkeltechnik. Sie wurden mit dem digitalen Röntgen Heliodent plus^R der Firma Sirona, (Wals, Salzburg, Österreich) durchgeführt.

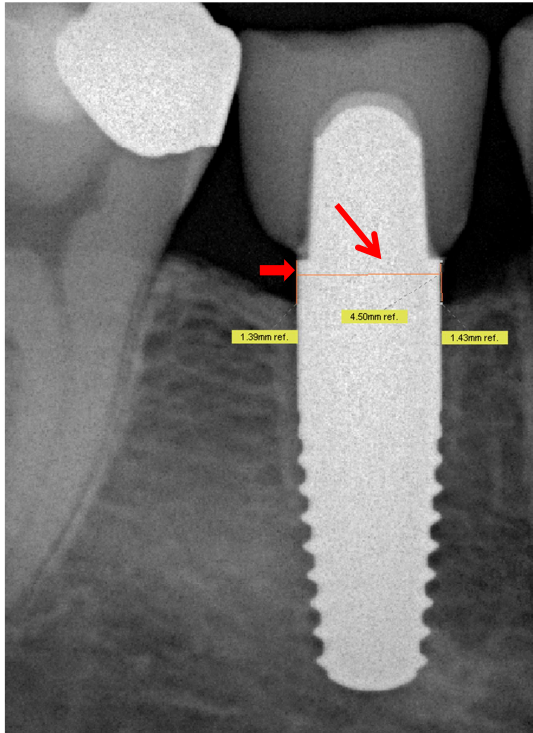


Abb. 7: Kleinbildröntgen Implantat 46 mit einem Durchmesser von 4,5mm, welcher als Referenzstrecke (↘) für die Längenbemessung (→) des Knochenniveaus fungiert.

Anschließend wurde im Röntgen-Software Programm Sidexis^R, ebenfalls von der Firma Sirona, die Höhe des Knochenniveaus vermessen. Dazu wurde der Implantatdurchmesser als Referenz für die Berechnung des Vergrößerungseffektes des Röntgenbildes verwendet. Nachdem die Längenmaße referenziert waren, wurde mesial und distal des Implantates der Abstand von der Implantatschulter zur ersten Knochenkontur gemessen. Waren zwei deutlich sichtbare Knochenkonturen vorhanden wurde die Länge bis zur Mitte der beiden Linien gemessen (siehe Abb. 7). Die Implantatschulter wurde als Referenzpunkt gewählt, da sie einen konstanten, unveränderlichen Punkt am

Röntgenbild darstellt. Da die Implantatschulter in jedem Fall suprakrestal zu liegen kommt, wurde der zu Beginn gemessene Abstand zwischen Implantatschulter und Knochenkontur im Zuge der laufenden Berechnungen von den übrigen gemessenen Werten abgezogen. Dadurch ergibt sich für die Erstuntersuchung der Ausgangswert Null als Basislinie. Die nachfolgenden Werte stellen die Differenz zwischen dem aktuell gemessenen Niveau und dem Anfangsniveau dar und spiegeln somit die Knochenumbauvorgänge wider. Die mesial und distal festgestellten Abmessungen wurden gemittelt, um den durchschnittlichen Knochenverlust rund um das Implantat aufzuzeigen.

6.6 subjektives Empfinden der PatientInnen

In Folge des regulären Vorgehens bei Recall-Untersuchungen wurde auch im Zuge der aktuellen Kontrolle die Anamnese neu erhoben und aktualisiert. Genauerer Augenmerk wurde auf die gesundheitlichen Veränderungen der ProbandInnen gelegt.

Dementsprechend wurde anhand einer Stichwortliste mit jeder/ jedem einzelnen der PatientInnen/ Patienten ein Gespräch geführt. Die Stichworte wurden dazu genutzt einen einheitlichen Ablauf des Gesprächs zu gewährleisten, um vergleichbare Aussagen zu erhalten und sich ein einheitliches Bild machen zu können. Inhaltlich wurde über deren subjektive Zufriedenheit mit dem Implantat und ihre persönliche Einschätzung der ästhetischen Heilungsergebnisse sowie funktionellen Eingliederung in ihren Kauapparat gesprochen. Außerdem wollte man herausfinden, ob es seit dem Zeitpunkt der Implantation nennenswerte gesundheitliche Veränderungen, Probleme mit dem Implantat oder der restaurativen Versorgung sowie funktionelle Beschwerden gegeben hat. Des Weiteren wurde auch nach einer möglichen parodontalen Therapie gefragt, um Auskünfte über die zwischenzeitliche Entwicklung des periimplantären Weichgewebes zu erhalten.

7 Ergebnisse der klinischen Untersuchung

7.1 Merkmale des PatientInnenkollektivs / allgemeine Ergebnisse

Vom ursprünglichen Studienkollektiv mit 20 TeilnehmerInnen mussten 3 PatientInnen ausgeschlossen werden. Die Gründe dafür lagen zum einen bei einer mangelnden Compliance was die Einhaltung der Untersuchungstermine und die Fähigkeit zur entsprechenden Mundhygiene anbelangte, zum anderen in einer ausreichenden Primärstabilität bei der Implantation, die in einem Fall nicht zu erreichen war. Bei einer Person des verbleibenden Kollektivs mit 17 ProbandInnen wurde die erforderliche Primärstabilität (von $\geq 35\text{Ncm}$) erst bei der letzten Umdrehung erreicht. Das betreffende Implantat konnte nicht ausreichend osseointegrieren wodurch bereits während der provisorischen Versorgungsperiode innerhalb der ersten 4 Monate ein Verlust eintrat.

Ausgehend vom Anfangskollektiv ergibt sich nach der Kaplan-Meier Analyse (siehe Abb. 8) eine Implantatüberlebensrate von 94,1% nach bis zu 60 Monaten Liegedauer, wenn man davon ausgeht, dass sich die Implantate der verbleibenden 5 ProbandInnen, von denen keine aktuellen Informationen zur Implantatentwicklung vorhanden sind, noch in situ befinden.

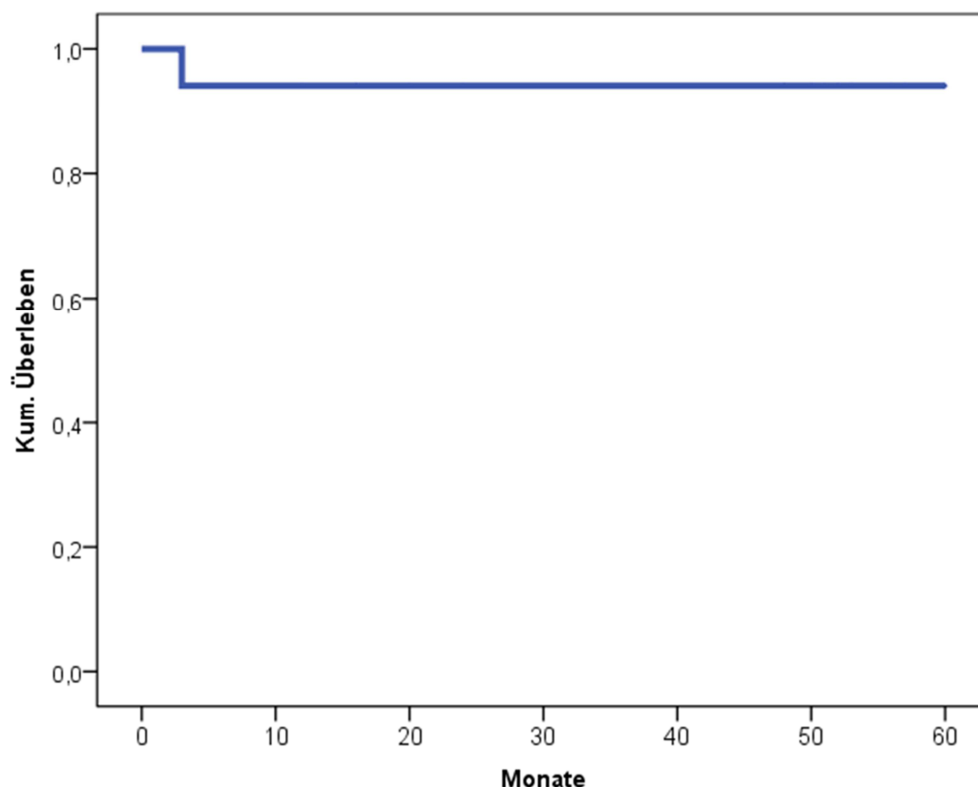


Abb. 8: Kaplan-Meier Kurve

Anhand der Kurve kann man den erlittenen Implantatverlust innerhalb der ersten 4 Monate ablesen. Die Abbildung zeigt außerdem, dass der Verlauf seit dem Verlustzeitpunkt stabil ist.

Das PatientInnenkollektiv der derzeit letzten Kontrolluntersuchung setzt sich aus 5 Frauen und 6 Männern mit einem durchschnittlichen Alter von 52,4 Jahren (30,3a bis 74,4a) zusammen.

Alle ProbandInnen geben an beschwerdefrei zu sein, das heißt, dass keine chronischen Schmerzen oder Unzulänglichkeiten im Hinblick auf die Funktionalität der Implantate vorliegen. Radiologisch sind keine, das Implantat umgebende, Aufhellungen festzustellen. Auch die durchschnittliche Knochenresorptionsrate lässt keinen Rückschluss auf eine unzureichende Osseointegration zu. Bezogen auf die parodontalen Indices lässt sich auch eine positive Entwicklung nachvollziehen. Der BOP liegt zwar bei ungefähr 10,5% ist aber noch in einem mehr oder minder tolerablen Bereich, während sich der PI mit 10,1% deutlich unter den gewünschten $\leq 30\%$ befindet. Der durchschnittliche PES von knapp 11 Punkten spiegelt vom ästhetischen Standpunkt aus gesehen ebenfalls ein positives Ergebnis wider.

Bezogen auf den allgemeinen Gesundheitszustand der ProbandInnen kann festgehalten werden, dass 6 von 11 Personen an allgemeinen Erkrankungen leiden und dementsprechend regelmäßig Medikamente zu sich nehmen müssen. In 3 von diesen Fällen kam es seit der Implantatinsertion zu Neuerkrankungen. Die Erkrankungen sind verschiedenster Natur und reichen von chronischer Bronchitis oder Darmentzündung, über entzündliche Gelenkerkrankungen, koronare Herzkrankheit, Parkinson und Prostataveränderungen bis hin zu Schilddrüsenproblemen. Daraus ergibt sich eine ebenso große Vielfalt in Hinblick auf die Medikamente der einzelnen Individuen.

Die Verteilung der in der Studie gesetzten Implantate unterliegt keiner speziellen Ordnung. Sie befinden sich sowohl im ästhetischen Bereich der Oberkieferfront und Prämolaren, als auch im funktionell voll beanspruchten Seitenzahnbereich. Dadurch war es notwendig auch verschiedene Implantatdurchmesser anzuwenden. Die genaue Verteilung kann in den Tabellen 2 und 3 nachgelesen werden.

Implantatposition	11	21	24	35	36	46
Implantatanzahl	1	1	2	1	2	4

Tab. 2: Häufigkeitsverteilung der Implantate in Bezug auf die Insertionsposition.

Implantatposition	Implantatdurchmesser [mm]		
	3,5	4,0	4,5
11		1	
21	1		
24		2	
35		1	
36		2	
46		1	3

Tab. 3: Verteilung der Implantatdurchmesser in Bezug auf die Position der Implantate.

Zum Zeitpunkt der letzten Kontrolluntersuchung beträgt die durchschnittliche Implantatliegedauer 52,5 Monate (SD \pm 3,8). Das als erstes inserierte Implantat befindet sich bereits 60 Monate in situ, das zuletzt implantierte seit 48 Monaten.

7.2 Pink Esthetik Score (PES)

Anhand der Abschlussergebnisse für den PES konnte gezeigt werden, dass es im Laufe der Implantatliegedauer zu einer deutlichen Verbesserung des ästhetischen Erscheinungsbildes über die durchschnittliche Implantatliegedauer von 52,5 Monaten gekommen ist (siehe Abb. 9).

Von einem anfangs durchschnittlichen PES von 7 Punkten, konnten die Werte bis zur letzten Kontrolluntersuchung auf knapp 11 von 14 Punkten erhöht werden. Die höchste Punktzahl, die erreicht wurde, betrug in 3 Fällen 12, wobei in jedem der Fälle der Punkteverlust auf ein nicht optimales Alveolarknochenniveau und eine reduzierte Weichgewebkontur zurückgeführt werden kann. Der niedrigste gemessene PES erreichte nur 8 Punkte, hierbei wurde einzig die Farbe des Weichgewebes mit 2 Punkten alle übrigen Kriterien mit nur 1 Punkt beurteilt. Die Untersuchungsergebnisse dieses Individuums spiegeln sich auch im Diagramm als Extremwerte wider (Pat.10 in Abb. 8).

Die Farbe des Weichgewebes wurde in allen Fällen mit 2 Punkten, also dem natürlichen Erscheinungsbild entsprechend, beurteilt, was für die Verwendung von Zirkoniumdioxidimplantaten im ästhetischen Bereich bzw. bei Vorliegen einer dünnen Schleimhaut spricht.

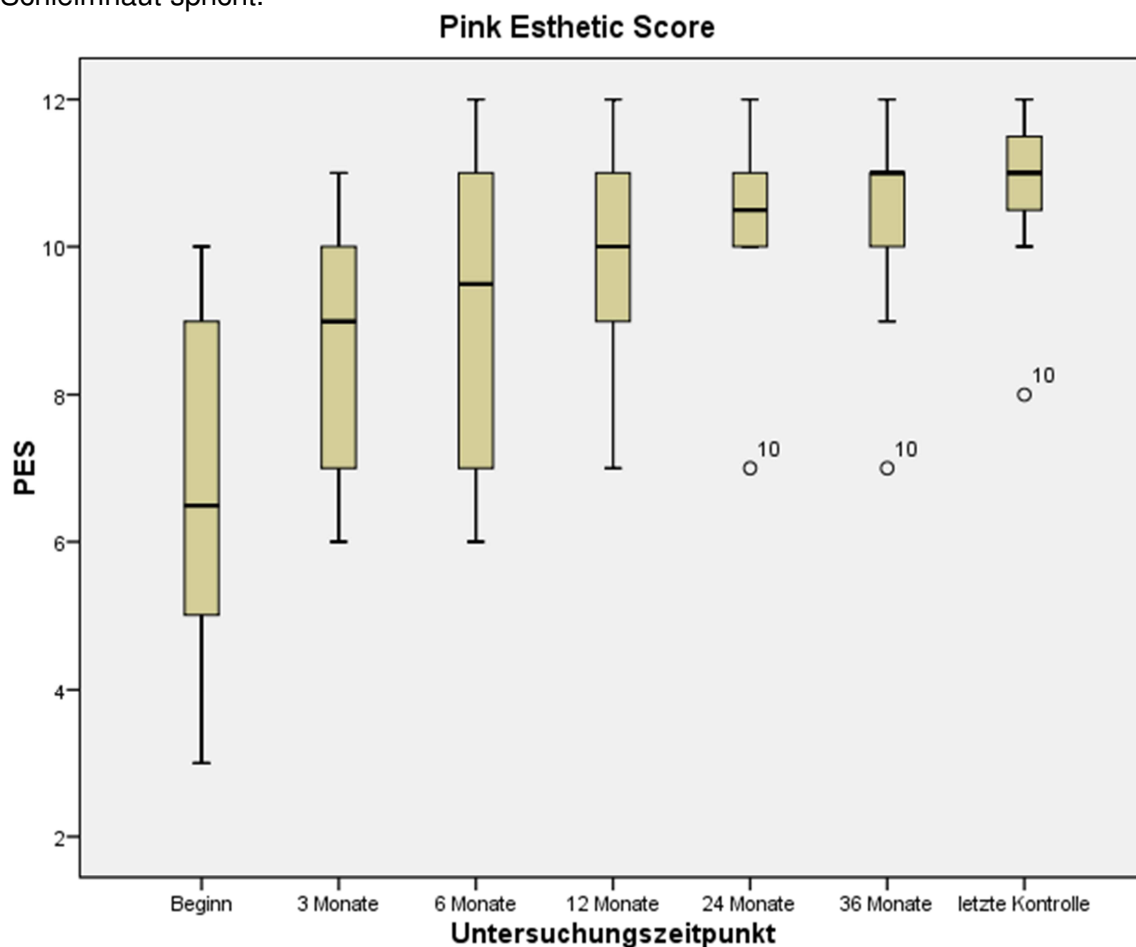


Abb. 9: Diagramm „Pink Esthetic Score“

Abgebildet sind die PES-Werte aller Patientinnen und Patienten zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

7.3 Sondierungsstatus inkl. BOP und PI

Aufgrund der erhobenen Befunde konnte gezeigt werden, dass die Sondierungstiefe bei allen Patientinnen und Patienten im Durchschnitt 2,4mm beträgt. Diese Sondierungstiefe liegt im vorher genannten Wunschbereich von bis zu 3mm. Allerdings bewegen sich die Durchschnittswerte zwischen – im besten Fall – 1mm und – im schlechtesten Fall – 4mm. Bei ca. 27% der Probandinnen und Probanden liegt der Maximalwert bei 3mm, bei allen anderen kommt es an einzelnen Stellen zu Sondierungstiefen von 5mm bis 6mm, wobei sich die durchschnittliche Maximalsondierungstiefe bei 4,7mm befindet. Allerdings kann anhand der gemessenen Indices festgestellt werden, dass beinahe keine akute Entzündung vorliegt und sich alle Personen in einem guten parodontalen Zustand befinden.

Der durchschnittliche Blutungsindex liegt bei allen Patientinnen und Patienten zum letzten Untersuchungszeitpunkt (im Mittel 52,3 Monate nach der Implantatinserterion) bei 10,5% (SD \pm 6,8), der Median bei 10%. In einem Fall kommt es bei der Endkontrolle zu überhaupt keiner Blutung auf Sondierung, was den niedrigsten BOP in dieser Untersuchung von 0% nach sich zieht. Der höchste BOP liegt bei 20%.

Bei der Auswertung der BOP-Werte am Beginn des Untersuchungsintervalls kann festgestellt werden, dass bei 9 von 11 Personen der BOP \leq 12% liegt, bei den übrigen zweien jedoch merklich höher (20% und 24%). Dadurch ergibt sich ein Mittelwert von ca. 11%. Der BOP von 24% stellt sich im Diagramm – sowohl bei der Erstuntersuchung, als auch bei der Untersuchung nach 3 Monaten – als deutlicher Ausreißer dar. Der BOP von 20% ist erst bei der 3-Monatskontrolle als Extremwert ersichtlich. Bei der Endkontrolle zeichnet sich ein breit gestreutes Ergebnis ab. Die Werte liegen zwischen 0% und 20%, wobei der Median bei 10 liegt. Es ist somit keine einheitliche Tendenz abzulesen. Aufgrund dessen fällt auch der BOP von 0% nicht als Ausreißer auf. Ein gleichbleibendes Ergebnis bzw. eine Verbesserung der ursprünglichen BOP-Werte bis zur letzten Kontrolle liegt in 6 von 11 Fällen vor. Bei 5 Patientinnen bzw. Patienten befindet sich der zuletzt festgestellte BOP über dem Anfangswert.

Die Werte können im Diagramm der Abbildung 10 abgelesen werden.

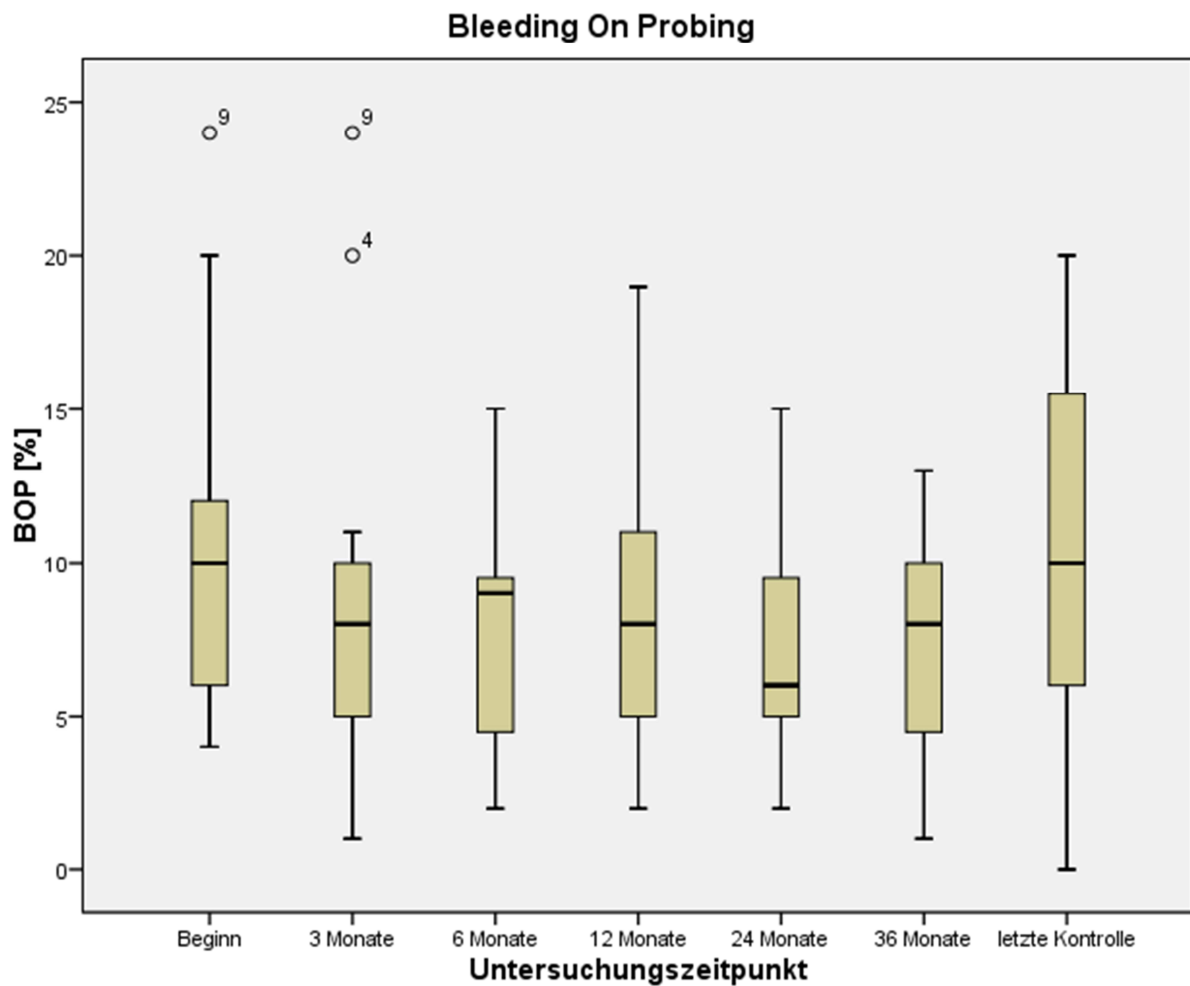


Abb. 10: Diagramm „Bleeding On Probing“
Abgebildet sind alle BOP-Werte zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

Der PI beträgt zum Untersuchungsende im Durchschnitt ungefähr 10,1% (SD ± 4,8) und befindet sich somit innerhalb des Optimalbereiches von 0% bis 30%. Die Bandbreite der Ergebnisse bewegt sich bei den Probandinnen und Probanden zwischen 3% und 17% und ist somit nicht ganz so weit gefächert, wie diese des Abschluss-BOP (0% bis 20%). Zusätzlich lässt sich bei der Entwicklung des PI vom Zeitpunkt der Implantation über den Kontrollzeitraum hinweg eine Verringerung desselben in 9 von 11 Fällen feststellen. Dies erklärt auch die Abnahme des Durchschnitts-PI von ca. 16,3% auf den oben genannten Wert (dazu siehe auch Abbildung 11). Nur einmal kommt es zu einer Verschlechterung des PI und einmal ist er am Ende gleich hoch wie zu Beginn. Bei der Person, welche zum letzten Untersuchungszeitpunkt einen BOP von 0% (der Anfangs-BOP lag bei 6%) erreicht hat, hat sich auch der PI von ursprünglich 13% auf 3% verringert. Dies stellt, vom parodontalen Standpunkt der Mundhygiene aus gesehen, in Summe das beste Abschlussergebnis des Kollektivs dar.

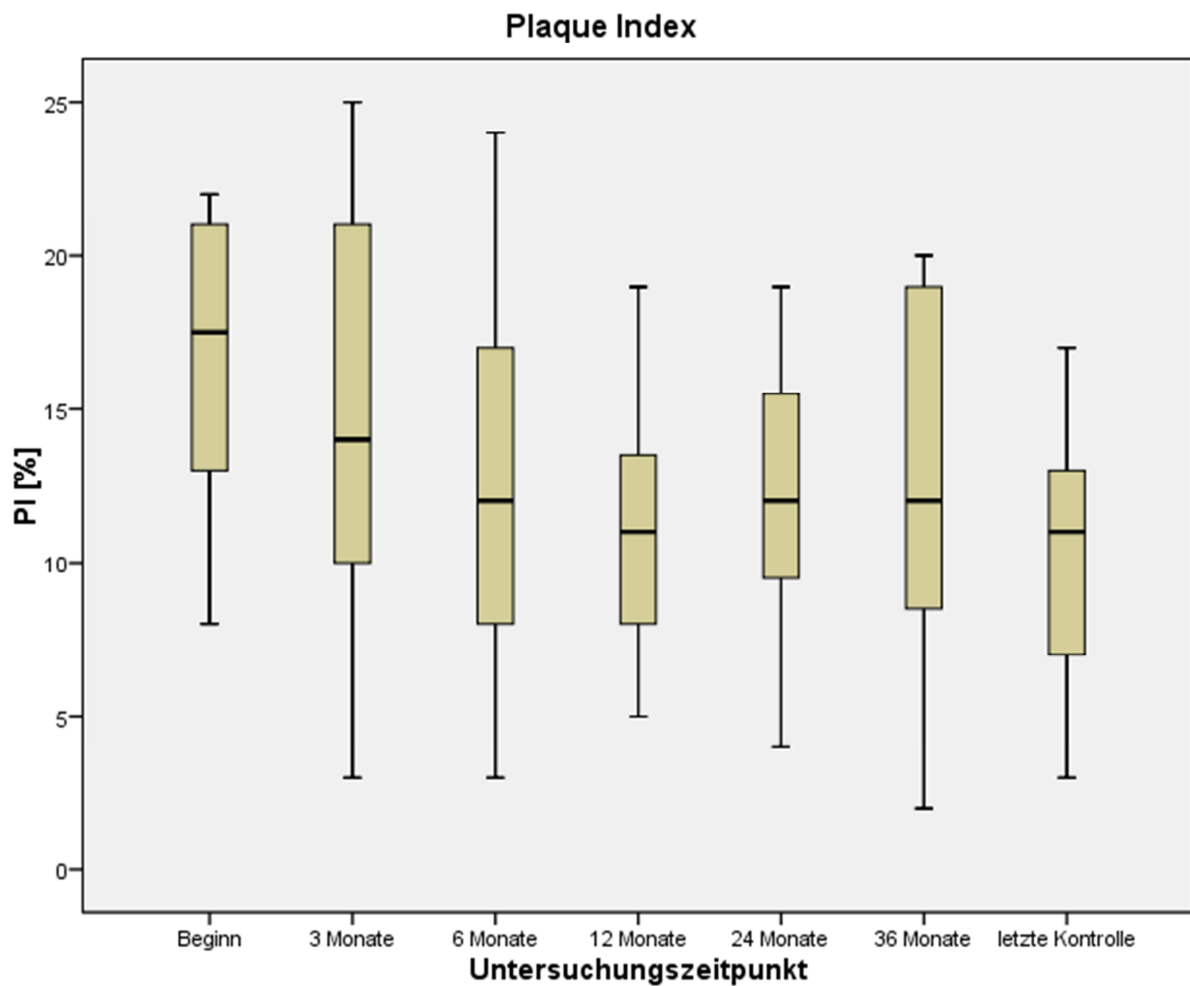


Abb. 11: Diagramm „Plaque Index“
Abgebildet sind alle PI-Werte zum jeweiligen Untersuchungszeitpunkt.

Vergleicht man die Durchschnittswerte von PI und BOP kann man feststellen, dass es innerhalb der ersten 12 Monate zu einer Verbesserung des PI (von 16,3% auf 11,2%) gekommen ist, während der BOP zu Beginn ebenfalls rückläufig ist, gegen Ende des Jahres aber wieder etwas schlechter wird (er erreicht nach 6 Monaten einen Wert von 7,9%, steigt dann aber wiederum auf 8,5% an). Im Verlauf des zweiten Jahres bessert sich der BOP abermals auf 7,4% und bleibt bis zur Kontrolle nach 36 Monaten (7,5%) stabil. Beim PI kommt es zu einer neuerlichen Verschlechterung (auf 12,9%) bis zum Abschluss des 3. Jahres, welche allerdings unter den ersten Werten bleibt. Hierbei kann man, nach der anfänglich nahezu parallelen, eine gegenläufige Entwicklung der beiden Indices beobachten. Der unterschiedliche Verlauf setzt sich auch im 4. Untersuchungsjahr fort: der BOP nimmt binnen dieses Zeitraums beinahe wieder auf den ersten Durchschnittswert zu und liegt am Ende bei 10,5% (Anfangswert: 10,9%); der PI fällt auf einen Wert von ca. 10,1% ab (in Abbildung 12 kann man anhand des Diagrammes die zuerst annähernd parallele und anschließend gering divergierende Entwicklung der beiden Indices nachvollziehen).

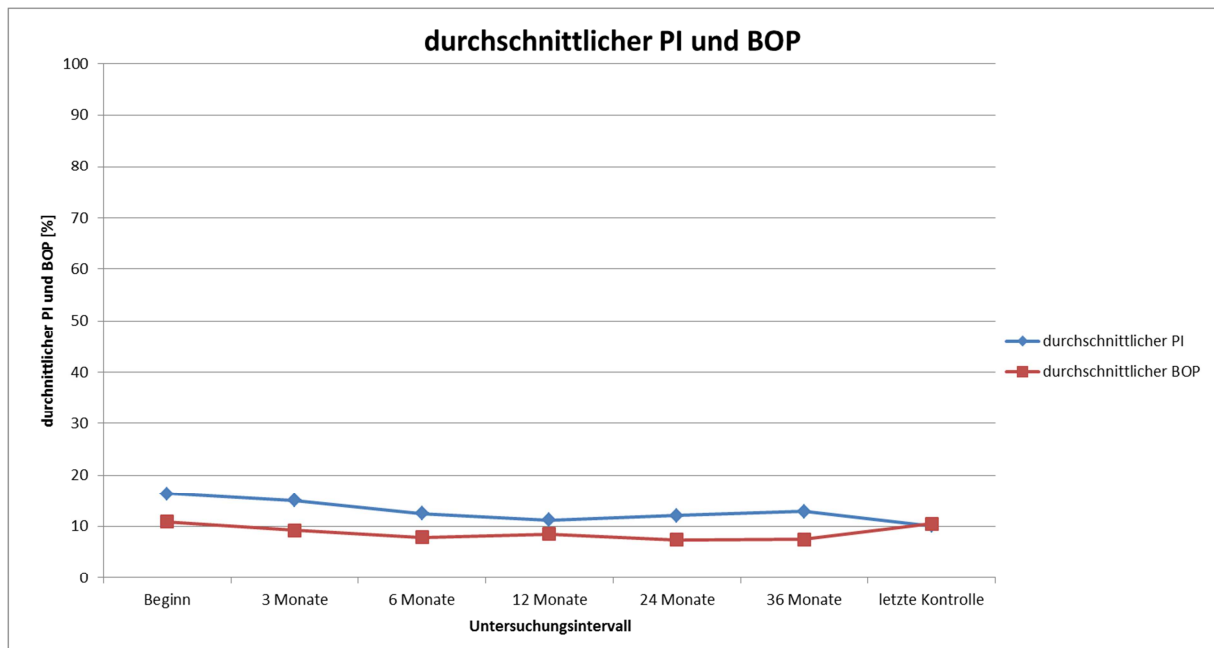


Abb. 12: Vergleichsdiagramm „durchschnittlicher PI und BOP“

7.4 Ausdehnung der keratinisierten Gingiva

Beim vorliegenden PatientInnenkollektiv kann eine durchschnittliche Breite der keratinisierte Gingiva von 3,8mm (SD \pm 1) ermittelt werden. Die Werte bewegen sich gesamt zwischen 3mm und 6mm. Damit liegen die Werte über den physiologisch angestrebten 2mm. Dazu können die gemessenen Ergebnisse in Tabelle 4 nachgelesen werden.

Ausdehnung der keratinisierten Gingiva [mm]	3	4	4,5	5	6
Anzahl der Individuen mit demselben Ergebnis	6	2	1	1	1

Tab. 4: Häufigkeitsverteilung für die Ausdehnung der keratinisierten Gingiva.

Wie man sieht liegen 8 von 11 Werten bei 3mm oder 4mm. Die übrigen 3 verteilen sich auf 4,5mm, 5mm und 6mm. Wie es aufgrund der physiologischen Gegebenheiten zu erwarten war, findet sich die größte Ausdehnung der keratinisierten Gingiva im Bereich der Oberkiefer-Front an Implantatposition 21 (siehe dazu Tab. 5).

Implantatposition	11	21	24	35	36	46
Ausdehnung der keratinisierten Gingiva [mm]	3	6	3/4,5	3	4/4	3/3/3/5

Tab. 5: Ausdehnung der keratinisierten Gingiva in Bezug auf die Implantatposition.

7.5 radiologische Untersuchung

Anhand der vorliegenden Kleinbildröntgen konnte der Knochenverlust mesial und distal der Implantate ermittelt und anschließend gemittelt werden.

Der Anfangswert wurde mit Null angenommen, da sich die Implantatschulter, welche als Referenzpunkt fungiert, bei jedem der inserierten Implantate suprakrestal befindet und somit das zu Beginn gemessene Knochenniveau die Basislinie für die Folgeuntersuchungen darstellt. Alle weiteren Werte stellen den Knochenabbau oder –aufbau dar. Im nachfolgenden Boxplotdiagramm kann man die Resorptionsraten an den Implantaten aller PatientInnen nachvollziehen (siehe Abb. 13). Innerhalb der ersten 6 Monate kommt es zur höchsten Resorption. Der Verlust beträgt hier durchschnittlich 0,75mm. In dieser Phase kommt es auch in einem Fall zu einem Knochenverlust von 2,81mm bis zur 3-Monats-Untersuchung, der sich bis zur Halbjahres-Kontrolle auf 2,1mm reduzierte. Diese beiden Werte sind im Diagramm als Ausreißer (in Abb. 13 mit der Nummer 9 versehen) deutlich zu erkennen.

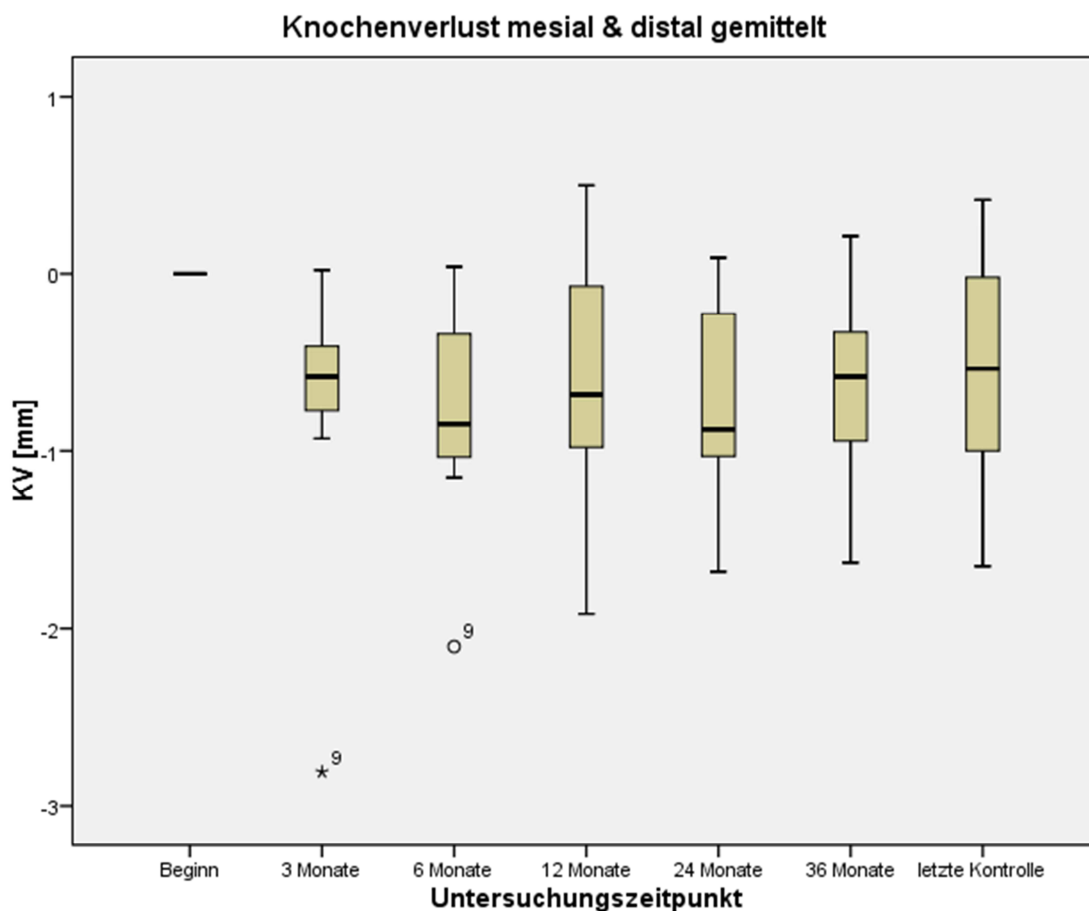


Abb. 13: Diagramm „Knochenverlust mesial und distal gemittelt“
Es sind die gemittelten Knochenresorptionsraten aller ProbandInnen angeführt. Außerdem die Ausreißer bei der 3- und 6-Monats-Kontrolle.

Das beschriebene Individuum zeigt insgesamt einen interessanten Verlauf der Knochenniveaumentwicklung. Nach dem anfänglich extremen Verlust kommt es zu einem stetigen Knochenaufbau. Am Ende der derzeitigen Untersuchung kann ein Zuwachs von 1,42mm im Vergleich zur ersten Kontrolluntersuchung nach 3 Monaten festgestellt werden, sodass die letztendliche Resorption bei 1,39mm liegt. Der ausgeprägteste Knochenverlust liegt bei 1,65mm. Im besten Fall kann ein Zuwachs im Vergleich zum Anfangswert von 0,42mm verzeichnet werden. Hierbei liegt das anfängliche Knochenniveau bei 1,88mm unter dem Referenzpunkt, das Abschlussniveau bei bereits 1,46mm.

Anhand des folgenden Liniendiagramms (Abb. 14) kann man den durchschnittlichen Knochenverlust an allen Implantaten verfolgen. Nach dem bereits erwähnten Verlust kommt es zu einer Besserung den Niveaus mit wiederum folgendem Abbau, der allerdings nicht mehr so stark ausfällt. Anschließend stellt sich neuerdings ein Zuwachs ein, wobei ein durchschnittlicher Abschlussverlust von 0,57mm verzeichnet wird.

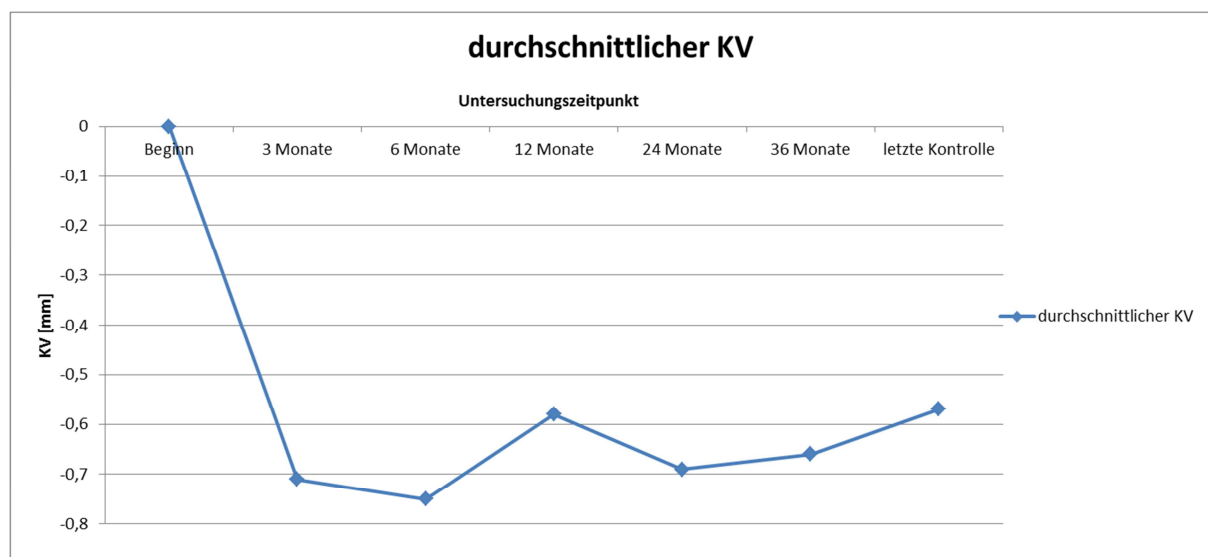


Abb. 14: Diagramm „durchschnittlicher Knochenverlust“
Es sind alle Niveauänderungen des Alveolarknochens distal des Implantates abgebildet.

Aufgrund der von Albrektsson et al. bzgl. der jährlich tolerablen Resorptionsrate von 0,2mm ab dem ersten Jahr in Funktion wurde das Balkendiagramm in Abbildung 15 erstellt (Albrektsson et al., 1986: 11-25). Ausgehend von den gemessenen 12-Monats-Ergebnissen wurde der theoretisch erlaubte Verlust dazugerechnet, wodurch man einen Rahmen für die erlaubten Abbauraten erhält. Dieser Wert kann mit dem Tatsächlichen verglichen werden. Es ist zu erkennen, dass in allen 9 Fällen, in denen der mögliche Wert vom Tatsächlichen unterboten wird, ein deutlicher Unterschied besteht. Darin eingeschlossen ist auch der Fall 9, da aufgrund des bereits massiven Abbaus bei der 1 Jahres-Untersuchung und der Zunahme im Laufe der Zeit die theoretische Grenze merklich unterschritten wird. Der Fall 8 ist der

bereits genannte mit der höchsten Zuwachsrate. Die Fälle 4 und 6 können die gewünschten Ergebnisse nicht erreichen.

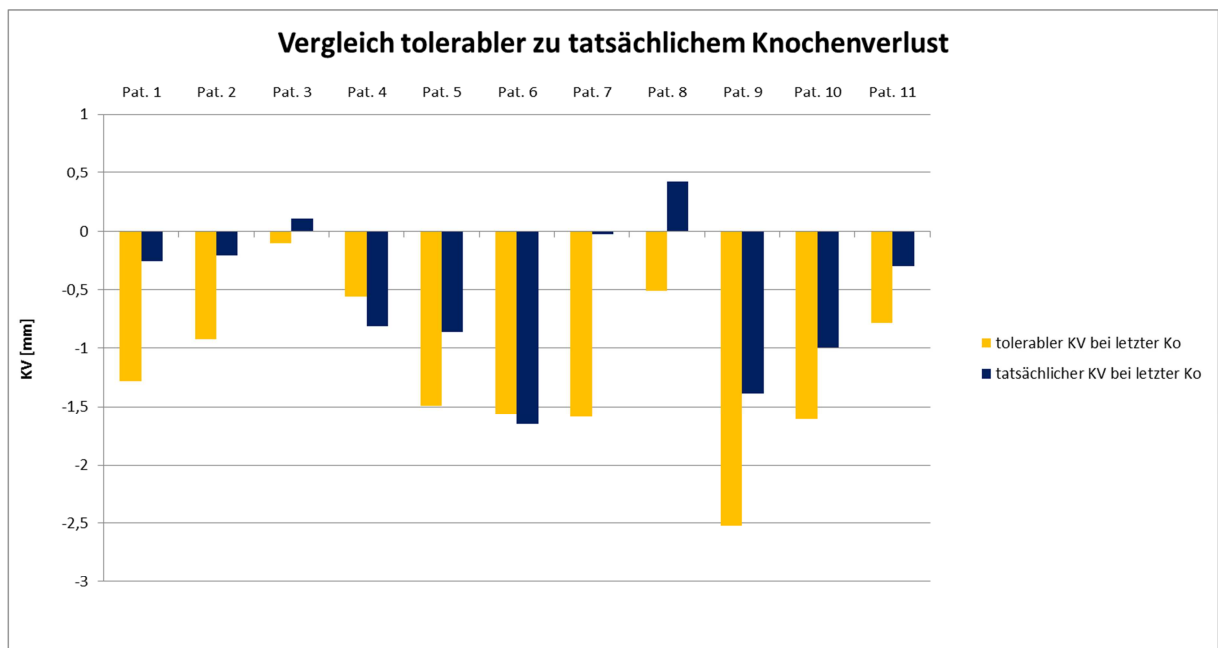


Abb. 15: Vergleichsdiagramm „tolerabler vs. tatsächlicher Knochenverlust“
Angeführt sind die Ergebnisse der letzten Untersuchung

Der durchschnittlich tolerable Knochenverlust beträgt 1,18mm, wobei der tatsächliche Resorptionsdurchschnitt bei 0,54mm liegt.

7.6 subjektives Empfinden der PatientInnen

Hinsichtlich der funktionellen Aspekte des Kauapparates traten in keinem der dokumentierten Fälle seit der Implantatinsertion, Para- oder Dysfunktionen, wie zum Beispiel Bruxismus oder Kiefergelenksbeschwerden, auf.

Innerhalb des 4-monatigen provisorischen Versorgungszeitraumes kam es ein einziges Mal vor, dass eine Kronenteilfraktur aufgetreten ist. Es ist ein seitliches Kronenfragment abgesplittert. Dies konnte mit dem Ersatz durch die definitive Krone behoben werden. Seit der definitiven Versorgung sind alle Personen beschwerdefrei. Wobei Zwei angegeben haben die Implantatregion zu schonen. Dies war in einem Fall nur vorübergehender Natur, weil schmerzhaftes Problem bei natürlichen Zähnen in unmittelbarer Umgebung des Implantates aufgetreten waren, im anderen wird das Implantat so gut wie möglich dauerhaft geschont, damit es vor möglichen Komplikationen geschützt wird.

Die ästhetischen Gesichtspunkte wurden von den ProbandInnen wie folgt beurteilt: Mit der Weichgewebsheilung waren 72% sehr zufrieden, wobei die übrigen 28% angaben zufrieden zu sein. Niemand äußerte sich in diesem Zusammenhang unzufrieden. Bezüglich der definitiven Kronenversorgung gaben ebenfalls 72% an sehr zufrieden zu sein. Einmal wurde keine Angabe gemacht und 2 Personen äußerten sich zufrieden mit dem Ergebnis. 10 von 11 StudienteilnehmerInnen befanden, dass sich ihre Lebensqualität durch die Implantation verbessert hat, einmal wurde sie als gleichbleibend bezeichnet.

4 Individuen haben, abgesehen von dem in dieser Studie gesetzten Implantat, bereits andere Implantate erhalten. Davon sind 3 aus Titan gefertigt und eines aus Zirkoniumdioxid, wobei in keinem Fall subjektive Unterschiede zu den whiteSky^R Zirkoniumdioxidimplantaten festgestellt wurden.

Das gesamte PatientInnenkollektiv würde, im Bedarfsfall, die Versorgung mit Einzelzahnimplantaten aus Zirkoniumdioxid fortsetzen.

8 Diskussion

Diese Arbeit dient dem Zweck Zirkoniumdioxidimplantate als zahnfarbene und keramische Alternative zu Reintitanimplantaten zu überprüfen. Aufgrund des geringen Vorhandenseins von Studien mit longitudinalem Forschungsdesign, aus dem zahnmedizinischen Bereich, ist es wichtig so viel klinische Dokumentation wie möglich an unterschiedlichsten Kollektiven und Kliniken zu sammeln.

8.1 Interpretation der Ergebnisse

Anhand der erhobenen parodontalen Befunde kann man im Falle dieses Kollektivs keine ganz einheitlichen Untersuchungsergebnisse ablesen. Die Indices weichen, abhängig vom jeweiligen Individuum, relativ stark voneinander ab. Dies kann anhand der großen Standardabweichung von den Durchschnittswerten gezeigt werden. Diese liegt beim BOP bei $SD \pm 6,8\%$ und beim PI bei $SD \pm 4,8\%$. So beträgt zum Beispiel die durchschnittliche Sondierungstiefe 2,4mm mit einer Standardabweichung von $\pm 0,8\text{mm}$. Somit liegt zwar der Mittelwert im physiologischen Bereich von $\leq 3\text{mm}$, die Streuung der Werte geht aber von 1 mm bis zu 4mm. Die Maximalsondierungstiefen bewegen sich durchschnittlich bei 4,7mm ($SD \pm 1,2\text{mm}$). Bei ca. 37% liegt die höchste Sondierungstiefe am Implantat vor. Wobei diese in der Hälfte der genannten Fälle nur 3mm beträgt und somit als tolerabel angesehen werden kann. Die durchschnittliche Sondierungstiefe am Implantat liegt bei 2,8mm ($SD \pm 0,8\text{mm}$) und befindet sich ebenfalls im physiologischen Bereich. Das subjektive Empfinden der Probandinnen und Probanden zeigt keine Anzeichen für eine Art von Beschwerden. Nur 18% geben an sich zumindest zeitweilig in parodontaler Behandlung befunden zu haben, wobei wiederum nur 1 Person angibt, dass die Entzündung tatsächlich am Implantat stattgefunden hat. In diesem Fall liegt die maximale Sondierungstiefe am Implantat bei 4mm. Es liegt keine Blutung vor, was den positiven Effekt der durchgeführten Parodontaltherapie widerspiegelt. Das zweite Individuum befindet sich in laufender Parodontaltherapie. Am Implantat liegt hier ebenfalls keine Entzündung vor. Es zeigt keine Blutung auf Sondierung und eine maximale Sondierungstiefe von 3mm.

Bei den parodontalen Indices verhält es sich bei der letzten Kontrolle ähnlich, die Werte liegen für den BOP zwar über den angestrebten 0%, für den PI aber unter den gewünschten 30%. Bei ca. 73% der ProbandInnen liegt der BOP $\leq 12\%$, bei knapp 82% der PI $\leq 13\%$. Hervorzuheben ist, dass es im Laufe des ersten halben Jahres bzw. Jahres – in dem die Patientinnen und Patienten in verhältnismäßig kurzen Intervallen zu den Untersuchungsterminen erschienen sind – zu einer deutlichen Besserung der beiden Indices gekommen ist. Der durchschnittliche BOP von 7,9% bei der 6-Monats-Kontrolle ist zwar von den gewünschten 0% noch immer deutlich entfernt, liegt aber merklich niedriger als bei der Erstkontrolle (knapp 11%). Der PI-Durchschnitt von 11,2% wird erst nach einem Jahr nach der Insertion erreicht, zeigt aber ebenfalls eine positive Entwicklung. Die Verbesserung lässt

sich möglicherweise auf eine andauernde Motivation im Zuge der Kontrollen und intensivere Auseinandersetzung mit der Mundhygiene aufgrund der unmittelbar zuvor stattgefundenen Implantatinserterion zurückführen. Diese These lässt sich mit der weiteren Entwicklung des BOP und PI allerdings nicht bestätigen, da der BOP zwar innerhalb des 2. und 3. Jahres neuerdings besser wird, im Laufe des 4. Jahres aber wieder schlechter, so dass er beinahe wieder den Anfangswert erreicht. Anhand des PI verläuft die Entwicklung genau gegengleich. Innerhalb des 2. und 3. Jahres kommt es zu einer Verschlechterung, während des 4. Jahres hingegen zu einer Verbesserung mit dem bisher besten Ergebnis. Gerade in diesem Zusammenhang wäre es wünschenswert die Kontrolluntersuchungen weiter fortzusetzen, um die weitere Entwicklung von BOP und PI verfolgen zu können. Zusätzlich erhielten alle PatientInnen beim letzten Kontrolltermin wieder individuelle Empfehlungen zur weiteren Verbesserung bzw. Aufrechterhaltung ihrer Mundgesundheitsituation, mit dem Hinweis sich in ein regelmäßiges Mundhygiene-Programm zu begeben.

Da es für die keratinisierte Gingiva keine Minimal- bzw. Maximalwerte gibt und man nur von der so genannten biologischen Breite von ca. 2mm ausgeht, kann man alle hier gefundenen Ergebnisse (durchschnittliche Ausdehnung von 3,8mm; SD ± 1) als durchwegs positiv bewerten, da sich offensichtlich am implantatumgebenden Weichgewebe eine gesunde keratinisierte Gingiva ausgebildet hat. Die durchschnittliche Ausdehnung von 4,1mm im Oberkiefer und die etwas geringeren Durchschnittswerte im Unterkiefer von 3,6mm spiegeln die in der Literatur zu findende Aussage, dass die Breite der keratinisierten Gingiva davon abhängig ist, ob man sie im oberen oder unteren Zahnkranz misst (Kolte et al, 2014: 478-481).

Aus der Sicht der Höhe des Alveolarknochens stellen sich die Ergebnisse der letzten Kontrolluntersuchung etwas besser dar. Außerdem lässt sich eine gewisse Einheitlichkeit der gefundenen Werte ablesen. 73% des mesialen Abschlussniveaus ausgehend vom Referenzpunkt an der Implantatschulter liegen innerhalb eines Millimeters (die Verluste für diese Gruppe liegen zwischen 1mm und 2mm). Distal ist es sogar noch deutlicher. Hier liegen 82% innerhalb von 0,9mm (die Niveauhöhe beträgt in diesen Fällen 1,8mm bis 2,7mm unter der Implantatschulter). Betrachtet man den durchschnittlichen Knochenverlust über den ganzen Untersuchungszeitraum hinweg, kann man einen Wert von -0,57mm (von +0,42mm bis -1,65mm) feststellen. Entsprechend des oben erwähnten, dass bei beinahe allen Individuen zuerst ein höherer Niveauverlust auftritt, liegt der durchschnittliche Wert innerhalb der ersten 6 Monate bei -0,75mm (von +0,04mm bis -2,1mm). Ausgehend von den Ergebnissen im Balkendiagramm der Abbildung 14 kann man sagen, dass knapp 81% der Implantate vom Standpunkt der erlaubten Knochenresorptionsrate (Albrektsson et al., 1986: 11-25) erfolgreich sind. Der Durchschnitt der tatsächlichen Resorptionen macht nur ca. die Hälfte des maximal tolerierten aus, was ein sehr gutes Resultat darstellt. Anhand der

Kleinbildröntgen, die keine Anzeichen einer ringförmigen radiologischen Aufhellung zeigen, kann man davon ausgehen, dass die Osseointegration gut vonstattengegangen ist. Ein Grund dafür ist sicher die zuvor von den Firmen durchgeführte intensive Auseinandersetzung mit den Materialeigenschaften und eine nachfolgende Verbesserung dieser Keramik.

Damit und mit einer möglichen Einschränkung für einteilige Zirkoniumdioxidimplantate durch die postulierte Phasenumwandlung, die durch die teilweise notwendige Präparation des Implantatstumpfes zur prothetischen Weiterversorgung ausgelöst wird, haben sich, zum Beispiel, bereits Andreiotelli und Kohal, 2009, auseinandergesetzt. Sie haben dabei auf diese Veränderung der kristallinen Struktur innerhalb des Zirkoniumdioxids mit einer damit einher gehenden Materialalterung hingewiesen (Andreiotelli & Kohal, 2009: 158-166). Hinsichtlich des mechanischen Erfolges der Implantate kann man festhalten, dass es innerhalb dieser Untersuchung in keinem Fall zu einer Implantatfraktur gekommen ist. In diesem Zusammenhang kann man also zumindest derzeit noch keine Auswirkung einer möglichen beschleunigten Materialalterung durch den Beschleiß der Implantate feststellen. Der insgesamt 1 Implantatverlust kann auf die erst zum Schluss der Insertion erreichte Primärstabilität zurückgeführt werden und wurde daher auch aus dem Untersuchungskollektiv ausgeschlossen. Auch bei der definitiven Kronenversorgung konnten keine Komplikationen festgestellt werden. Es kam zu keiner Lockerung, Beschädigung oder zu einem Verlust der definitiven Krone. Einzig bei einer provisorischen Krone war eine Teilfraktur zu verzeichnen.

In der Literatur wurden außerdem verschiedenste Materialbearbeitungen und Oberflächenmodifikationen beschrieben, um osseointegrationstechnisch genau so gute Ergebnisse wie bei Titan erzielen zu können. Gerade bei nur mechanisch bearbeiteten Oberflächen stellte sich Zirkoniumdioxid als zu glatt heraus und erreichte zum Beispiel niedrigere RTQ-Werte als Reintitan. Andere Oberflächenbearbeitungen sind Säureätzung oder Sandstrahlung mit variierenden Oberflächenrauigkeiten, die vergleichbare, teilweise sogar bessere Ergebnisse erzielen konnten (Assal, 2013: 644-654; Gahlert et al., 2007: 662–668; Oliva et al., 2007: 430-435; Depprich et al., 2008: 4, 30).

Die Biokompatibilität unter Abwesenheit jeglicher zytotoxischer, kanzerogener oder teratogener Auswirkungen konnte für Zirkoniumdioxid schon des Öfteren bestätigt werden und machen es so mit Titan vergleichbar (Piconi & Maccauro, 1999: 1-25; Stadlinger et al., 2010: 585-592). Auch die bereits jahrzehntelange Anwendung im Bereich des Gelenkersatzes stellt einen deutlichen Beweis für die Verwendbarkeit als dentales Ersatzmaterial dar.

Das subjektive Empfinden der Probandinnen und Probanden im Vergleich zu den klinischen Ergebnissen deckt sich in den meisten Fällen. Objektiv beurteilt stellt sich der Mundhygienestatus und damit einhergehend die parodontale Gesundheit der Patientinnen

und Patienten nicht als ganz optimal dar, allerdings kann man alle ProbandInnen als gesund bezeichnen. In einem Fall deckt sich der diagnostizierte PES Wert nicht ganz mit dem subjektiven Empfinden des Individuums, da das eigene Empfinden deutlich besser war, als die Beurteilung durch den Behandler (siehe Abb. 8, Fall 10). Chronische Schmerzen oder Beschwerden in funktionellen Belangen konnten bei niemandem festgestellt werden. Von diesem Aspekt aus betrachtet kann man von einer erfolgreichen Implantation sprechen. Das Kollektiv ist hinsichtlich Ästhetik und Funktion zufrieden und größtenteils sogar sehr zufrieden. 91% haben angegeben, dass sich ihre Lebensqualität aufgrund der Implantation verbessert hat. Das verbleibende Individuum konnte keine Veränderung feststellen. Alle würden aber eine Versorgung mit Implantaten fortsetzen.

8.2 Methodische Einschränkungen & Empfehlungen - Stärken und Schwächen der Studie

Anhand der erhobenen Ergebnisse und der vorhergehenden Literaturrecherche kann man vorsichtig sagen, dass Zirkoniumdioxid als alternatives Implantatmaterial an der Seite von Reintitan bestehen kann. Allerdings sollte man noch einige Einschränkungen bezüglich dieser Behauptung machen: die vorhandenen Daten für Zirkoniumdioxid sind bei weitem nicht in so großer Anzahl und aus so vielseitigen Untersuchungsaspekten vorhanden, wie es für Titanimplantate der Fall ist. Auch die klinisch dokumentierten und durchgeführten Implantationen sind denen von Reintitan sowohl in Quantität, als auch in Qualität deutlich unterlegen. Langzeitergebnisse mit Untersuchungsintervallen welche über Jahrzehnte andauern sind für Zirkoniumdioxidimplantate in der Zahnmedizin schlichtweg noch nicht verfügbar. Aufgrund der transgingivalen Verhältnisse, die bei dentalen Implantaten vorliegen, kann man sich auch nicht einwandfrei auf die klinischen Ergebnisse aus der Orthopädie stützen, obwohl, zum Beispiel, Hüftgelenksendoprothesen schon lange verwendet werden und durchwegs gute Ergebnisse vorweisen können.

Für zukünftige Untersuchungen mit Einzelzahnimplantaten aus Zirkoniumdioxid wird angeregt eine deutlich höhere Fallzahl anzustreben, um mögliche Kontrolluntersuchungsausfälle von Probandinnen und Probanden besser kompensieren und ein, für eine Bevölkerungsgruppe, repräsentatives Ergebnis erhalten zu können. Außerdem ist ein regelmäßiger, klinisch organisierter, Parodontal-Recall empfehlenswert, da ein einheitlicher Standard, mit der Möglichkeit eines raschen und kompetenten Eingreifens, gewährleistet werden kann. Insgesamt ist es für den Einsatz von Zirkoniumdioxid als Normmaterial notwendig mehr klinische Langzeitergebnisse und Untersuchungsdaten zu erlangen, weshalb man kontinuierlich an der Verbesserung der derzeitigen Situation weiterarbeiten sollte.

9 Literaturverzeichnis

Albrektsson T., Zarb G., Worthington P., Eriksson A.R. (1986):

The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 1; 11–25

American Academy of Periodontology (AAP) (2013):

Peri-implant mucositis and peri-implantitis: A current understanding of their diagnoses and clinical implications. *Journal of Periodontology*, 84, 4; 436-443

Andreiotelli M., Kohal R.-J. (2009):

Fracture strength of zirconia implants after artificial aging. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 11, 2; 158-166

Andreiotelli M., Wenz H.J., Kohal R.-J. (2009):

Are ceramic implants a viable alternative to titanium implants? A systematic literature review. *Clin. Oral Impl. Res.* 20 (Suppl. 4); 32–47

Assal P.A. (2013):

The osseointegration of zirconia dental implants. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin*, 123; 644–654

Assenza B., Tripodi D., Scarano A., Perrotti V., Piattelli A., Iezzi G., D'Ercole S. (2012):

Bacterial leakage in implants with different implant–abutment connections: An in vitro study. *Journal of Periodontology*, 83 (4); 491-497

Bartram F., Donate H.-P., Müller K.E., Bückendorf C.-H., Ohnsorge P., Huber W., von Baehr V. (2006):

Bedeutung von Epikutantest und Lymphozytentransformationstest für die Diagnostik von Typ IV-Sensibilisierungen – Stellungnahme des Deutschen Berufsverbandes der Umweltmediziner. *Journal of Laboratory Medicine*, 30 (2); 101-106

Belser U.C., Grütter L., Vailati F., Bornstein M.M., Weber H.-P., Buser D. (2009):

Outcome evaluation of early placed maxillary anterior single-tooth implants using objective esthetic criteria: a cross-sectional, retrospective study in 45 patients with a 2- to 4-year follow-up using pink and white esthetic scores. *Journal of Periodontology*, 80, 1; 140-151

Bianco, P. D., Ducheyne, P., Cuckler, J. M. (1996):

Local accumulation of titanium released from a titanium implant in the absence of wear. *Journal of Biomedical Materials Research*, 31; 227–234

Borgonovo A.-E., Fabbri A., Vavassori V., Censi R., Maiorana C. (2012):

Multiple teeth replacement with endosseous one-piece yttrium-stabilized zirconia dental implants. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.*, Nov 1,17 (6); 981-987

Branemark P.I., Zarb G.A., Albrektsson T. (1985):

Tissue Integrated Prostheses. Osseointegration in clinical dentistry, Quintessenz Verlag, Berlin

Broggini N., McManus L.M., Hermann J.S., Medina R.U., Oates T.W., Schenk R.K., Buser D., Mellonig J.T., Cochran D.L. (2003):

Persistent acute inflammation at the implant-abutment interface. *Journal of Dental Research*, 82, 3; 232-237

Broggini N., McManus L.M., Hermann J.S., Medina R.U., Schenk R.K., Buser D., Cochran D.L. (2006):
Periimplant inflammation defined by the implant–abutment interface. *Journal of Dental Research*, 85; 473-478

Brown S.A., Margevicius R.W., Merritt K. (1990):
Fretting and accelerated fretting corrosion of titanium in vitro and in vivo. In: Heimke G, Soltesz U, Lee AJC, eds. *Clinical implant materials. Advances in biomaterials Vol. 9*; 37-42

Bücking W., Suckert R., Bellini R., Berger C., Busch M., Fiechter P., Kappert P., Kataoka S., Knode H., Kohler W., Lotzmann U., Lubberich A., Neuendorff G., Pehrsson K., Renk A., Rutten L.&P., Schenk A., Stuck J. (1995):
Implantat-Prothetik, 1. Auflage, Verlag Neuer Merkur GmbH, München

da Silva-Neto J.P., Prudente M.S., Carneiro T.A.P.N., Nobilo M.A.A., Penatti M.P.A., das Neves F.D. (2012):
Micro-leakage at the implant-abutment interface with different tightening torques in vitro. *J Appl Oral Sci*. 20, 5, 581-587

Depprich R., Ommerborn M., Zipprich H., Naujoks C., Handschel J., Wiesmann H.-P., Kübler N.R., Meyer U. (2008):
Behavior of osteoblastic cells cultured on titanium and structured zirconia surfaces. *Head & Face Medicine*, 4, 29, <<http://www.head-face-med.com/content/4/1/29>>

Depprich R., Zipprich H., Ommerborn M., Mahn E., Lammers L., Handschel J., Naujoks C., Wiesmann H.-P., Kübler N.R., Meyer U. (2008):
Osseointegration of zirconia implants: an SEM observation of the bone-implant interface. *Head & Face Medicine*, 4, 25, <<http://www.head-face-med.com/content/4/1/25>>

Depprich R., Zipprich H., Ommerborn M., Naujoks C., Wiesmann H.-P., Kiattavorncharoen S., Lauer H.-C., Meyer U., Kübler N. R., Handschel J. (2008):
Osseointegration of zirconia implants compared with titanium: an in vivo study. *Head & Face Medicine* 2008, 4, 30, <<http://www.head-face-med.com/content/4/1/30>>

do Nascimento C., Pita M.S., Fernandes F.H.N.C., Pedrazzi V., de Albuquerque R.F. Jr., Ribeiro R.F. (2013):
Bacterial adhesion on the titanium and zirconia abutment surfaces. *Clin. Oral Impl. Res.*, 00; 1-7

Duden - Wörterbuch der deutschen Rechtschreibung (2000):
22. Auflage, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim

Esposito M, Hirsh J, Lekholm U, Thomsen P. (1999):
Differential diagnosis and treatment strategies for biologic complications and failing oral implants: a review of the literature. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 14, 4; 473–490

Fürhauser R., Florescu D., Benesch T., Haas R., Mailath G., Watzek G. (2005):
Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score. *Clin. Oral Impl. Res.*, 16; 639–644

Gahlert M., Burtscher D., Grunert I., Kniha H., Steinhauser E. (2012):
Failure analysis of fractured dental zirconia implants. *Clin. Oral Impl. Res.*, 23; 287–293

Gahlert M., Gudehus T., Eichhorn S., Steinhauser E., Kniha H., Erhardt W. (2007):
Biomechanical and histomorphometric comparison between zirconia implants with varying surface textures and a titanium implant in the maxilla of miniature pigs. *Clin. Oral Impl. Res.* 18; 662–668

Gahlert M., Röhling S., Wieland M., Sprecher C.M., Kniha H., Milz S. (2009):
Osseointegration of zirconia and titanium dental implants: a histological and histomorphometrical study in the maxilla of pigs. *Clin. Oral Impl. Res.* 20; 1247–1253

Gehrke P., Lobert M., Dhom G. (2008):
Reproducibility of the pink esthetic score-rating: soft tissue esthetics around single-implant restorations with regard to dental observer specialization. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 20, 6; 375-384

Gore D., Frazer R.Q., Kovarik R.E., Yepes J.E. (2005):
Vitallium. *Journal of Long Term Effects of Medical Implants*, 15, 6; 673-686

Gutwald R., Gellrich N.-C., Schmelzeisen R. (2010):
Einführung in die Zahnärztliche Chirurgie und Implantologie, 2. Auflage, Deutscher Zahnärzte Verlag GmbH, Köln

Hallab N., Merritt K., Jacobs J.J. (2001):
Metal sensitivity in patients with orthopaedic implants. *Journal of Bone and Joint Surgery, American Volume* 83; 428–436

Hermann J.S., Buser D., Schenk R.K., Cochran D.L. (2000):
Crestal bone changes around titanium implants. A histometric evaluation of unloaded non-submerged and submerged implants in the canine mandible. *Journal of Periodontology*, 71, 9; 1412-1424

Hermann J.S., Schoolfield J.D., Buser D., Schenk R.K., Cochran D.L. (2001):
Influence of the size of the microgap on crestal bone changes around titanium implants. A histometric evaluation of unloaded non-submerged implants in the canine mandible. *Journal of Periodontology*, 72, 10; 1372-1383

Jacobi-Gresser E., Huesker K., Schütt S. (2013):
Genetik and immunological markers predict titanium implant failure : a retrospective study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 42(4); 537-543

Juodzbaly G., Wang H.-L. (2007):
Soft and hard tissue assessment of immediate implant placement: a case series. *Clin. Oral Impl. Res.* 18; 237–243

Karoussis I.K., Salvi G.E., Heitz-Mayfield L.J.A., Brägger U., Hämmerle C.H.F., Lang N.P. (2003):
Long-term implant prognosis in patients with and without a history of chronic periodontitis: a 10 year prospective cohort study of the ITI dental implant system. *Clinical Oral Implants Research*, 14; 329–339

Kim K.-K., Sung H.-M. (2012)
Outcomes of dental implant treatment in patients with generalized aggressive periodontitis: a systematic review. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 4; 210-217

Koch F.P., Weng D., Krämer S., Biesterfeld S., Jahn-Eimermacher A., Wagner W. (2010):
Osseointegration of onepiece zirconia implants compared with a titanium implant of identical design: a histomorphometric study in the dog. *Clin. Oral Impl. Res.* 21; 350–356

Kohal R.-J., Knauf M., Larsson B., Sahlin H., Butz F. (2012):

One-piece zirconia oral implants: one-year results from a prospective cohort study. 1. Single tooth replacement. *J Clin Periodontol*, 39; 590–597

Kohal R.-J., Patzelt S.B.M., Butz F., Sahlin H. (2013):

One-piece zirconia oral implants: one-year results from a prospective case series. 2. Three-unit fixed dental prosthesis (FDP) reconstruction. *J Clin Periodontol*, 40; 553–562

Kolte R., Kolte A., Mahajan A. (2014):

Assessment of gingival thickness with regards to age, gender and arch location. *J Indian Soc Periodontol.*, 18(4); 478-481

Konsensuskonferenz Implantologie (2014):

Indikationsbeschreibung für die Regelfallversorgung in der Implantologie.
<<http://www.konsensuskonferenz-implantologie.eu/indikationsklassen-fuer-implantatversorgung-zur-regelversorgung/>>

Laine M.L., Leonhardt A., Roos-Jansaker A.-M., Pena A.S., van Winkelhoff A.J., Winkel E.G., Renvert S. (2006):

IL-1RN gene polymorphism is associated with peri-implantitis. *Clin. Oral Impl. Res.* 17; 380–385

Lalor P.A., Revell P.A., Gray A.G., Wright S., Railton G.T., Freeman M.A.R. (1991):

Sensitivity to Titanium – A cause of implant failure?. *J Bone Joint Surg.*, Vol. 73; 25-28

Lambrich M., Iglhaut G. (2008):

Vergleich der Überlebensrate von Zirkondioxid- und Titanimplantaten. *Journal of Dental Implantology*, 24 (3); 182-191

Ludwig P., Niedermeier W. (2002):

Checklisten der Zahnmedizin - Prothetik, Thieme Verlag, Stuttgart

Meijer H.J.A., Stellingsma K., Meijndert L., Raghoobar G.M. (2005):

A new index for rating aesthetics of implant-supported single crowns and adjacent soft tissues – the Implant Crown Aesthetic Index. A pilot study on validation of a new index. *Clin. Oral Impl. Res.* 16; 645–649

Mellinghoff, J. (2006):

Erste klinische Ergebnisse zu dentalen Schraubenimplantaten aus Zirkonoxid. *Zeitschrift für Zahnärztliche Implantologie*, 22; 288–293

Merk H.F., Ott H. (2008):

Allergie-Taschenbuch für Studium und Praxis, ABW Wissenschaftsverlag GmbH, Berlin

Möller B., Terheyden H., Acil Y., Purcz N.M., Hertrampf K., Tabakov A., Behrens E., Wiltfang J. (2012):

A comparison of biocompatibility and osseointegration of ceramic and titanium implants: an in vivo and in vitro study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, Volume 41, Issue 5; 638–645

Oliva J., Oliva X., Oliva, J.D. (2007):

One-year follow-up of first consecutive 100 zirconia dental implants in humans: a comparison of 2 different rough surfaces. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 22; 430–435

Ott R.W., Vollmer H.-P., Krug, W.E. (2002):

Klinik- und Praxisführer Zahnmedizin, Thieme Verlag, Stuttgart

Papaspyridakos P., Chen C.-J., Singh M., Weber H.-P., Gallucci G.O. (2012):

Success Criteria in implant dentistry: a systematic review. J. Dent. Res., 91, 3; 242-248

Park S.-D., Lee Y., Kim Y.-L., Yu S.-H., Bae J.-M., Cho H.-W. (2012):

Microleakage of different sealing materials in access holes of internal connection implant systems. Journal of Prosthetic Dentistry, 108, 3; 173-180

Parr G.R., Gardner L.K., Toth R.W. (1985):

Titanium: the mystery metal of implant dentistry. Dental materials aspects. Journal of Prosthetic Dentistry, 54; 410–414

Payer M., Arnetzl V., Kirmeier R., Koller M., Arnetzl G., Jakse N. (2012)

Immediate provisional restoration of single-piece zirconia implants: a prospective case series – results after 24 months of clinical function. Clinical Oral Implants Research, 00; 1–7

Piconi C., Maccauro G. (1999):

Review-Zirconia as a ceramic biomaterial. Biomaterials, 20; 1-25

Piehslinger E. (2006):

Grundlagen der zahnärztlichen Prothetik, 2. Auflage, Universimed Verlags- und Service GmbH, Wien

Pjeturson B.E., Brägger U., Lang N.P., Zwahlen M. (2007):

Clin. Oral Impl. Res. 18 (Suppl. 3); 97-113

Pjetursson B.E., Helbling C., Weber H.-P., Matuliene G., Salvi G.E., Brägger U., Schmidlin K., Zwahlen M., Lang N.P. (2012):

Periimplantitis susceptibility as it relates to periodontal therapy and supportive care. Clin. Oral Impl. Res., 23; 888–894

Prithviraj D.R., Deeksha S., Regish K.M., Anoop N. (2012):

A systematic review of zirconia as an implant material. Indian J Dent Res, 23; 643-649

Reitemeier B., Schwenger N., Ehrenfeld M. (2006):

Einführung in die Zahnmedizin, Thieme Verlag, Stuttgart

Rocchietta I., Fontana F., Addis A., Schupbach P., Simion M. (2009):

Surface-modified zirconia implants: tissue response in rabbits. Clin. Oral Impl. Res. 20; 844–850

Salem N.A., Abo Taleb A.L., Aboushelib M.N. (2012):

Biomechanical and histomorphometric evaluation of osseointegration of fusion-sputtered zirconia implants. Journal of Prosthodontics, 00; 1–7

Scarano A., Assenza B., Piattelli M., Iezzi G., Leghissa G.C., Quaranta A., Tortora P., Piattelli A. (2005):

A 16–year study of the mikrogap between 272 human titanium implants and their abutments. Journal of Oral Implantology, 31, 6; 269-275

Scarano A., Di Carlo F., Quaranta M., Piattelli A. (2003):

Bone response to zirconia ceramic implants: an experimental study in rabbits. Journal of Oral Implantology, 29, 1; 8-12

Schermer S.W. (2007):

Periimplantitis und krestaler Knochenverlust: Die Goldlösung. DZW Orale Implantologie, 1; 37-40

Schwarz F., Sculean A., Rothamel D., Schwenzer K., Georg T., Becker J. (2005):

Clinical evaluation of an Er:YAG laser for nonsurgical treatment of peri-implantitis: a pilot study. Clinical Oral Implant Research, 16; 44–52

Schwenzer N., Ehrenfeld M. (2009):

Zahnärztliche Chirurgie, 4. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart

Sennerby L., Dasmah A., Larsson B., Iverhed M. (2005):

Bone tissue responses to surface-modified zirconia Implants: A histomorphometric and removal torque study in the rabbit. Clinical Implant Dentistry and Related Research, 7, 1; 13-20

Sicilia A., Cuesta S., Coma G., Arregui I., Guisasola C., Ruiz E., Maestro A. (2008):

Titanium allergy in dental implant patients: a clinical study on 1500 consecutive patients. Clin. Oral Impl. Res. 19; 823–835

Singh P. (2011):

Peri-implantitis: a strategic review. Journal of Oral Implantology, 37, 5; 622-626

Stadlinger B., Hennig M., Eckelt U., Kuhlisch E., Mai R. (2010):

Comparison of zirconia and titanium implants after a short healing period. A pilot study in minipigs. International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 39, 6; 585-592

Steinebrunner L., Wolfart S., Bößmann K., Kern M. (2005):

In-vitro evaluation of bacterial leakage along the implant-abutment interface of different implant systems. International Journal of Oral and Maxillofacial Implants, 20; 875-881

Strub J.R., Kern M., Türp J.C., Witkowski S., Heydecke G., Wolfart S. (2011):

Curriculum Prothetik, Band 3, 4. Auflage, Quintessenz Verlag, Berlin

Swierkot K., Lottholz P., Flores-de-Jacoby L., Mengel R. (2012):

Mucositis, peri-implantitis, implant success and survival of implants in patients with treated generalized aggressive periodontitis: 3- to 16-year results of a prospective long-term cohort study. Journal of Periodontology, 83; 1213-1225

Teughels W., van Assche N., Sliepen I., Quirynen M. (2006):

Effect of material characteristics and/or surface topography on biofilm development. Clin. Oral Impl. Res., 17; 68-81

Trautmann A., Kleine-Teppe J. (2013):

Allergologie in Klinik und Praxis, 2. Auflage, Thieme Verlag KG, Stuttgart

Vandana K.L., Savitha B. (2005):

Thickness of gingiva in association with age, gender and dental arch location. J Clin Periodontol, 32; 828–830

von Baehr V., Schütt S. (2011):

Immunologische Grundlagen der Titan-induzierten Periimplantitis. ZMK Zahnheilkunde-Management-Kultur, Jahrgang 27, Sonderausgabe; 21-26

Yamanishi Y., Yamaguchi S., Imazato S., Nakano T., Yatani H. (2012):

Influences of implant neck design and implant-abutment joint type on peri-implant bone stress and abutment micromovement: three-dimensional finite element analysis. *Dental Materials*, 28; 1126-1133

Zeza B., Piloni A. (2012):

Peri-implant mucositis treatments in humans: a systematic review. *Annali di Stomatologia*, 3; 83-89

Zitzmann N.U., Berglundh T. (2008):

Definition and prevalence of periimplant diseases. *Journal of Clinical Periodontology*, 35, 8; 286–291