

**Diplomarbeit**

**Klinische Langzeitergebnisse  
von CAMLOG<sup>®</sup>-ROOT-LINE-Implantaten  
anhand einer retrospektiven Studie**

eingereicht von

**Manuel Gappitz**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der Zahnheilkunde**

**(Dr. med. dent.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**klinischen Abteilung für Zahnerhaltung, Parodontologie und  
Zahnersatzkunde der Universitätsklinik für Zahnmedizin und  
Mundgesundheit**

unter der Anleitung von

**Ao. Univ.-Prof. Dr. med. univ Martin Lorenzoni**

und

**Dr. med. dent. Kerstin Theisen**

*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 12.09.2019*

*Manuel Gappitz eh*

## Danksagung

*„Nicht die Glücklichen sind dankbar. Es sind die Dankbaren, die glücklich sind.“*

(Francis Bacon)

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Menschen bedanken, die mich im Laufe meines Studiums und bei der Erstellung dieser Diplomarbeit tatkräftig unterstützt haben.

Ganz besonderer Dank gilt meinen **Eltern, Martina Gappitz und Armin Gappitz**, die mir in jeder Lebenssituation beigestanden sind und immer für mich da waren.

Zu Dank verpflichtet bin ich **Herrn Ao. Univ.-Prof. Dr. med. univ Martin Lorenzoni, Frau Dr. med. dent. Kerstin Theisen und Frau Dr. med. dent. Elisabeth Steyer** für deren hervorragende Betreuung und Geduld.

Des Weiteren möchte ich mich bei **Herrn Dr. Dr. med. univ. Helfried Hulla** dafür bedanken, dass ich die Möglichkeit hatte, die Untersuchungen im Rahmen der Studie in seinen Ordinationsräumlichkeiten durchzuführen.

Zudem möchte ich **Frau Dipl.-Ing. Irene Mischak** für die statistische Auswertung der Ergebnisse danken.

Meinem Studienkollegen und Freund **Adrian Naumann** möchte ich dafür danken, dass er mir mit Ratschlägen zur Seite stand.

Vielen herzlichen Dank!

## Zusammenfassung

**Schlagworte:** dentale Implantate, krestaler Knochenverlust, konische Implantate

**Studienziel:** Ziel dieser retrospektiven Studie war es, Langzeitergebnisse von konischen Implantaten in Bezug auf Knochenverlust, parodontale Parameter sowie technische Komplikationen zu erhalten.

**Material und Methoden:** Es wurden 245 Implantate mit einer durchschnittlichen Liegedauer von  $12,9 \pm 1,1$  Jahren im Knochen sowohl klinisch als auch röntgenologisch untersucht. Das PatientInnenkollektiv umfasst 112 Personen (69 weiblich und 43 männlich). Zur Datenerhebung wurden die Indizes Plaque Index nach O'Leary (PI), Blutung auf Sondierung (BOP) und Sondierungstiefen (PD) erhoben. Für die röntgenologische Analyse wurden analoge Kleinbildaufnahmen zum Zeitpunkt der Insertion beziehungsweise der Implantatfreilegung mit neu angefertigten Kleinbildaufnahmen zum Zeitpunkt der Untersuchung verglichen und somit der krestale Knochenrückgang ermittelt.

**Ergebnisse:** Von den untersuchten 245 Implantaten waren 230 in situ. Hieraus ergab sich eine Überlebensrate von 93,9 %. Bei 6,9 % der Implantat-Suprastrukturen kam es zu technischen Komplikationen. Im Durchschnitt waren  $31,1 \pm 23,4$  % der Implantatoberflächen mit Plaque kontaminiert. Der durchschnittliche marginale Knochenrückgang betrug  $1,64 \pm 1,23$  mm. Bei der Erhebung der Taschentiefen wurde eine durchschnittliche Sondierungstiefe von 2,74 mm festgestellt. Der Wert des BOPs betrug 26,7 %. Bei RaucherInnen betragen die durchschnittlichen Sondierungstiefen 3,11 mm. Bei NichtraucherInnen wurden im Mittel Sondierungstiefen von 2,66 mm nachgewiesen.

**Diskussion:** Die Ursache für einen Implantatverlust scheint eher der Implantationsvorgang an sich als eine biologische Kontamination zu sein (Sakka und Coulthard, 2011). Rauchen ist ein entscheidender Faktor, der für die Progredienz des Knochenverlustes und die Ausweitung einer periimplantären Entzündung angenommen wird (Bain, 2006; Roos-Jansåker *et al.*, 2006). Einen weiteren Einfluss auf den Fortschritt einer periimplantären Entzündung scheinen die unterschiedlichen Knochenqualitäten im Ober- und Unterkiefer zu haben, beziehungsweise ob eine Knochenaugmentation durchgeführt wurde (H. S. Park *et al.*, 2008).

**Konklusion:** Die Ergebnisse dieser retrospektiven Studie zeigen, dass konische Implantate eine adäquate Behandlungstherapie für den klinischen Alltag sind. Verschiedene klinische Parameter wirken sich auf die periimplantäre Hart- und Weichgewebssituation aus. Um in

Zukunft exaktere Schlussfolgerungen tätigen zu können, wird es nötig sein, größere Patientenkollektive über noch längere Zeiträume zu untersuchen.

## Abstract

**Key words:** dental implant, crestal bone loss, conical implant

**Purpose:** The aim of this retrospective study regarding CAMLOG<sup>®</sup> ROOT-LINE implants was to obtain long-term results about their crestal bone loss, periodontal parameters and technical complications.

**Materials and methods:** 245 implants, which were inserted between 2003 and 2006, were investigated both clinically and radiologically. 112 persons were examined (69 women, 43 men). The indices Plaque Index according to O'Leary (PI), bleeding on probing (BOP) and probing depths (PD) were examined. For X-ray analysis the radiographs at the time of insertion or implant exposure were compared with newly taken radiographs at the time of examination and thus the crestal bone loss was determined.

**Results:** Of the 245 implants examined, 230 were in situ. The survival rate was 93.9 %. Technical complications occurred in 6.9 %. On average  $31.1 \pm 23.4$  % of the implant surfaces were covered with plaque. The average marginal bone loss was  $1.64 \pm 1.23$  mm. The average pocket depth between implant and pocket fundus was 2.74 mm. The value of the BOP was 26.7 %. In smokers, the average probing depth was 3.11 mm. In nonsmokers a mean depth of 2.66 mm was detected.

**Discussion:** The cause of implant loss seems to be the implantation process rather than biological contamination (Sakka and Coulthard, 2011). Smoking is a contributing factor to the progression of bone loss and the extension of periimplant inflammation (Bain, 2006; Roos-Jansåker *et al.*, 2006). Another factor influencing the progress of periimplant inflammation seems to be the different bone qualities in the upper and lower jaw and whether a bone augmentation has been performed (H. S. Park *et al.*, 2008).

**Conclusion:** The results of this retrospective study show that conical implants are an adequate treatment therapy for everyday clinical practice. Various clinical parameters affect the peri-implant hard and soft tissue situation. In order to be able to make more accurate conclusions in the future, it will be necessary to examine larger patient populations for even longer periods of time.

# Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung.....	i
Danksagung.....	ii
Zusammenfassung.....	iii
Abstract.....	v
Inhaltsverzeichnis.....	vi
Abkürzungsverzeichnis.....	viii
Abbildungsverzeichnis.....	ix
Tabellenverzeichnis.....	x
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Diagnostik und Planung.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 Diagnostik in der Implantologie.....	1
1.1.2 Planung in der Implantologie.....	2
1.1.3 Seitenzahnbereich.....	3
1.1.4 Frontzahnbereich.....	5
<b>1.2 Biokompatibilität.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Osseointegration.....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Implantatmaterialien.....</b>	<b>9</b>
1.4.1 Titan.....	9
1.4.2 Keramik.....	10
<b>1.5 Indikationen und Voraussetzungen für eine Implantation.....</b>	<b>11</b>
<b>1.6 Implantatdesign.....</b>	<b>17</b>
1.6.1 Mikroskopisches Design.....	17
1.6.2 Makroskopisches Design.....	20
<b>1.7 Vergleich von retrospektiver und prospektiver Datenerhebung.....</b>	<b>21</b>
<b>2 MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1 PatientInnenkollektiv.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2 Verwendetes Implantatsystem: CAMLOG® ROOT-LINE.....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 Klinische Untersuchung.....</b>	<b>26</b>
2.3.1 Plaque-Index nach O’Leary.....	26
2.3.2 Sondierungstiefen (PD).....	28
2.3.3 Blutung auf Sondierung (BOP).....	29

<b>2.4 Analyse der Röntgenaufnahmen .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5 Statistische Auswertung.....</b>	<b>31</b>
<b>3 ERGEBNISSE .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Klinische Analyse.....</b>	<b>32</b>
3.1.1 Demografie und Implantatcharakteristik .....	32
3.1.2 Klinische Parameter und Implantatkomplikationen .....	33
3.1.3 Einfluss klinischer Parameter auf Sondierungstiefen.....	35
<b>4 DISKUSSION .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 Vergleich mit Langzeitstudien.....</b>	<b>37</b>
<b>4.2 Interpretation der Ergebnisse .....</b>	<b>41</b>

## Abkürzungsverzeichnis

BOP	bleeding on probing
CMD	craniomandibuläre Dysfunktion
cp	commercially pure
CT	Computertomografie
DIB	distance between implant-shoulder to bone-implant contact
DVT	Digitale Volumetomografie
GBR	guided bone regeneration
IgG	Immunglobulin
Mand.	Mandibula
Max.	Maxilla
MBL	marginal bone loss
N.	Nervus
OPT	Orthopantomogramm
PD	probing depths
PI	Plaque-Index
PMN	polymorphkernige neutrophile Granulozyten
RGD	Aminosäuresequenz
SLA	Sand-blasted-large-Grit-etched-Oberflächen
ST	Sondierungstiefen
TPS	Titan-Plasma-Spritzbeschichtung

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Angulationen der Implantate im Seitenzahnbereich .....	4
<b>Abbildung 2:</b> Implantatposition 3-4 mm apikal des Gingivarandes .....	6
<b>Abbildung 3:</b> Klassifizierung der Knochenqualität von Lekholm und Zarb (1985).....	14
<b>Abbildung 4:</b> Implantatoberfläche nach Behandlung mit Säure .....	17
<b>Abbildung 5:</b> Implantatoberfläche nach Pulverbestrahlung; (A) reine Oberfläche, (B) Oberfläche mit Aluminiumpartikel kontaminiert .....	18
<b>Abbildung 6:</b> Implantatoberfläche nach Anodisierung .....	19
<b>Abbildung 7:</b> Oberflächenmorphologie beeinflusst Osteoblastenform.....	19
<b>Abbildung 8:</b> Tube-in-Tube-Verbindung des CAMLOG <sup>®</sup> -ROOT-LINE-Systems.....	25
<b>Abbildung 9:</b> CAMLOG <sup>®</sup> -ROOT-LINE-Implantate mit verschiedenen Durchmessern...	25
<b>Abbildung 10:</b> Erhebung des Plaque-Index (PI) .....	27
<b>Abbildung 11:</b> The Plaque Control Record 1970 (Quelle: O’Leary, Drake und Naylor, 1972).....	27
<b>Abbildung 12:</b> Erhebung der Sondierungstiefen (PD) und der Blutung auf Sondierung (BOP).....	29
<b>Abbildung 13:</b> Vermessung der Kleinbildaufnahmen a) Röntgen nach Insertion, b) aktuelles Röntgen .....	30
<b>Abbildung 14:</b> Kaplan-Meier-Kurve mit der kumulativen Überlebensrate in Bezug zur Liegedauer der Implantate in Jahren .....	34
<b>Abbildung 15:</b> Diagramm von PI, PD und MBL .....	34
<b>Abbildung 16:</b> Vergleich von Sondierungstiefen und ausgewählten Parametern an Implantationsstellen (Rauchgewohnheit, Augmentation, Implantatposition) .....	35

## **Tabellenverzeichnis**

<b>Tabelle 1:</b> Klassifizierung der Knochenqualität nach Lekholm und Zarb (1985) .....	14
<b>Tabelle 2:</b> Klassifizierung der Knochenqualität nach Misch (1990) .....	15
<b>Tabelle 3:</b> Demografische Daten (a) und Implantatcharakteristik (b) .....	32
<b>Tabelle 4:</b> Ausgewählte Parameter (PI, PD, MBL, BOP, technische Komplikationen und Implantatverlust).....	33
<b>Tabelle 5:</b> Kreuztabelle – Vergleich zwischen technischen Komplikationen und Implantatalter.....	35
<b>Tabelle 6:</b> Unterschiedliche Definitionen und Kriterien der Periimplantitis.....	43

# **1 Einleitung**

Ein zahnmedizinisches Implantat ist ein alloplastischer Fremdkörper, der in den Kieferknochen inseriert wird, um dort als Pfeiler für Einzelzahnkronen, Brücken und partielle Prothesen oder Totalprothesen zu fungieren. Eine implantatprothetische Therapie ist nur dann erfolgversprechend, wenn das Implantat im Knochen osseointegriert und die auftretenden Kaukräfte sowie funktionellen Belastungen über eine Suprakonstruktion aufnimmt und erfolgreich in das umliegende Gewebe weiterleitet (Jackowski, Peters und Hölzle, 2017, S. 741).

In dieser retrospektiven Studie werden Langzeitergebnisse (11-15 Jahre) eines konischen Implantatsystems in Bezug auf Knochenverlust, parodontale Parameter sowie technische Komplikationen präsentiert.

## **1.1 Diagnostik und Planung**

### **1.1.1 Diagnostik in der Implantologie**

3D-Röntgenaufnahmen sowie Panoramaröntgenbilder gehören zum Goldstandard der präoperativen Implantatdiagnostik. Mithilfe von Kleinbildaufnahmen können Ober- und Unterkieferzahnbereiche radiologisch dargestellt und bewertet werden. Vor allem im Frontzahnbereich kommt es im Orthopantomogramm (OPT) oft zu Überlagerungseffekten mit der Wirbelsäule und es entstehen fragliche Veränderungen an den Apizes der Zähne, was in der Diagnostik ein Problem darstellt. Eine Digitale Volumentomografie (DVT) oder eine Computertomografie (CT) sollte bei ungewissem Knochenangebot, bei der Planung einer Sinusbodenelevation, bei der Gefahr einer Verletzung des N. alveolaris inferior sowie bei der Gefahr einer Perforation des Nasen- oder Kieferhöhlenbodens durchgeführt werden (Jackowski, Peters und Hölzle, 2017, S. 750) und wird derzeit routinemäßig zur präimplantologischen Planung eingesetzt.

Die 3D-Diagnostik soll mittels Digitaler Volumentomografie (DVT) das therapeutische Vorgehen der BehandlerInnen in allen Bereichen verbessern. Eine der Hauptindikationen ist die Implantologie. Die Strahlenexposition und somit effektive Dosis beim DVT ist wesentlich geringer als beim CT. Als Nachteil der beiden Verfahren wird die Artefaktbildung angegeben. Vor allem durch die starke Absorption der Strahlung von Metallen wird die Rückprojektion nicht mehr kompensiert, es kommt zu Metallartefakten. Weitere Formen sind die partiellen Volumenartefakte, die durch große Kontrastunterschiede zu Nachbarre-

gionen auftreten können und die Bewegungsartefakte, die besonders beim DVT als größerer Nachteil zu betrachten sind (Fuhrmann, 2013, S. 126–129).

Vor der Planung ist die Erhebung einer genauen Anamnese essenziell. Hierbei muss auf Grunderkrankungen und allgemeine Risiken geachtet werden, die die Gesundheit der PatientInnen im Zuge eines zahnärztlich-chirurgischen Eingriffs gefährden oder auch den Erfolg einer Implantation infrage stellen könnten.

Zu den Risikofaktoren gehören Erkrankungen des Knochens, des Herz-Kreislauf-Systems, des Stoffwechsels, der Blutgerinnung, des Immunsystems, Immunsuppression, intravenöse Bisphosphonatgabe und Alkohol oder Drogenabusus (Gutwald, Gellrich und Schmelzeisen, 2019, S. 465).

Bei der präimplantologischen Befunderhebung an den PatientInnen ist auf Folgendes zu achten:

- Dünner oder dicker Biotyp der Gingiva
- Pathologische Veränderungen
- Beschaffenheit und Form des Alveolarfortsatzes
- Angulationen und Positionen von Nachbarzähnen und antagonistischen Zähnen
- Kieferrelation
- Lachlinie
- Ober- und Unterlippenprofil

Eine dicke Mukosa kann bei einer fortgeschrittenen sagittalen Alveolarkammatrophie ein ausreichendes Angebot an Knochen vortäuschen (Gutwald, Gellrich and Schmelzeisen, 2019).

Nach der Analyse der Röntgenaufnahmen und der Beurteilung von präimplantologischen Befunden kann die Implantatplanung durchgeführt werden.

### **1.1.2 Planung in der Implantologie**

Durch verschiedene chirurgische Techniken, wie z.B. Knochenaugmentation, GBR und Sinuselevation, kann das Knochenangebot vertikal und horizontal angepasst werden, wodurch eine Korrektur der anatomischen Ausgangssituation erfolgt.

Das Implantat wird als eine Extension der prothetischen Suprakonstruktion angesehen. Das bedeutet, dass das prothetische Endziel schon zu Beginn definiert wird und das Implantat

an die hierfür notwendige Position platziert werden muss. Diese Art der Planung wird als „backward planing“ bezeichnet. Etwaige notwendige parodontale, konservierende, prothetische, kieferorthopädische oder chirurgische Vorbehandlungen sollten zu Beginn der Implantattherapie mit Knochenaufbau oder Implantatinsertion abgeschlossen sein (Jackowski, Peters und Hölzle, 2017, S. 752).

Allgemein gilt für eine Implantation ohne augmentative Verfahren ein Restknochenangebot von mindestens 4-6 mm Breite und 6-10 mm Höhe im Unterkiefer. Im Oberkiefer wird eine Knochenbreite von mindestens 6 mm und eine Höhe des Knochens von mindestens 10 mm gefordert (Gutwald, Gellrich und Schmelzeisen, 2019, S. 470).

In der durchgeführten Studie wurden 245 Implantate untersucht. Dabei war die häufigste Lokalisation der Seitenzahnbereich mit 162 Implantaten. Im Frontzahnbereich wurden 83 Implantate evaluiert. Für beide Regionen gibt es unterschiedliche Planungsstrategien, die zu beachten sind.

### **1.1.3 Seitenzahnbereich**

Für eine Planung der Implantation im Seitenzahnbereich ist es obligat, das vorhandene Platzangebot zu analysieren. Das mesiodistale Platzangebot bezieht sich hauptsächlich auf die Anatomie des verloren gegangenen Zahns und die Anzahl der zu ersetzenden Zähne. Folgende Richtlinien sollten bei der Insertion von Implantaten eingehalten werden:

- Das Implantat sollte 1,5 mm vom Nachbarzahn entfernt sein.
- Das Implantat sollte zumindest 3 mm vom nächsten Implantat entfernt sein.
- In der Molarregion sollte ein Implantat mit größer dimensioniertem Durchmesser gewählt werden um eine effektivere Kraftweiterleitung in den Knochen zu gewährleisten (Jivraj and Chee, 2006a); (Misch, 2005).

Implantatgetragene prothetische Versorgungen im Seitenzahnbereich weisen gegenüber abnehmbaren prothetischen Versorgungen viele Vorteile auf. Die wichtigsten Vorteile sind hierbei eine verbesserte Abstützung, eine stabilere Okklusion und der Erhalt des Knochens. Auch die Restbezahnung wird durch die Vermeidung von restaurativ-invasiver Behandlungsverfahren geschont (Jivraj and Chee, 2006a).

Bei der bukkolingualen Ausdehnung werden 6 mm Knochenbreite gefordert, um ein Implantat von 4 mm setzen zu können und 7 mm Knochenbreite werden für die Insertion eines Implantats von 5 mm Durchmesser gefordert. Die Implantate sollten so gesetzt werden, dass die Projektion der späteren Versorgung mit der gegenüberliegenden Kronenform

übereinstimmt. Die posterioren Unterkieferimplantate sollten so platziert werden, dass der Austrittswinkel des Schraubenzugangs zur inneren Neigung des palatinalen Höckers zeigt. Die posterioren Oberkieferimplantate sollten so platziert werden, dass der Austrittswinkel des Schraubenzugangs zur inneren Neigung der unteren bukkalen Höcker zeigt (siehe Abb. 1) (Jivraj and Chee, 2006a).



**Abbildung 1: Angulationen der Implantate im Seitenzahnbereich (Quelle: Jivraj und Chee, 2006)**

Der Zugang zum Gewinde für die zentrale Befestigungsschraube sollte möglichst durch die Zentralfissur verlaufen. Bei einer verschraubten Restauration liegt der Vorteil in der Abnehmbarkeit, um Reparaturen oder Erweiterungen zu vereinfachen. (Marxkors, 2010, S. 260).

Die okklusogingivale Ausdehnung muss sowohl für die Beurteilung eines adäquaten Platzangebots für die Restauration als auch für die Beurteilung eines ausreichenden Knochenangebots für eine Implantation herangezogen werden. Bei der Untersuchung sollte der Abstand zwischen dem Restknochenkamm und der gegenüberliegenden Okklusionsebene bewertet werden. Die Ersetzung von Prämolaren und Molaren erfordert einen Abstand von 10 mm zwischen dem Restknochenkamm und der gegenüberliegenden Okklusion (Jivraj and Chee, 2006a).

Die Okklusion sollte so gestaltet werden, dass eine anteriore Führung und Disklusion der Seitenzähne bei lateralen exzentrischen Bewegungen erfolgt. Die Seitenzähne dürfen weder auf der arbeitenden noch auf der nicht arbeitenden Seite okkludieren. Wenn keine Eckzahnführung einstellbar ist, ist eine Gruppenführung akzeptabel. Der anfängliche okklusale

Kontakt sollte am natürlichen Gebiss erfolgen. Die zentrischen Kontakte werden mit leichtem okklusalen Kontakt auf den Implantatkronen eingestellt (Jivraj und Chee, 2006a).

#### **1.1.4 Frontzahnbereich**

Die Behandlungsplanung bei implantatgetragenen prothetischen Versorgungen im Frontzahnbereich muss sich mit den Schwierigkeiten des Hart- und Weichgewebsmanagements befassen und diese mit Präzision bei der Implantatinsertion kombinieren. Vor allem im Frontzahnbereich liegt die Ästhetik im Vordergrund, weshalb die Positionierung eines Implantats in allen drei Raumrichtungen und in Bezug zu den Nachbarzähnen exakt geplant werden muss. Aus ästhetischer Betrachtungsweise soll die spätere Restauration einen harmonischen Verlauf zum Gingivarand aufweisen. Aus biologischer Sichtweise sollen Gingiva und Knochen möglichst erhalten bleiben (Jivraj und Chee, 2006b).

Durch die biologischen Umbauprozesse nach Zahnverlust kommt es zu einer Alveolarkammatrophy. Es ist notwendig, die Diskrepanz zwischen dem Knochenniveau an der vorgeschlagenen Implantationsstelle und dem Niveau an den Nachbarzähnen zu bewerten. Ein zu großer Unterschied stellt ein Risiko für die Gesundheit des parodontalen und periimplantären Gewebes dar. Angesichts dessen sollte der Chirurg erwägen, den Kamm vor der Implantatinsertion zu rekonstruieren, um ein ästhetisch ansprechendes Ergebnis zu erhalten (Jivraj und Chee, 2006b).

Um eine geeignete apikokoronale Positionierung des Implantats zu gewährleisten, muss ein diagnostisches Wax-up gemacht und daraus eine chirurgische Bohrschablone erstellt werden. Das Emergenzprofil und die Form der Restauration sind in der Führung wiedergegeben, um die Implantatposition beim Inserieren zu verifizieren (Jivraj und Chee, 2006b).

Die Implantatschulter des gesetzten Implantats sollte 2-3 mm unter der tiefsten Stelle der labialen, koronalen Gingiva des angrenzenden Zahns liegen (siehe Abb. 2). Die Ausrichtung sollte tendenziell eher nach palatinal erfolgen als nach labial (Gernet *et al.*, 2017, S. 100; Jivraj und Chee, 2006b).

Zu den benachbarten Zähnen sollte ein Abstand von 2 mm eingehalten werden und die Distanz zwischen approximalem Kontaktpunkt und Limbus alveolaris sollte 3-4 mm betragen (Marxkors, 2010, S. 260).

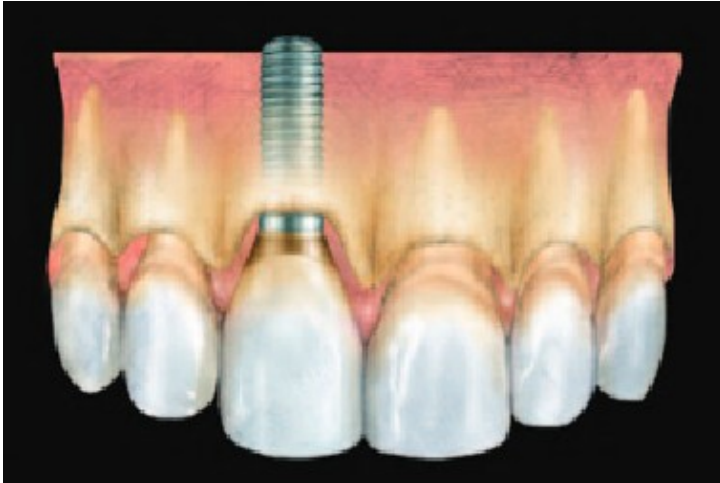


Abbildung 2: Implantatposition 3-4 mm apikal des Gingivarandes (Quelle: Jivraj und Chee, 2006b, S. 84)

## 1.2 Biokompatibilität

Sobald die Planung abgeschlossen und das Implantat in den Knochen inseriert wurde, beginnen im Körper Umbau- und Einheilprozesse.

Eine Möglichkeit, um diese Einheilung von Implantaten zu beschreiben, ist die sogenannte Biokompatibilität, basierend auf der biologischen Antwort des umliegenden Fremdgewebes. Es haben sich drei unterschiedliche Gruppen manifestiert: Biotoleranz, Bioinertheit und Bioaktivität.

Bei der Biotoleranz wird das Implantat nicht vom Körper abgestoßen oder abgebaut, sondern durch eine fibröse Kapsel an der Grenzfläche zwischen Knochen und Implantat umgeben. Dies entsteht durch einen Änderungszustand von angelagerten Serumeiweißen im Randspalt, die einen inflammatorischen Ablauf in Gang setzen und letztlich zu einer Distanzosteogenese führen, wodurch der Randspalt nicht knöchern ausheilt. Die Distanzosteogenese schreitet mit einer Knochenneubildungsrate von circa  $0,6-1 \mu\text{m}$  pro Tag entlang der Osteotomiefläche voran (Dinkelacker, 2014, S. 18–19; Gutwald, Gellrich und Schmelzeisen, 2010, S. 388–389; Barfeie, Wilson und Rees, 2015).

Die Bioinertheit beschreibt die Situation, dass die angereicherten körpereigenen Proteine keine Konformitätsänderung mehr erfahren und deshalb keine entzündliche Reaktion ausgelöst wird. Infolgedessen kann sich neues Knochengewebe weiter im Randspalt etablieren, und es kommt zu kleinen, flächigen Kontakten zwischen dem Fremdkörper und dem Kieferknochen. Man spricht nun von einer Kontaktosteogenese, die eine Knochenneubildungsrate von  $30-50 \mu\text{m}$  pro Tag aufweist und somit einen wesentlich schnelleren Einhei-

lungsverlauf zeigt als die Distanzosteogenese (Dinkelacker, 2014, S. 18–19; Gutwald, Gellrich und Schmelzeisen, 2010, S. 388–389; Barfeie, Wilson und Rees, 2015).

Bei der Bioaktivität erfolgt die Knochenneubildung komplett bis zur Implantatoberfläche, es kommt zu einem Ionenaustausch mit dem Fremdmaterial, wodurch eine chemische Verbindung entsteht. Diese Verankerung ist wesentlich stabiler als die anderen und wird als Verbundosteogenese bezeichnet (Dinkelacker, 2014, S. 18–19; Gutwald, Gellrich und Schmelzeisen, 2010, S. 388–389; Barfeie, Wilson und Rees, 2015).

Alle im Mund platzierten künstlichen Werkstücke werden kontinuierlich mit Speichel benetzt, einem Luft-Wasser-Gemisch, welches 0,1 N Chloride und andere Elemente wie Natrium, Kalium, Kalzium, Schwefel sowie Kohlenstoffdioxid, Phosphat und Muzine enthält. Ein normalerweise dominierender pH-Wert im Mund variiert zwischen 5,5 und 7,5. Der angesiedelte bakterielle Biofilm kann den pH-Wert bis auf 2 heruntersenken. Auch gewisse enorale Temperaturschwankungen und kurzzeitige Zufuhr von Speisen und Getränken haben einen Einfluss darauf. Verbleibende Nahrungsreste zersetzen sich in ihre molekularen Bestandteile und können Schwefelverbindungen eingehen, die zu Verfärbungen führen können. Die auftretenden Kräfte im Kauorgan können bis zu 1000 N bei Stoßbelastungen betragen, wobei die herkömmlichen Kaubelastungen bei der Mastikation im Durchschnitt zwischen 150 N und 250 N liegen (Oshida *et al.*, 2010, S. 4–5).

Durch diese Bedingungen in der Mundhöhle kann schlussfolgernd festgehalten werden, dass die Biokompatibilität der Materialien mitunter mit der Korrosionsresistenz gleichzusetzen ist, denn nur durch die Korrosionsprozesse und den Austausch von Ionen sind metallische Materialien in der Lage, mit dem umliegenden organischen Gewebe zu reagieren und Toxizität zu entwickeln (Oshida *et al.*, 2010, S. 4–5).

### 1.3 Osseointegration

Eine andere Möglichkeit um den Einheilprozess von Implantaten in den Kieferknochen zu beschreiben, ist die Osseointegration.

Osseointegration wurde bereits 1983 durch Brånemark definiert als: „a direct structural and functional connection between ordered, living bone and the surface of a load-carrying implant“ (Brånemark, 1983).

In der Implantologie wird zwischen Primärstabilität und Sekundärstabilität unterschieden. Die Primärstabilität wird durch die Insertion eines Implantats in den zahnlosen Kiefer durch Presspassung erreicht, wobei die Sekundärstabilität erst durch den Ablauf des Heilungsprozesses einsetzt. Hierbei bauen Osteoklasten den nekrotischen Gewebeanteil ab, und neue Knochensubstanz wird durch Osteoblasten um das Implantat angereichert, wodurch es zur Osseointegration kommt (Barfeie, Wilson und Rees, 2015). Dies kann allerdings nur geschehen, wenn sich jene Zellen an die biokompatible Oberfläche des Implantats anlagern. Nun kommt es zu einer Reorganisation des Zytoskelettes durch einen Informationsaustausch zwischen der extrazellulären Matrix an der Grenzschicht zwischen Implantataußenseite und neugebildeten Osteoblasten sowie den umliegenden intakten Zellen. Sowohl die Morphologie als auch die Rauigkeit der Oberfläche des Biomaterials haben direkten Einfluss auf die Zellproliferation und Differenzierung, die Synthese der extrazellulären Matrix, auf lokale Wachstumsfaktoren und die Gestalt der Zellen (Anselme und Biggerelle, 2005). Die Adhäsion der Osteoblasten an die Zelloberfläche allein ist nicht ausreichend, um eine Osseointegration garantieren zu können. Für die angelagerten Zellen ist es notwendig, ein Signal zu bekommen, das sie proliferieren lässt. Beispielsweise wird durch Coating von Titanoberflächen mit „bone morphogenetic protein“ die osteoblastische Zellteilung nach ihrer Anlagerung vorangetrieben. Auch die Anwesenheit von Fibronectin beschleunigt die Zellproliferation, indem ihre Aminosäuresequenz (RGD) Zellzykluskaskaden in Gang setzt (Boyan et al., 1996; Albrektsson, Brånemark, Hansson, 1981). Die knöcherne Einheilung der Implantate verläuft dabei in verschiedenen Phasen, wie sie auch bei der normalen Ossifikation einer Extraktionswunde erfolgt:

- Der zu Beginn leere Randspalt zwischen Knochen und Implantat füllt sich nach Insertion und durch Verletzung der umliegenden Gewebe mit Blut. Es beginnt sich bis zum vierten Tag ein erstes Gefäßsystem auszubilden. Die eingewanderten Fibroblasten bilden eine bindegewebsartige Matrix, was sich histologisch als frühes

Granulationsgewebe beschreiben lässt. Man findet auch eine Vielzahl an polymorphkernigen neutrophilen Granulozyten, Erythrozyten, Makrophagen und Monozyten, die von einem fortlaufenden Wundheilungsprozess zeugen.

- Dieses Fibrinnetz und ein Teil der nekrotischen Knochenanteile werden durch Osteoklasten abgebaut. Im Laufe der ersten Woche bildet sich bereits Gewebesknochen, der seinen prozentual höchsten Anteil nach zwei Wochen besitzt. Das neue eingewachsene Gefäßsystem und die Überreste des zerspannten Knochens sind in dieser Situation essenziell für die Osteokonduktivität. Präosteoblasten lagern sich nicht nur am Ort des präimplantologischen Knochens, sondern auch an der rauen Oberfläche des Implantats an und es wird neues Knochengewebe gebildet. Nach vier Wochen können keine substanziellen Rückstände des chirurgischen Verfahrens mehr nachgewiesen werden.
- In der zweiten bis zur zwölften Woche wird dieser Geflechtknochen durch Phosphat- und Kalziumeinlagerungen und durch die Umbauvorgänge der Osteoklasten und Osteoblasten Schritt für Schritt in den stabileren und funktionellen lamellären Knochen umgewandelt

(Abrahamsson *et al.*, 2004; Gutwald, Gellrich und Schmelzeisen, 2010, S. 388–389).

## **1.4 Implantatmaterialien**

Für Implantate werden hauptsächlich zwei Materialien verwendet: Titan und Keramik.

### **1.4.1 Titan**

In der Industrie sind Titan und seine Legierungen sehr erfolgreiche Materialien für die Verwendung bei zahnärztlichen und orthopädischen Implantaten. In der Erdkruste kommt Titan als Ilmenit, Rutil, Perowskit oder Titanit vor und wird durch den sogenannten Kroll-Prozess oder das Van-Arkel-de-Boer-Verfahren aus Rutil und Ilmenit erzeugt. Der Reinheitsgrad des hergestellten, cp-reinen (engl. commercially pure) Titans wird durch die Grade 1-4 wiedergegeben und gibt an, mit wie viel Sauerstoff, Eisen und Kohlenstoff das Metall verunreinigt ist. Je höher der Grad, desto unreiner ist das Metall. In der zahnärztlichen Implantologie finden sich hauptsächlich die Legierungen Titan-Aluminium-Vanadium oder Titan-Aluminium-Nobium wieder. Durch die Hinzugabe von Aluminium und Vanadium lässt sich die Verspannung der Gitterstruktur und damit auch das Elastizi-

tätsmodul erhöhen. Einerseits kann durch Kaltverformungen die Starrheit von Titan weiter verbessert werden, andererseits können durch Wärmebehandlungen die Dehnungsgrenzen des Materials und damit das Elastizitätsmodul gesteigert werden (Dinkelacker, Hermann und Zipprich, 2014, S. 16–17). Umstritten ist die Zytotoxizität von Vanadium. In einer Studie von Eisenbarth wurde nachgewiesen, dass sich Bindegewebszellen aus der Gingiva auf der Oberfläche von reinem Titan wesentlich besser entfalten und entwickeln konnten als auf der vergleichenden Oberfläche aus einer Titan-Aluminium-Vanadium-Legierung (Eisenbarth *et al.*, 1996).

Derzeit wird getestet, ob es Zusammenhänge zwischen Vanadium und etwaigen malignen Entartungen und Bronchitiden gibt. Als Ersatzmaterial für Vanadium kann auch Niobium eingesetzt werden. Es bietet den Vorteil, dass es biologisch verträglich ist und eine kleinere Neigung zu Korrosion besitzt. Der Nachteil zeigt sich in der schwierigeren Verarbeitung und Handhabung, was dieses chemische Element zu einer finanziellen Belastung macht (Dinkelacker, Hermann und Zipprich, 2014, S. 17).

Die Kombination aus ultraleichtem Gewicht und hervorragender Stabilität, ein hoher Korrosionswiderstand sowie die minimale plastische Verformbarkeit und ihre zuverlässige Biokompatibilität machen Titan und seine Legierungen nichtsdestoweniger zu idealen Werkstoffen in der medizinischen Branche. Titan interagiert mit dem neu gebildeten Knochengewebe nach einer Implantation. Es kommt zu einem engen Kontakt zwischen den beiden Oberflächen, was eine Grundvoraussetzung für eine Langzeitstabilität und einen langfristigen Erfolg darstellt. Das Implantat wird von einer dichten, hochresistenten Oxidschicht umgeben, die das Metall vor Korrosion und Oxidation schützt. Die Belastung der Umgebung durch Korrosionsprodukte und Ionen, die das umliegende Gewebe potenziell schädigen könnten, ist dadurch sehr gering (Massaro *et al.*, 2002).

#### **1.4.2 Keramik**

Keramikimplantate sind druckbeständig, fest, plastisch nicht verformbar und weisen eine geringe Wärmeleitfähigkeit auf. Allerdings sind sie anfällig gegenüber auftretenden Kerbspannungen, weshalb besondere Achtsamkeit bei der Insertion gegeben sein muss (Dinkelacker, Hermann und Zipprich, 2014, S. 16, 234). Die gängigste Keramik zur Fertigung von Implantaten ist yttriumverstärktes Zirkonoxid. Zirkonoxid weist eine Biegefestigkeit von 1000 Megapascal, eine Härte von 1200-1400 Vickers und ein Weibull-Modul

von 10-12 auf. Durch die Zugabe von Yttrium und Aluminiumoxid können diese Eigenschaften noch einmal verbessert werden (Hotz und Volz, 2004).

Eine Studie zeigt, dass Titanimplantate eine höhere Resorptionsrate im Bereich des verbleibenden kortikalen Knochens aufweisen. Dieser Unterschied ist jedoch zu vernachlässigen, denn zusammenfassend zeigen sowohl Keramik- als auch Titanimplantate ein konsequentes Bone-Remodelling und eine ausreichende Primärstabilität (Martins *et al.*, 2018).

Eines der ersten Keramikimplantate war das „Tübinger Sofortimplantat“ von Schulte. Es wird aus Aluminiumoxidkeramik hergestellt und ist in der Lage, den bei der Mastikation entstehenden Druck aufzunehmen und an den umliegenden Knochen abzuleiten. Unter niedrigen Belastungen bei Zug-, Biege- und Torsionsbeanspruchung neigt das Implantat jedoch zu Frakturen (Schulte *et al.*, 1978).

Anhand einer In-vitro- und In-vivo-Studie von Möller konnte kein Unterschied zwischen Zirkonoxid- und Titanimplantaten beim Zellwachstum nachgewiesen werden. Alle untersuchten Oberflächen zeigten unter dem Rasterelektronenmikroskop gleichmäßige Osteoblastenadhäsion und Zellteilung (Möller *et al.*, 2012).

## **1.5 Indikationen und Voraussetzungen für eine Implantation**

Die im Zuge der Studie untersuchten konischen Titanimplantate wurden bei Einzelzahnlücken, Freiendsituationen, Schaltlücken und zahnlosen Kiefern inseriert. Für das klinisch etablierte Verfahren der zahnärztlichen Implantation gibt es für jeden einzelnen Fall klare Indikationsstellungen.

### **➤ Einzelzahnlücken:**

Es kann prinzipiell zwischen Einzelzahnlücken im Front- und Seitenzahnbereich unterschieden werden.

Im Seitenzahnbereich müssen die Zahnlücken eine ausreichende Breite aufweisen, um eine Implantation zu ermöglichen. Der Abstand zwischen den Zähnen sollte in der Prämolarenregion 7 mm und in der Molarenregion 9 mm betragen. Eine weitere Anforderung ist ein suffizientes Knochenangebot.

Der Frontzahnbereich im Oberkiefer erfordert aufgrund der Ästhetik eine präzise Festlegung von Implantatsystem, Durchmesser und Position. Die Lückenbreite sollte hierbei

mindestens 7 mm betragen und das vertikale Platzangebot von der Implantatplattform bis zum Antagonisten 7 mm aufweisen. Die bukkale Lamelle im Frontzahnbereich ist im Durchschnitt 0,4-0,8 mm dünn und wird nach Extraktion des Zahns innerhalb von drei bis sechs Monaten resorbiert. Bei Missachtung der knöchernen Situation kann es nach einer Implantation zur Beeinträchtigung der Ästhetik kommen.

Ein Einzelzahnimplantat in der Unterkieferfront ist bedingt durch den Platzmangel nur selten indiziert (Schwenzer und Ehrenfeld, 2009, S. 258–260).

#### ➤ **Freiendsituation/Schaltlücke:**

Bei der Freiendsituation erfolgt je nach Ort und Anzahl der fehlenden Zähne eine Unterscheidung in drei verschiedene Gruppen.

Bei Verlust des zweiten Molaren ist ein Implantat nur dann indiziert, wenn es zur Abstützung des Antagonisten benötigt wird. Es sollte in dieser Situation ein größerer Durchmesser des Implantats gewählt werden, da auf diese Region sehr hohe Kaukräfte wirken. Durch die größere Oberfläche des Implantats können die auftretenden Kräfte besser in den Knochen weitergeleitet werden.

Bei Verlust von zwei Molaren besteht die Möglichkeit, sie durch ein oder zwei Implantate zu ersetzen. Es sollte auch hierbei auf die Verwendung eines größeren Durchmessers geachtet werden.

Der Verlust von zwei Molaren und ein bis zwei Prämolaren erfordert im Oberkiefer mindestens drei Implantate und im Unterkiefer, je nach prothetischem Behandlungsplan, mindestens zwei Implantate (Schwenzer und Ehrenfeld, 2009, S. 261).

Eine Schaltlücke wird abhängig von ihrer Größe implantologisch entweder durch mehrere Einzelzahnimplantate oder durch rein implantatgetragene Brücken geschlossen (Marxkors, 2010, S. 260). Durch diese festsitzenden implantologischen Versorgungen kann auf eine herausnehmbare, schleimhautgetragene Modellgussprothese verzichtet werden. Eine beeinträchtigende Gaumenabdeckung in der Maxilla oder ein störender Sublingualbügel in der Mandibula wird auf diese Weise vermieden. Auch die mit dem abnehmbaren Zahnersatz assoziierten physiologischen Problematiken werden dadurch verhindert (Gutwald, Gellrich und Schmelzeisen, 2019, S. 456).

#### ➤ **Zahnloser Oberkiefer:**

Indikationen für eine implantologische Versorgung im Oberkiefer sind ein unzureichender Prothesenhalt, eine Allergie gegen Prothesenkunststoffe, der Wunsch nach Verbesserung

der Lebensqualität sowie eine psychisch bedingte Prothesenunverträglichkeit. Es erfolgt die Unterscheidung der Suprastrukturen in feststehend und abnehmbar (Overdentures). Je nach sagittaler und horizontaler Relation des Knochens und Ausdehnung der Kieferhöhle werden zwischen sechs bis acht Implantate im Oberkiefer gesetzt. Hierdurch wird auch die genaue Implantatposition und Implantatneigung vorgegeben. Wenn aufgrund der Phonetik, der Weichteilunterstützung oder einer ungünstigen Kieferrelation eine feststehende Versorgung nicht möglich ist, kann eine Overdenture in Betracht gezogen werden. Die optimale Lösung wird in diesem Fall durch eine Insertion von sechs bis acht Implantaten in der Region zwei bis sechs und durch die Versorgung mit steggetragenen Suprastrukturen erreicht (Schwenzer und Ehrenfeld, 2009, S. 264–266).

➤ **Zahnloser Unterkiefer:**

Durch die anatomischen Gegebenheiten ist eine zufriedenstellende Versorgung des Unterkiefers mit konventionellen prothetischen Möglichkeiten oft schwierig (Gutwald, Gellrich und Schmelzeisen, 2019, S. 456). Auch eine transgingivale Implantation im Unterkiefer ist ohne Darstellung des Knochens und der sublingualen Anteile aufgrund der Verletzungsgefahr der Arteria sublingualis abzulehnen. Für eine erfolgreiche Implantation ist die Einhaltung eines mesialen Sicherheitsabstandes von 5 mm zum Foramen mentale erforderlich. Über dem Foramen mentale und über dem Nervus alveolaris inferior sollte ein Abstand von 1,5-2 mm zum Implantat gewählt werden.

Für feststehende Suprastrukturen sollten im Unterkiefer vier bis sechs Implantate inseriert werden.

Zu den abnehmbaren Suprastrukturen (Overdenture) zählt der steggetragene Zahnersatz auf vier interforaminär lokalisierten Implantaten. Hierbei wird eine steggetragene-Prothese eingegliedert. Die distale Extension des Steges sollte nicht mehr als 10-12 mm betragen (Schwenzer und Ehrenfeld, 2009, S. 268–270).

Die Voraussetzungen für eine komplikationslose Implantation werden durch die Erfüllung der Indikationskriterien sowie der Beurteilung der vorhandenen Knochenqualität und Knochenquantität geschaffen.

Ein Knochen besteht aus einem hochkomplexen Material aus organischer und anorganischer Matrix. Er fungiert als Gerüst und Schutz für Muskulatur und Weichgewebe und dient als Speicher des Körpers für Kalzium. Abhängig von Alter, Lokalisation und Aufga-

be des Knochengewebes setzt er sich unterschiedlich zusammen (Ludwig und Niedermeier, 2002, S. 55).

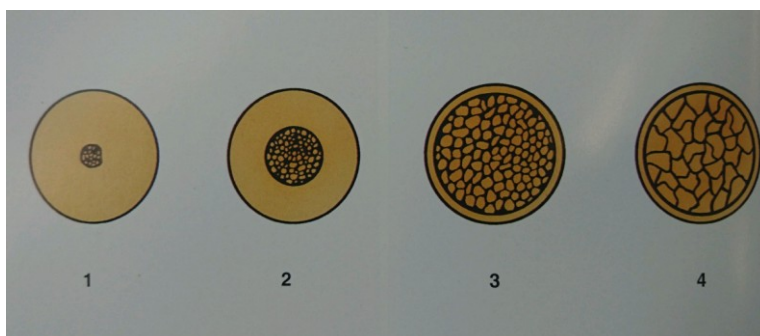
In der Maxilla weist der Knochen einen breiten spongiösen Rand auf, um eine bessere Kaukraftweiterleitung zu gewährleisten. Aufgrund der weniger kompakten Knochenstruktur ist hier eine Implantation tendenziell weniger erfolgreich als in der Mandibula, die eine feste Kompakta aufweist (Ludwig und Niedermeier, 2002, S. 55).

Anhand einer Klassifikation für die Knochendichte nach Lekholm und Zarb werden die unterschiedlichen Knochenqualitäten in Tabelle 1 dargestellt (Lekholm, Zarb, 1985).

**Tabelle 1: Klassifizierung der Knochenqualität nach Lekholm und Zarb (1985)**

<b>Klasse</b>	<b>Spongiosa</b>	<b>Kompakta</b>
1	wenig	überwiegend homogen
2	engmaschig	breit
3	engmaschig	dünn
4	weitmaschig	dünn

In Abbildung 3 lässt sich erkennen, dass der Knochen in Klasse 1 überwiegend aus kortikalem Knochen besteht. In Klasse 2 umgibt eine dicke Schicht von kortikalem Knochen den weniger dichten trabekulären Knochen. In Klasse 3 umgibt eine dünne kortikale Schicht einen Kern von trabekulärem festen Knochen, und in Klasse 4 wird der wenig dichte spongiöse Knochen von einer dünnen Kortikalisschicht umgeben.



**Abbildung 3: Klassifizierung der Knochenqualität von Lekholm und Zarb (1985) (Quelle: Spiekermann et al., 1994)**

1990 wurde von Misch eine weitere Klassifizierung eingeführt (siehe Tab. 2), bei der er den Knochen in vier verschiedene Qualitätsklassen (D1-D4) mit topografischer Zuordnung

unterteilt (Misch, 1990). Vor prothetischen Versorgungen sollen, je nach Knochenqualität, entsprechende Ruhephasen eingehalten werden, damit sich der Knochen den funktionellen Belastungen anpassen kann (Spiekermann *et al.*, 1994, S. 101).

**Tabelle 2: Klassifizierung der Knochenqualität nach Misch (1990)**

<b>Bone Density</b>	<b>Description</b>	<b>Typical Anatomic Location</b>
D1	Dense Cortical	Anterior Mandible
D2	Porous Cortical and Course Trabecular	Anterior Mandible, Posterior Mandible, Anterior Maxilla
D3	Porous Cortical (Thin) and Fine Trabecular	Anterior Maxilla, Posterior Maxilla, Posterior Mandible
D4	Fine Trabecular	Posterior Maxilla

Unterstützende Faktoren der erfolgreichen Osseointegration sind:

- eine angemessene, möglichst schonende Präparation des Implantatbettes
- ein formgetreues Implantat, das sich der geschaffenen Alveole anpasst
- eine niedrige Drehgeschwindigkeit des Implantatbohrers mit laufender Kühlung
- Erreichen der Primärstabilität durch ein gutes Knochenlager

(Schwenzer und Ehrenfeld, 2009, S. 232).

Als Primärstabilität wird die Stabilität des Implantats beim Insertionsvorgang in das Knochengewebe bezeichnet, die ausschließlich durch Klemmpassung und Verdrängung des Knochens erreicht wird. Sie ist nach Jackowski *et al.* abhängig von:

- Länge und Durchmesser des Implantats
- makroskopischem und mikroskopischem Design des Implantats
- Technik der Insertion
- Qualität und Quantität des Knochens
- Kongruenz von Implantat und Lagerknochen

(Jackowski, Peters und Hölzle, 2017, S. 743).

Die Sekundärstabilität wird nach der Einheilphase durch den Osseointegrationsablauf und die abschließende Bildung von Lamellenknochen erreicht. Sie wird experimentell als

Drehmoment definiert, das aufgebracht werden muss, um ein in den Knochen eingeeiltes Implantat wieder auszudrehen (Jackowski, Peters und Hölzle, 2017, S. 743).

Für die Gewebsregeneration in der Mundhöhle spielt die Schleimhaut eine wichtige Rolle. Je dicker und entzündungsfreier die Mukosa um das gesetzte Implantat ist, desto weniger ist mit Dehiszenzen zu rechnen (Ludwig und Niedermeier, 2002, S. 55). In der Mundhöhle kommt es zu einer dauerhaften Kontamination der inserierten Implantate mit teilweise pathogenen Keimen der Mundflora, was eine ständige Inflammation des Gewebes hervorrufen müsste und schlussendlich zu einem Verlust des Implantats führen würde. Durch die starke Vaskularisierung und Perfusion der oralen Gewebestrukturen kommt es jedoch zu einer verstärkten Immunantwort, die die schädlichen Bakterien meist supprimieren kann (Gernet, 2017, S. 84–85).

## 1.6 Implantatdesign

### 1.6.1 Mikroskopisches Design

Im Allgemeinen werden Implantate zwischen additiv beschichteten Werkstücken und Werkstücken, deren Außenflächen durch subtraktive Mikrostrukturverfahren behandelt werden, unterschieden. Zu den additiven Beschichtungen gehören Titan-Plasma-Spritzbeschichtung (TPS) oder auch hydroxylapatitbeschichtete Oberflächen. Sie weisen eine äußerst schnelle Einheilung mit starker Verbindung zwischen Implantat und Knochen auf (Schwenzer und Ehrenfeld, 2009, S. 229).

Fast alle auf dem heutigen Markt befindlichen Implantate besitzen eine Mikrorauigkeit an der Außenseite. Durch spezielle Techniken wie Pulverstrahlen, potentostatisches oder galvanisches Anodisieren oder durch Anätzen mit starken Säuren wie Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure oder Flusssäure werden mikroskopisch kleine Unebenheiten an den Oberflächen erzeugt. Durch das Anätzen selbst konnten bei Titanoberflächen beispielsweise Mikrogrübchen von 0,5 bis  $2\ \mu\text{m}$  Durchmesser nachgewiesen werden (siehe Abb. 4). Diese winzigen Zerklüftungen dienen als bessere Anhaftungsstellen für knochenbildende Zellen und begünstigen dadurch eine Integration in den Kiefer (Gernet, 2017, S. 88; Schwenzer und Ehrenfeld, 2009, S. 228–229; Le Guéhennec *et al.*, 2007).

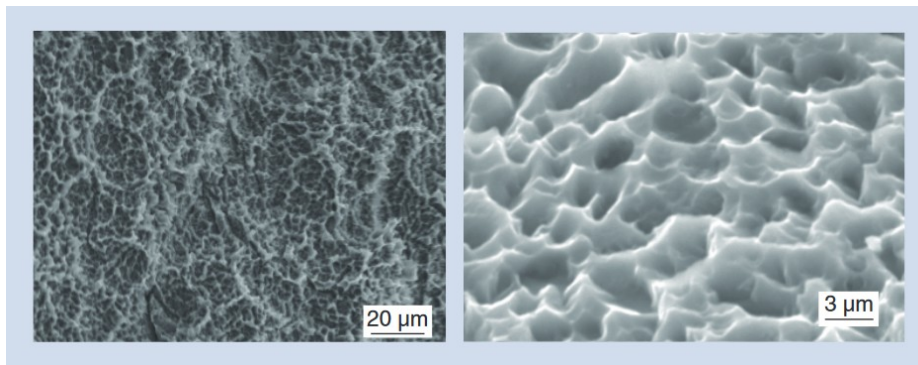
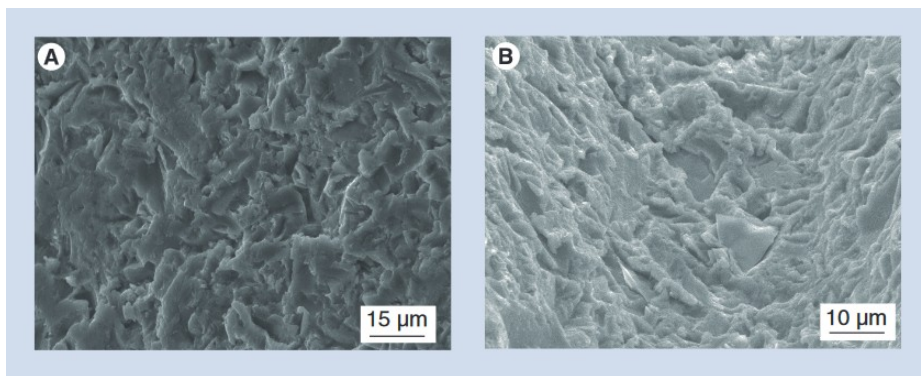


Abbildung 4: Implantatoberfläche nach Behandlung mit Säure (Quelle: Elias und Meirelles, 2010, S. 249)

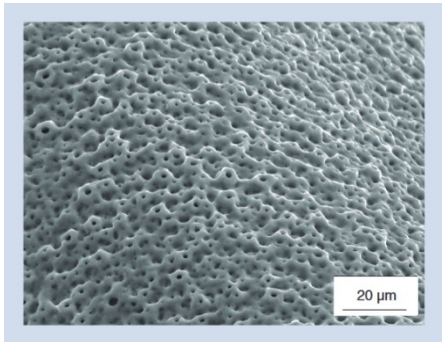
Je nach Größe der Partikel und abhängig davon, mit welcher Kraft und in welchem Winkel sie auf die Oberfläche treffen, entstehen unterschiedliche Vertiefungen und ein Substanzabtrag. Oftmals zeigen sich in der Vergrößerung an der bearbeiteten Oberfläche Kontaminierungen durch die jeweiligen Partikel. Ein Vergleich zwischen reiner Oberfläche und kontaminierter Oberfläche nach Pulverbestrahlung mit Aluminiumpartikeln wird in Abbildung 5 dargestellt.

Die durch Bestrahlung erzeugten Oberflächen können durch den zusätzlichen Schritt einer Säurebehandlung noch weiter modifiziert werden. Es entstehen die sogenannten „Sandblasted-large-Grit-etched-Oberflächen“ (SLA-Oberflächen). Sie haben den Vorteil, dass die bestehende, etwas rauere Oberfläche von einer durchschnittlichen Tiefe von 10,4  $\mu\text{m}$  mit einer extra Mikrobeschaffenheit von 0,63  $\mu\text{m}$  versehen wird und die mit Strahlgutpartikeln kontaminierten Oberflächen durch die Säurewirkung gereinigt werden können. Nach der Säurebehandlung kommt es unter sterilen Bedingungen zu einer Bearbeitung mit Stickstoff und zur Konservierung in Kochsalzlösung. Es werden keine Karbonate und Kohlenwasserstoffe aus der Umgebung aufgenommen, was zu einer besseren Benetzbarkeit der Oberfläche führt. Die so entstandene Hydrophilie der Oberfläche beschleunigt nach Implantation die Anhaftung von Blut und damit die Anlagerung von Osteoblasten (Dinkelacker, Hermann und Zipprich, 2014 S. 26, 34–35, 49; Rupp *et al.*, 2006; Buser *et al.*, 2004).



**Abbildung 5: Implantatoberfläche nach Pulverbestrahlung; (A) reine Oberfläche, (B) Oberfläche mit Aluminiumpartikel kontaminiert (Quelle: Elias und Meirelles, 2010, S. 251)**

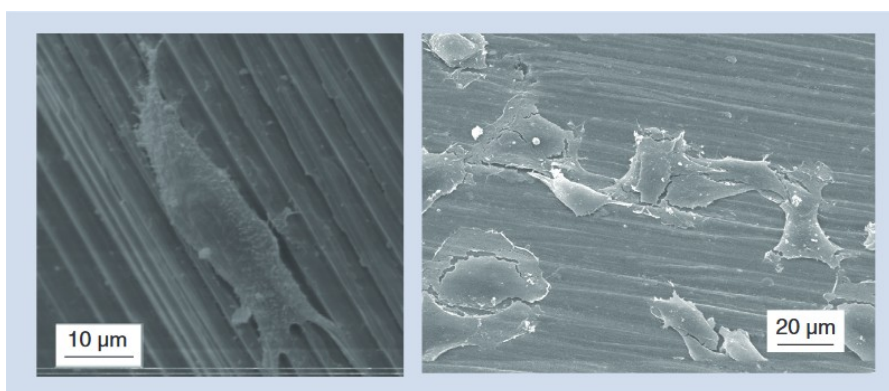
Bei der anodischen Oxidation werden Titanoberflächen mithilfe von Elektronenfluss oxidiert, wodurch kraterförmige Strukturen entstehen, in denen sich knochenbildende Zellen einlagern können (siehe Abb. 6). Es kommt zu einer intensiveren Verbindung zwischen Knochengewebe und Implantatkörper. Außerdem bietet sich der Vorzug, dass es keinerlei Kontamination mit Strahlgutpartikeln gibt (Dinkelacker, Hermann und Zipprich, 2014, S. 48).



**Abbildung 6: Implantatoberfläche nach Anodisierung (Quelle: Elias und Meirelles, 2010, S. 251)**

Die Rauheit von Implantatoberflächen beeinflusst direkt die Primärstabilität des inserierten Körpers (dos Santos, Elias und Cavalcanti Lima, 2011). Zellen reagieren, je nachdem, ob die Oberschicht glatt oder rau ist, unterschiedlich. Fibroblasten und Epithelzellen sind in der Lage, sich stärker an glatte Oberflächen anzuhafte, während Osteoblastenproliferation und Kollagensynthese vermehrt mit rauen Oberflächen in Verbindung gebracht werden (Boyan *et al.*, 2001).

In Abbildung 7 wird der Einfluss der Oberflächenstruktur auf die Osteoblastenform dargestellt.



**Abbildung 7: Oberflächenmorphologie beeinflusst Osteoblastenform (Quelle: Elias und Meirelles, 2010, S. 246)**

Mikroskopische und histologische Analysen zeigten, dass es bei glatter Oberflächenmorphologie zu keiner Verbindung zwischen Knochengewebe und dem Implantat kommt (Albrektsson, Branemark, Hansson, 1981, S. 155–170).

Bei den Untersuchungen trat eine nichtmineralisierte Grenzschicht zwischen 2  $\mu\text{m}$  und 10  $\mu\text{m}$ , bestehend aus extrazellulärer Matrix, auf. Durch die bessere Reinigungsfähigkeit von glatten Oberflächen ist es ratsamer, sie in den Bereich der Gingiva und Schleimhaut auszulagern, um eine hemidesmosomale Anknüpfung von Epithelzellen daran zu ermöglichen (Abrahamsson, 1997, S. 568–572).

Die in der Studie untersuchten konischen Implantate wurden durch Pulverstrahlung und Säureätzung konditioniert, was bei einer guten Knochenqualität die Einheilzeit begünstigt (Krennmair *et al.*, 2010; *camlog*, 2019).

### **1.6.2 Makroskopisches Design**

Beim makroskopischen Design können einteilige und zweiteilige Implantate unterschieden werden. Bei einteiligen Implantaten sind Implantatkörper und Implantataufbau eine Einheit. Bei zweiteiligen Implantaten sind Implantatkörper und Implantataufbau aus zwei Teilen gefertigt. Hierbei kann wiederum zwischen konfektionierten, flachen oder anatomisch nachgebildeten Verbindungen ausgewählt werden. Des Weiteren können beide Typen durch innere und äußere Verbindungen, mit sechseckiger oder konischer Form, miteinander verbunden sein (Dinkelacker, 2014, S. 16).

Bei der Implantatgeometrie wird zwischen konischen und parallelwandigen Implantaten unterschieden. Parallelwandige Implantate besitzen bei gleichbleibendem Durchmesser eine größere Oberfläche als konische Implantate. Konische Implantate ähneln in der Form einer natürlichen Zahnwurzel. Durch die schmalere Form im apikalen Bereich wird bei der Aufbereitung des Implantatbettes weniger Platz benötigt (Jackowski, Peters und Hölzle, 2017). Bei beiden Arten handelt es sich um rotationssymmetrische Implantatsysteme. Bei der Insertion können dadurch die Druck- und Zugspannungen gleichmäßig in den umliegenden Knochen verteilt werden und durch die Form wird die notwendige Primärstabilität erreicht (Dinkelacker, Hermann und Zipprich, 2014, S. 19).

Das makroskopische Design der in der Studie verwendeten konischen Implantate ist wurzelförmig mit einer Implantat-Abutment-Verbindung und drei kurzen eckigen Nuten. Die Schneidenut ist nach oben hin verlängert, wodurch sich das Verhalten beim Eindrehen auch in kompakterem Knochen positiv bemerkbar macht. Einen Vorteil bringt dieses Sys-

tem vor allem bei konvergierenden Wurzeln der Nachbarzähne (camlog, 2019). Die aufgenommenen Kaukräfte können durch die Implantatform direkt in das Knochengewebe weitergeleitet werden (Dinkelacker, Hermann und Zipprich, 2014, S. 19), (camlog, 2019).

Bei den Gewindearten kann zwischen einem selbstschneidenden Gewinde und einem Gewinde, das ein Vorfräsen des Knochenlagers erfordert, unterschieden werden. Ergänzend können sie auch in grobe und feine Gewindesorten unterteilt werden, wobei es auch eine Kombinationsform von beiden gibt, was zu einer besseren Festigkeit im Knochen führt. Hierbei besteht der apikale Anteil des Implantats aus einem groben Gewinde, und der krestale Anteil des Implantats besteht aus mikroskopisch kleinen Windungen.

Die groben Gewinde zeigen direkt nach ihrer Insertion eine gute Primärstabilität, die allerdings in weiterer Folge des naturbedingten Einheilprozesses allmählich verloren geht. Die Mikrostrukturen der feinen Gewinde führen zu einer signifikant verbesserten Ansiedlung von knochenbildenden Zellen und somit zu einer längerfristigen Haftung im Knochen. Bei den kombinierten Gewinden aus apikalem und krestalem Anteil sorgen die groben Rillen für einen basalen Halt sofort nach Implantation und das Mikrogewinde ist für einen bleibenden Verbund im Bereich des krestalen Knochniveaus zuständig (Dinkelacker, Hermann und Zipprich, 2014, S. 20).

## **1.7 Vergleich von retrospektiver und prospektiver Datenerhebung**

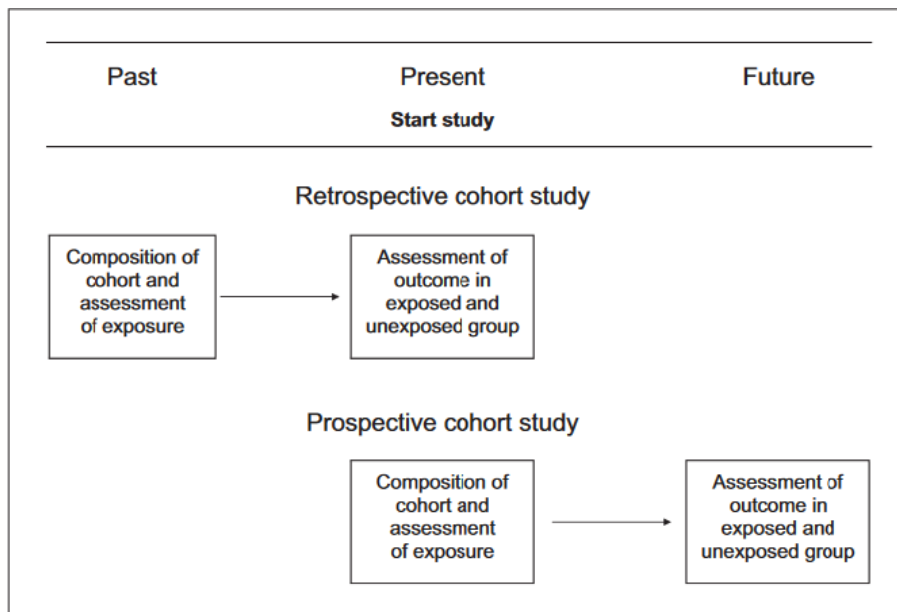
Die Daten der durchgeführten Studie bezüglich eines konischen Implantatsystems wurden hinsichtlich der Röntgenbilder teilweise retrospektiv erhoben. Die Ausgangsröntgenbilder wurden vor Studienbeginn um Zeitpunkt der Implantatinsertion angefertigt

Im Vergleich hierzu wird bei einer prospektiven Studie die Fragestellung vor ihrem Beginn definiert. So zum Beispiel in einer Studie von Sanz mit ähnlicher Thematik, bei der es zunächst das Ziel war, den Zusammenhang zwischen Knochenverlust und zwei verschiedenen Implantatsystemen zu ermitteln. Erst danach wurden die unterschiedlichen Implantate gesetzt und Messungen des Knochniveaus bis 16 Wochen nach Insertion durchgeführt, um die gewünschten Daten zu erhalten (Sessler und Imrey, 2015; Sanz *et al.*, 2010).

Eine schematische Darstellung der Zeitachse einer prospektiven und einer retrospektiven Kohortenstudie ist zur Verdeutlichung der Herangehensweise in Abbildung 8 dargestellt.

Der Vorteil einer prospektiven Studie besteht darin, dass die Forscher die Datenerfassung durch die zuvor definierten Fragestellungen planen und verwalten können, wodurch sich die Datenqualität in der Regel verbessert. Zudem können im Gegensatz zum retrospektiven

Studiendesign die Voraussetzungen für eine gezieltere Beantwortung relevanter Forschungsfragen geschaffen werden. Der Kompromiss für diese Vorteile besteht aus höheren Forschungskosten und längeren Wartezeiten, um Ergebnisse zu erhalten (Sessler und Imrey, 2015).



**Abbildung 8: Grafische Darstellung der Zeitachse in einem retrospektiven und prospektiven Kohortenstudien-Design (Quelle: Euser et al., 2009, S. 2)**

Obwohl CAMLOG<sup>®</sup>-Implantate Gegenstand von zahlreichen umfassenden Studien waren, wie beispielsweise als Einzelzahnimplantate oder als Pfeiler für einen festen oder abnehmbaren Zahnersatz (Krennmair et al., 2007; Ozkan et al., 2007; G., M. und E., 2007), fehlen immer noch Daten über Langzeitergebnisse von über zehn Jahren (Krennmair et al., 2010). Nachfolgend werden Langzeitauswirkungen von konischen Implantaten in Bezug auf Knochenverlust, parodontale Parameter sowie technische Komplikationen präsentiert.

## 2 Material und Methoden

In dieser retrospektiven Studie wurden 245 CAMLOG<sup>®</sup>-ROOT-LINE-Implantate, die im Zeitraum von 2003 bis 2006 bei 112 PatientInnen inseriert wurden, sowohl klinisch als auch röntgenologisch untersucht.

Die Indikationen für die Implantatversorgungen waren:

- zahnlose Kiefer
- Einzelzahnlücken
- Schatlücken
- Friendsituationen

Als wichtigste Parameter wurden die Erfolgsrate und die Implantat-Überlebensrate angenommen. Außerdem sollte die Untersuchung Aufschluss über den krestalen Rückgang des Knochens um das Implantat liefern. Des Weiteren wurden folgende klinische Parameter erhoben:

- Plaque-Index (PI)
- Bleeding on Probing (BOP)
- Sondierungstiefen (PD)
- Marginaler Knochenrückgang (MBL)

Der Erfolg der Implantate wurde durch folgende Kriterien nach Buser beurteilt:

- Das Implantat ist in situ.
- Es bestehen keine persistierenden Beschwerden wie Schmerzen, Fremdkörpergefühl und/oder Dysästhesien.
- Es bestehen keine rezidivierenden periimplantären Infektionen mit putrider Sekretion.
- Es ist keine Mobilität des Implantats feststellbar.
- Es ist keine periimplantäre Radioluzenz feststellbar

(Buser, Weber und Lang, 1990).

Bei Implantatverlust oder einer Explantation wurden das Datum und eine gegebenenfalls im Zusammenhang stehende periimplantäre Infektion von dem behandelnden Zahnarzt vermerkt. Die Periimplantitis wurde hierbei nach den Kriterien von Buser definiert, wobei

eine Mobilität von Implantaten, Beschwerden der PatientInnen und/oder ein radiologisch fortschreitender periimplantärer Knochenverlust festgestellt werden konnten (Buser, Weber und Lang, 1990).

Folgende von Berglundh definierte Kriterien wurden zu den technischen Komplikationen zusammengefasst:

- Fraktur eines Implantats
- Lockerung oder Bruch des Abutments
- Lockerung oder Bruch der Krone
- Absplitterung von Kronenverblendmaterial
- Gerüstfrakturen

(Berglundh, Persson und Klinge, 2002).

## **2.1 PatientInnenkollektiv**

Es wurden 253 Personen eingeladen, um an einer Implantat-Nachsorgeuntersuchung im Oktober und November 2017 teilzunehmen. Von den kontaktierten 253 Personen nahmen 112 Personen (69 Frauen und 43 Männer) an der Untersuchung teil und es wurden insgesamt 245 Implantate, sowohl klinisch als auch röntgenologisch, untersucht. Orte der klinischen Datenerhebung waren eine Ordination in Straß, im Bezirk Leibnitz, mit 42 TeilnehmerInnen, und eine Ordination in Graz mit 70 TeilnehmerInnen.

Die Ethikkommissionsnummer der durchgeführten Studie lautet: 30-349ex17/18.

Folgende Einschlusskriterien wurden für die Untersuchung gewählt:

- Versorgung mit CAMLOG<sup>®</sup> ROOT-LINE Implantaten
- Zeitpunkt der Implantation zwischen 2003 und 2006

Es ergaben sich folgende Ausschlusskriterien:

- Versorgung durch andere Implantatsysteme als CAMLOG<sup>®</sup> ROOT-LINE
- Zeitpunkt der Implantation vor 2003 und nach 2006
- Schwangerschaft

## 2.2 Verwendetes Implantatsystem: CAMLOG<sup>®</sup>-ROOT-LINE

CAMLOG<sup>®</sup>-ROOT-LINE-Implantate charakterisieren sich durch eine durch Pulverbestrahlung und Säurekonditionierung mikrostrukturell bearbeitete Oberfläche, kombiniert mit einer innovativen internen Tube-in-Tube-Verbindung mit dem Abutment (siehe Abb.8).

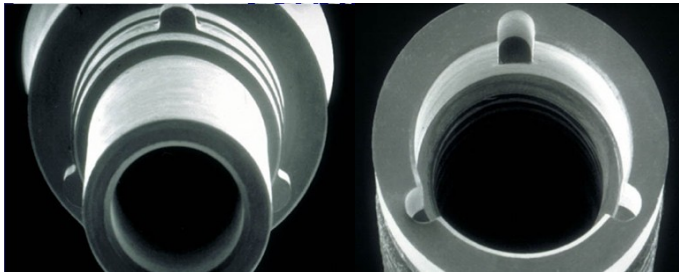


Abbildung 8: Tube-in-Tube-Verbindung des CAMLOG<sup>®</sup>-ROOT-LINE-Systems (Quelle: alltecdental, 2019)

Erhältlich ist es in einer zylindrischen Presspassung, in einer wurzelgetreuen Form und als zylindrisches Implantat mit Gewinde, sowie in einer kombinierten Schrauben/Zylinder-Makrostruktur (Babbush, 2005; Krennmair *et al.*, 2010; *camlog*, 2019).

In dieser Studie wurde das CAMLOG<sup>®</sup>-ROOT-LINE-System mit fünf verschiedenen Durchmessern (3,3 mm, 3,8 mm, 4,3 mm, 5 mm und 6 mm) und drei verschiedenen Implantatlängen (11 mm, 13 mm und 16 mm) untersucht. Eine Darstellung der Implantate ist in Abbildung 9 zu sehen.



Abbildung 9: CAMLOG<sup>®</sup>-ROOT-LINE-Implantate mit verschiedenen Durchmessern (Quelle: Camlog, 2019)

Die Implantate wurden mit vier verschiedenen Suprastrukturen versorgt:

- Einzelzahnkronen (verschraubt oder zementiert)
- Hybridbrücken (Zahn-Implantat)
- Teleskopversorgungen
- Implantatbrücken (verschraubt oder zementiert)

## 2.3 Klinische Untersuchung

### 2.3.1 Plaque-Index nach O'Leary

Zur Untersuchung des Hygienestatus der Implantate und ihrer Nachbarbeziehung wurde der Plaque-Index nach O'Leary dichotom (ja/nein) an vier Stellen pro Implantat und Nachbarzahn erhoben und als Prozentsatz angegeben (siehe Abb. 10). Dieser Wert ergibt sich aus der Gesamtzahl der positiven Messstellen  $\times 100$ , dividiert durch die Gesamtanzahl der Messstellen. Nach erfolgter Hygiene ist hier ein empirischer Grenzwert von 20-30 % gefordert, um eine adäquate Entzündungsfreiheit des Zahnhalteapparats zu gewährleisten (Haas und Wimmer, 2008; O'Leary, Drake und Naylor, 1972).

Die Implantate und Nachbarzähne wurden mit dem Plaquefinder PCA 260 von CURAPROX<sup>®</sup> angefärbt. Nach dem Ausspülen wurden die vorhandenen Plaque-Akkumulationen an den entsprechenden Zahn- und Implantatoberflächen sichtbar. Es wurde dichotom (ja/nein) in einem parodontalen Datenerhebungsblatt vermerkt, ob ein Biofilm an den Oberflächen (bukkal, mesial, lingual und distal) vorhanden war oder nicht. Dabei wurden die unterschiedlichen Ausprägungsgrade von Plaque an den Zähnen nicht gesondert untersucht, sondern zu einem Vorhandensein oder Nichtvorhandensein zusammengefasst. Hierzu wurden folgende Kriterien nach Loe verwendet:

- Bedeckung der Oberfläche mit einem dünnen Biofilm, der mit dem freien Auge nicht sichtbar ist, aber sichtbar gemacht werden kann.
- Bedeckung der Oberfläche mit einem dünnen bis fortgeschrittenen Biofilm, der mit dem Auge erkannt werden kann.
- Schwere Akkumulation von Biofilm, der die Nische zwischen Gingivarand und Oberfläche ausfüllt. Die Interdentalräume sind durch Rückstände verlegt (Loe, 1967).

Vorname  Nachname  Geburtsdatum

Datum  Messstellen  BOP %  PBI

PI %

**Information zu den Indizes**

**BOP:** Bleeding on probing (0-100%)  
 Blutung auf Sondierung:  
 Ja = 1  
 Nein = 0  
 Anzahl der positiven Messstellen x 100  
 Gesamtzahl der Messstellen

**PI:** Plaqueindex nach O'Leary (0-100%)  
 Plaque: Ja = 1 (b/l/m/d)  
 Nein = 0  
 Anzahl der positiven Messstellen x 100  
 Gesamtzahl der Messstellen

**PBI:** Papillenblutungsindex (0-4)  
 0 = keine Blutung  
 1 = einzelner Blutpunkt  
 2 = mehrere Blutpunkte oder feine Blutlinie  
 3 = das interdentale Dreieck füllt sich mit Blut  
 4 = profuse Blutung sofort nach der Sondierung

Summe der aufgenommenen Grade  
 Gesamtzahl der Messstellen

Abbildung 10: Erhebung des Plaque-Index (PI) (Quelle: HPL Software KG, Dentalsoftware WinDent<sup>®</sup>, Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit Graz)

Dieses Verfahren wurde angelehnt an „The Plaque Control Record“ nach O’Leary, der entwickelt wurde, um den BehandlerInnen eine einfache Methode anzubieten, um die Präsenz von Plaque auf individuellen Zahnoberflächen (bukkal, mesial, lingual und distal) aufzuzeichnen (siehe Abb. 11). PatientInnen wurde dadurch ihre eigene Verbesserung der Mundhygiene visualisiert. Sie konnten dementsprechend auch selbst zur Mundhygiene motiviert werden (O’Leary, Drake und Naylor, 1972).

**PLAQUE CONTROL RECORD**

PREVIOUS INDEX *Initial* PRESENT INDEX *70%*

NAME *Mrs Eric Jones* DATE *9-23-70*

Abbildung 11: The Plaque Control Record 1970 (Quelle: O’Leary, Drake und Naylor, 1972)

### 2.3.2 Sondierungstiefen (PD)

Ausschlaggebend für den Erfolg eines Implantats ist neben der reizlosen Osseointegration ein entzündungsfreies periimplantäres Gewebe.

Periimplantitis beschreibt die Infektion eines Implantatbetts und wird oft mit einem hohen Anteil an Mikroorganismen assoziiert, die bei parodontal erkrankten Zähnen vorgefunden werden (Mombelli *et al.*, 1987).

Bei parodontal gesunden Menschen betragen die physiologischen Sondierungstiefen weniger als 3,5 mm, und es ist keine Blutung auf Sondierung auslösbar (Haas und Wimmer, 2008). Die Bestimmung von Sondierungstiefen bietet eine Möglichkeit, um potenzielle Entzündungsherde im Taschenfundus zu lokalisieren. Je tiefer eine Tasche ist, desto besser sind die Umweltbedingungen für das Biofilmwachstum und somit auch für anaerobe, pathogene Organismen (Offenbacher *et al.*, 2007; Offenbacher, 1996).

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde eine nach WHO-Kriterien standardisierte, druckkalibrierte Parodontalsonde mit 0,5 mm Durchmesser und einem kugelförmigen Instrumentenende verwendet. Sie wurde achsengerecht in die Taschen zwischen Implantatoberfläche und Taschenepithel mit einem konstanten Druck von circa 20 pond bis zum Fundus eingeführt. Anhand einer Skalierung auf der Sonde wurde die Distanz zwischen Gingivalrand und Taschenfundus in Millimetern abgemessen. Dieses Prozedere wurde an sechs Stellen (distobukkal, bukkal, mesiobukkal, mesiolingual, lingual und distolingual) pro Implantat und Nachbarzahn durchgeführt und der jeweils höchste Wert auf dem Dokumentationsblatt erfasst (siehe Abb. 12).

### 2.3.3 Blutung auf Sondierung (BOP)

Blutung auf Sondierung (BOP) ist bei inflammatorischen Prozessen im Taschenepithel nach Sondierung auslösbar (Offenbacher *et al.*, 2007). Jeder positive Befund einer Blutung oder einer Suppuration zieht unmittelbaren Behandlungsbedarf nach sich. Wenn keine Blutung auslösbar ist, weist dies auf eine entzündungsfreie parodontale Situation hin. Der Prozentsatz des Bleeding on Probing berechnet sich aus der Anzahl der positiven Messstellen x 100, dividiert durch die Gesamtanzahl der Messstellen (Haas und Wimmer, 2008).

Blutung auf Sondierung (BOP) wurde ebenfalls dichotom (ja/nein) dokumentiert, je nachdem, ob eine Blutung/Suppuration nach Sondierung ausgelöst wurde oder nicht. Dafür wurde bei auftretender Blutung oder Suppuration in das entsprechende Feld eine 1 eingefügt. Wenn keine der beiden Reaktionen beobachtet wurde, blieb das entsprechende Feld leer (siehe Abb. 12) (Offenbacher *et al.*, 2007).

**Parodontalstatus** Vorname  Geburtsdatum   
 Nachname  Datum

Attachment  
 Rezession  
 Beweglichkeit  
 Furkation  
 Sondierungstiefe  
 Blutung auf Sondierung  
 Attachmentniveau

**Sondierungstiefe** Distanz vom Taschenfundus bis zum Gingivalrand  
 ja 1 2 0 nein 1 2 0  
 X

**Blutung auf Sondierung** ja 1 2 0 nein 1 2 0  
 X

**Attachmentniveau** Distanz vom Taschenfundus bis zu einem Referenzpunkt am Zahn (Schmelz-Zementgrenze oder Rest-rand)

**Furkation**  
 0 = keine Furkationsbeteiligung  
 1 = horizontal bis 3 mm sondierbar  
 2 = horizontal 3-6 mm sondierbar  
 3 = durchgängig sondierbar

**Rezession** Differenz zwischen Gingivalrand und einem Referenzpunkt am Zahn (Schmelz-Zementgrenze oder Restaurationsrand)

**Klasse**  
 1 = bis zur Mukogingivalgrenze  
 2 = über MG-Grenze  
 3 = mit Knochenverlust  
 4 = mit interdent. Knochenkrater

**Mod. Millerindex**  
 0 = keine Beweglichkeit  
 1 = Beweglichkeit klinisch feststellbar  
 2 = horizontal bis zu 1 mm  
 3 = horizontal über 1 mm  
 4 = vertikale und rotatorische Beweglichkeit

**Periotest**  
 physiol. Zahnbeweglichkeit: + 5 bis + 12  
 Implantate: < 3

WinDent  
 DENTALSOFTWARE

Abbildung 12: Erhebung der Sondierungstiefen (PD) und der Blutung auf Sondierung (BOP) (Quelle: HPL Software KG, Dentalsoftware WinDent®, Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit Graz)

## 2.4 Analyse der Röntgenaufnahmen

Für die Analyse der Röntgenaufnahmen wurden die Kleinbildaufnahmen der Implantate nach ihrer Insertion beziehungsweise nach der Implantatfreilegung im Zeitraum von 2003 bis 2006 mit den angefertigten Kleinbildaufnahmen im Zuge der Implantat-Nachsorgeuntersuchung im Oktober und November 2017 verglichen, um eine möglicherweise auftretende Resorption des Knochens zu beurteilen.

In dieser Studie wurden Kleinbildaufnahmen mit standardisierter Rechtwinkeltechnik durchgeführt. Die analogen Kleinbildröntgen vom Zeitpunkt der Implantatinsertion beziehungsweise der Implantatfreilegung wurden eingescannt und in das Röntgen-Programm SIDEXIS der Firma SIRONA<sup>®</sup> übertragen. Um subjektive Fehlerquellen zu minimieren, wurde die Vermessung von zwei Untersuchern unabhängig durchgeführt. Für die Vermessung wurden die bekannten Durchmesser der Implantate (3,3 mm, 3,8 mm, 4,3 mm, 5 mm und 6 mm) als Referenzlinien an der Implantatschulter angenommen. Durch diese Angabe wurden die weiteren Röntgenvermessungen referenziert, und der Vergrößerungseffekt wurde berücksichtigt. Es wurde jeweils, wie in Abbildung 13 erkennbar, das mesiale und distale Knochenniveau des Implantats gemessen. Hierfür wurde die Distanz zwischen der Implantatschulter und dem ersten krestalen Knochen-Implantat-Kontakt ermittelt (DIB) (Hermann *et al.*, 1997).

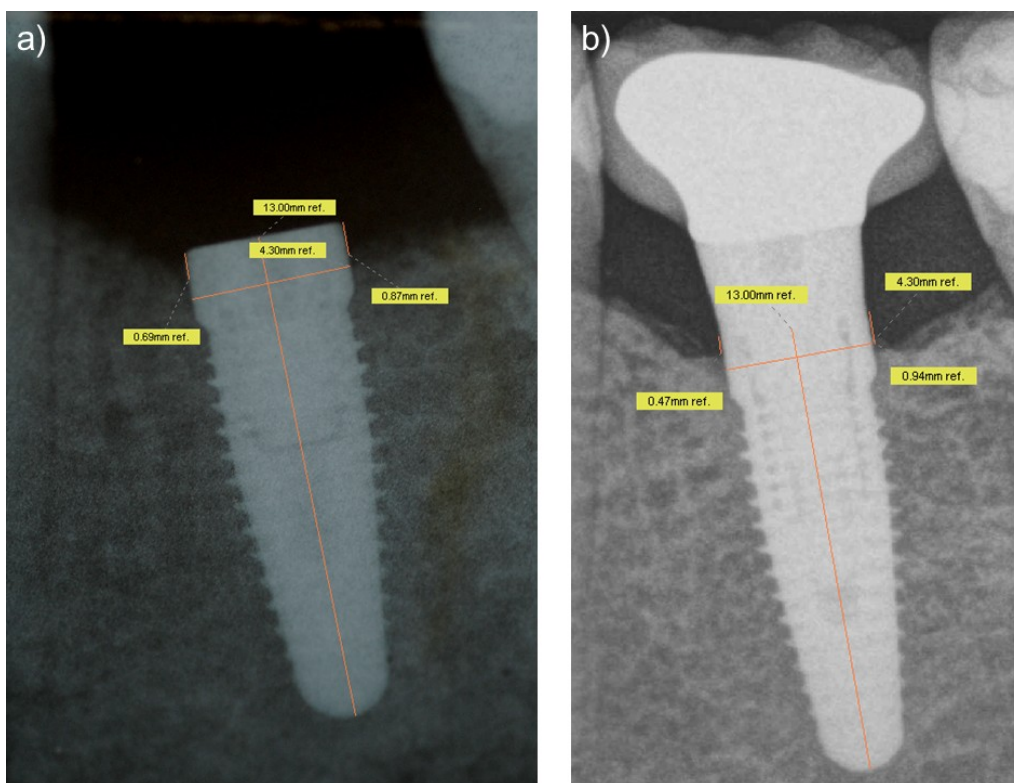


Abbildung 13: Vermessung der Kleinbildaufnahmen a) Röntgen nach Insertion, b) aktuelles Röntgen (Quelle: SIDEXIS von SIRONA<sup>®</sup>, Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheits Graz)

Falls auf einem Röntgenbild zwei krestale Knochenränder zu erkennen waren, wurde die Distanz zwischen den beiden krestalen Knochenrändern gemittelt und dieser Punkt als Referenz für den DIB angenommen.

Es wurde der Mittelwert des distalen und mesialen Knochenrückgangs, sowohl von den Ausgangsröntgenbildern als auch von den neuen Röntgenbildern, berechnet. Durch die Subtraktion der ermittelten alten Werte von den ermittelten neuen Werten erhielt man den durchschnittlichen Knochenrückgang im Laufe der Zeit. Der Zeitunterschied wurde in Monaten angegeben.

## **2.5 Statistische Auswertung**

Die Daten wurden deskriptiv und explorativ mit einem Signifikanzniveau von 5 % ausgewertet. Es wurden, abhängig vom Messniveau, der Exakte Test nach Fisher, der Kruskal-Wallis-Test, der t-Test für unabhängige Stichproben und der Korrelationskoeffizient nach Pearson verwendet. Die Berechnungen wurden mit IBM SPSS Statistics 22 durchgeführt. Die Grafiken wurden mit SPSS und Microsoft Excel erstellt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Klinische Analyse

#### 3.1.1 Demografie und Implantatcharakteristik

Im Rahmen dieser retrospektiven Studie wurden 112 Personen untersucht. Davon waren 69 Frauen und 43 Männer. Das durchschnittliche Alter der PatientInnen betrug 60,6 Jahre bei einer Standardabweichung von 11,6.

Als wichtigster gesundheitspezifischer Parameter wurde das Rauchen herangezogen. 18,8 % der Personen wiesen einen regelmäßigen Tabakkonsum auf (siehe Tab. 3).

**Tabelle 3: Demografische Daten (a) und Implantatcharakteristik (b)**

(a)	
Anzahl der PatientInnen (n Nummer)	112
Alter (mean $\pm$ SD)	60,6 $\pm$ 11,6
Weiblich/männlich	69/43
RaucherInnen (n; % aller PatientInnen)	21; 18,8 %
(b)	
Implantationsstelle (n)	245
Implantatalter (mean $\pm$ SD; median)	12,9 $\pm$ 1,1; 12,8
Implantationsstelle (maxilla; mandibula)	109; 136
Implantationsstelle (anterior; posterior)	83; 162
Implantatdurchmesser (3,3; 3,8; 4,3; 5,0; 6,0 mm)	3; 97; 100; 43; 2
Implantatlänge (11,0; 13,0; 16,0 mm)	36; 191; 18
Suprastruktur: festsitzend; abnehmbar (n)	220; 25
Augmentation: keine; GBR (n)	192; 53

Es wurden insgesamt 245 Implantate mit einer durchschnittlichen Liegedauer von (12,9  $\pm$  1,1 Jahren) im Knochen untersucht. Bei den Implantatlängen wurde zwischen 11 mm, 13 mm und 16 mm variiert. Es wurden 36 Implantate mit 11 mm, 191 Implantate mit 13 mm und 18 Implantate mit 16 mm begutachtet. Bei den Durchmessern unterschied man zwischen Implantaten mit 3,3 mm, 3,8 mm, 4,3 mm, 5 mm und 6 mm. Es wurden 3 Implantate mit 3,3 mm, 97 Implantate mit 3,8 mm, 100 Implantate mit 4,3 mm, 43 Implantate mit 5 mm und 2 Implantate mit 6 mm untersucht.

136 Implantate wurden in der Mandibula und 109 Implantate in der Maxilla inseriert. Die häufigste Lokalisation war der Seitenzahnbereich mit 162 Implantaten, was mit dem frühzeitigen Zahnverlust im Molarenbereich assoziiert werden kann (Glockmann *et al.*, 2011).

Im Vergleich dazu wurden im Frontzahnbereich 83 Implantate inseriert. 220 Implantate wurden mit einer festsitzenden Suprakonstruktion versorgt. Hierzu zählten 197 Einzelzahnkronen, 13 Hybridbrücken und 10 Brücken von Implantat zu Implantat. Bei den Hybridbrücken handelt es sich um Brücken von einem Implantat zu einem natürlichen Zahn. 25 Implantate wurden mit abnehmbaren Teleskoparbeiten versorgt. Bei der Insertion von 53 Implantaten wurde eine Augmentation mittels GBR durchgeführt (siehe Tab. 3).

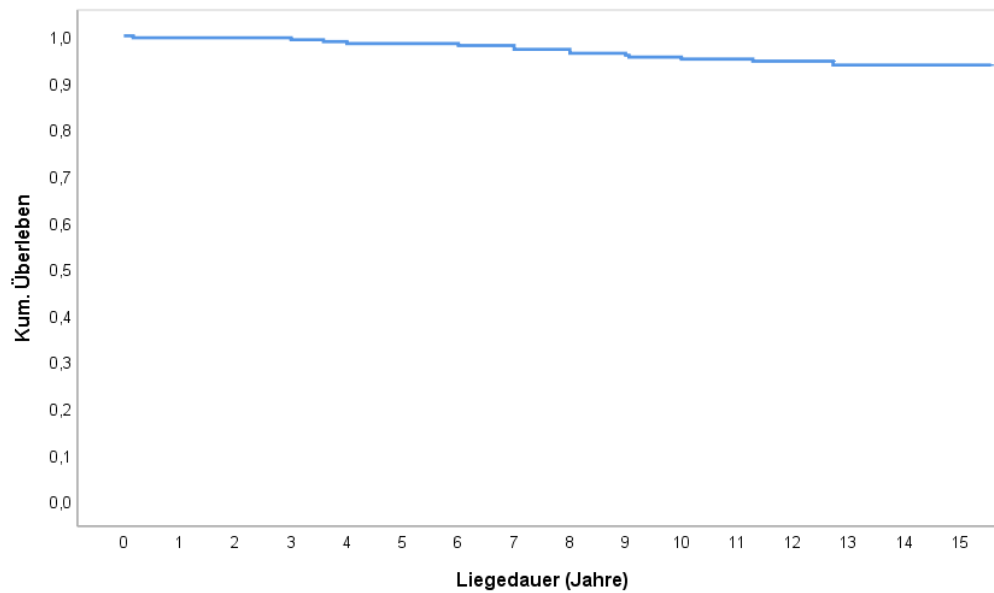
### 3.1.2 Klinische Parameter und Implantatkomplikationen

Von den untersuchten 245 Implantaten waren 230 in situ. Die Überlebensrate betrug 93,9 %. Eine grafische Darstellung zwischen kumulativer Überlebensrate in Bezug zur Liegedauer der Implantate ist in Abbildung 14 zu finden. Bei 6,9 % der Implantate kam es zu technischen Komplikationen. Hierbei wurden 14 Keramikabsplitterungen, 2 Kronenfrakturen sowie 1 Gerüstfraktur festgestellt. Eine Lockerung oder ein Bruch des Abutments beziehungsweise die Fraktur eines Implantats konnten nicht festgestellt werden.

Die Hygienesituation der Implantate wurde mithilfe des Plaque-Index nach O’Leary ermittelt (O’Leary, Drake und Naylor, 1972). Durchschnittlich waren ( $31,1 \pm 23,4$  %) der Implantatoberflächen mit Plaque belegt. Eine suffiziente Mundhygiene wird unter einem prozentuellen Wert von 30 % beschrieben (Haas und Wimmer, 2008). Der durchschnittliche marginale Knochenrückgang betrug  $1,64 \pm 1,23$  mm (siehe Tab. 4).

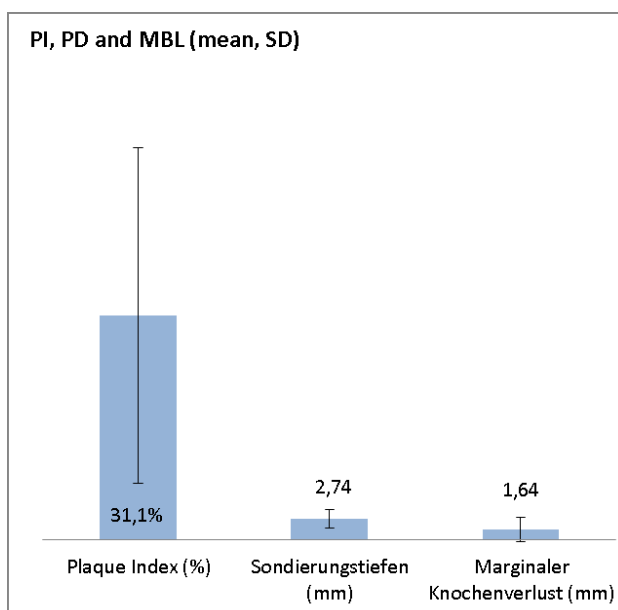
**Tabelle 4: Ausgewählte Parameter (PI, PD, MBL, BOP, technische Komplikationen und Implantatverlust)**

Implantatverluste (n, %)	15, 6,1 %
Technische Komplikationen (n, %)	17, 6,9 %
Plaque-Index (mean $\pm$ SD; median)	$31,1 \pm 23,4$ %; 25,0 %
Sondierungstiefen (mean $\pm$ SD; median)	$2,74 \pm 1,21$ ; 3,00
Marginaler Knochenverlust (mean $\pm$ SD; median)	$1,64 \pm 1,23$ ; 1,45
BOP (%)	26,7 %



**Abbildung 14: Kaplan-Meier-Kurve mit der kumulativen Überlebensrate in Bezug zur Liegedauer der Implantate in Jahren**

Bei der Erhebung der Sondierungstiefen wurde eine durchschnittliche ST von 2,74 mm festgestellt (siehe Abb. 15). Die Standardabweichung betrug 1,21 mm. Der simultan zu den Sondierungstiefen erhobene Wert des BOPs betrug 26,7 %.



**Abbildung 15: Diagramm von PI, PD und MBL**

Das Säulendiagramm der Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse des Plaque-Index nach O'Leary in Prozent, die durchschnittlichen Sondierungstiefen in Millimeter sowie den durchschnittlichen marginalen Knochenverlust in Millimeter. Die schwarzen Markierungen beschreiben die jeweiligen Standardabweichungen.

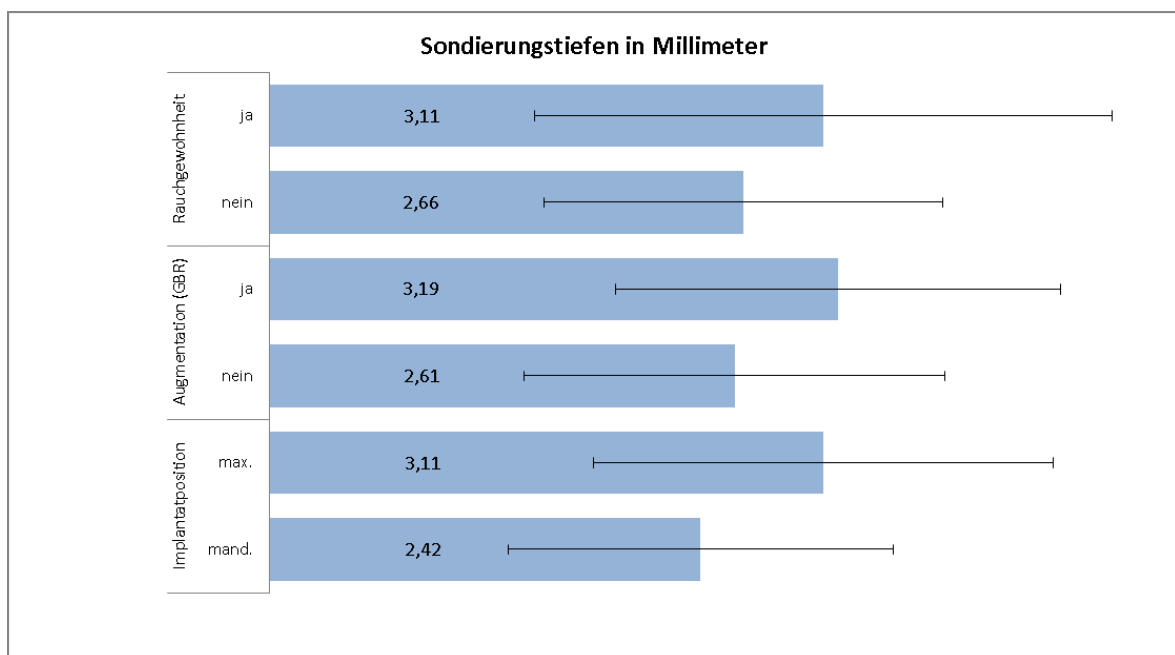
**Tabelle 5: Kreuztabelle – Vergleich zwischen technischen Komplikationen und Implantatalter**

Parameter	Technische Komplikationen		t-Test
	Ja	Nein	
Durchschnittliches Implantatalter	13,4 ± 1,13	12,8 ± 1,09	P = 0,032

Bei der Gegenüberstellung des Implantatalters mit dem Auftreten von technischen Komplikationen wurde festgestellt, dass Implantate mit technischen Komplikationen eine durchschnittliche Liegedauer von  $13,4 \pm 1,13$  Jahren aufwiesen. Somit wiesen diese Werkstoffe nach  $13,4 \pm 1,13$  Jahren eine Anfälligkeit für Materialermüdung auf. Im Vergleich dazu wiesen Implantate ohne technische Komplikationen eine durchschnittliche Liegedauer von  $12,8 \pm 1,09$  Jahren auf (siehe Tab. 5).

### 3.1.3 Einfluss klinischer Parameter auf Sondierungstiefen

Anhand einer Kreuztabelle wurden ausgewählte klinische Parameter den erhobenen Sondierungstiefen gegenübergestellt. Das Säulendiagramm zeigt die durchschnittlichen Sondierungstiefen abhängig von Rauchgewohnheit, Augmentation oder Implantationsstelle. Die schwarzen Markierungen beschreiben die jeweiligen Standardabweichungen (siehe Abb. 17).



**Abbildung 16: Vergleich von Sondierungstiefen und ausgewählten Parametern an Implantationsstellen (Rauchgewohnheit, Augmentation, Implantatposition)**

Das Ergebnis zeigt, dass bei RaucherInnen die durchschnittlichen Sondierungstiefen 3,11 mm betragen. Bei NichtraucherInnen hingegen wurden im Mittel Tiefen von 2,66 mm nachgewiesen.

Bei der Augmentation mit GBR-Technik betragen die Sondierungstiefen im Durchschnitt 3,19 mm. Wenn bei der Insertion eines Implantats kein zusätzlicher Knochenaufbau durchgeführt wurde, betragen die Sondierungstiefen im Mittel 2,61 mm. Bei der Fragestellung, ob die Sondierungstiefen im Oberkiefer oder im Unterkiefer höher sind, wurde veranschaulicht, dass in der Maxilla die Sondierungstiefen mit 3,11 mm im Durchschnitt höher waren als in der Mandibula mit 2,42 mm.

## 4 Diskussion

In dieser retrospektiven Studie wurden konische Implantate untersucht, um Langzeitergebnisse über die Erfolgsrate, die Knochenresorptionsrate und die klinischen Parameter zu erhalten. Nachfolgend werden die Ergebnisse von Langzeitstudien zu Implantaten erläutert und mit den Ergebnissen der durchgeführten Studie verglichen und interpretiert.

### 4.1 Vergleich mit Langzeitstudien

#### Zehnjahresstudien:

Leonhardt untersuchte osseointegrierte Titanimplantate anhand von klinischen, radiologischen und mikrobiellen Parametern. Zur Beurteilung der Hygienesituation der Implantate wurde ein Plaque-Index erhoben. Dabei wurden 54 Implantate bei 15 ProbandInnen untersucht. Der Plaque-Index betrug 47 % (Leonhardt *et al.*, 2002). Wenn man diese Werte mit den Ergebnissen der Diplomarbeit (PI: 31,1 %) vergleicht, erscheint der Wert des PI von Leonhardt relativ hoch. Bei der Beurteilung der Beläge wurde lediglich zwischen Vorhandensein und Nichtvorhandensein unterschieden. Deshalb ergab sich selbst bei geringen Plaquemengen an den Implantaten ein hoher Gesamt-Plaque-Index. Ein genauere und aussagekräftigere Wert wurde durch die Beurteilung von Plaque-Akkumulationen an vier verschiedenen Oberflächen der konischen Implantate im Rahmen unserer durchgeführten Studie erzielt. Diese Begutachtung ist von besonderer Relevanz, da persistierende Plaque-Ansammlungen bei Implantaten zu einer periimplantären Entzündung führen können (Berglundh *et al.*, 1992).

Sánchez-Siles zeigte anhand einer Untersuchung von 400 Personen mit 1.244 Implantaten die Auswirkungen unterschiedlicher Designs der Implantathalboberfläche auf das periimplantäre Gewebe. Hierbei wurde zwischen zwei Gruppen differenziert: 515 Implantate mit glatter Oberfläche wurden suprakrestal gesetzt, während 729 Implantate mit einer rauen Oberflächenbeschaffenheit bis auf Höhe des Knochenkamms inseriert wurden. Dabei wiesen die Implantate mit glatter Oberfläche eine signifikant geringere Häufigkeit für eine Periimplantitis (2,92 %) als Implantate mit einer rauen Oberfläche (14,41 %) auf (Sánchez-Siles *et al.*, 2015). Neben dem Implantatdesign scheint auch die Vorbelastung durch eine parodontale Erkrankung Auswirkungen auf das periimplantäre Gewebe zu haben. Karoussis untersuchte die Langzeitprognosen von PatientInnen mit und ohne Vorgeschichte einer chronischen Parodontitis. Dabei wurden 21 Implantate bei acht PatientInnen

mit chronischer Parodontitis inseriert und 91 Implantate bei PatientInnen, deren Zahnverlust auf Karies, Frakturen oder Trauma zurückzuführen war. Die Inzidenz der Periimplantitis betrug bei Personen mit Parodontitis 28,6 %. Bei der Vergleichsgruppe wurde eine Inzidenz von 5,8 % festgestellt (Karoussis *et al.*, 2003).

Im Rahmen dieser Diplomarbeit und der damit verbundenen Studie wurde eine Periimplantitis nach den Kriterien von Buser evaluiert, wobei eine Mobilität von Implantaten, Beschwerden der PatientInnen und/oder ein radiologisch fortschreitender periimplantärer Knochenverlust beurteilt werden (Buser, Weber und Lang, 1990). Nach diesen Kriterien konnte bei 11,1 % der untersuchten 230 von 245 Implantaten eine Periimplantitis festgestellt werden. Anzumerken ist, dass die Anwendung von anderen Definitionen zu anderen Werten führen würde, was einen Vergleich erschwert. Diese Periimplantitis entspricht grundsätzlich einer adulten Parodontitis. Sie wurde von Albrektsson als eine entzündliche Reaktion mit gleichzeitigem Auftreten von zirkulärem Knochenverlust um das inserierte Implantat definiert (Albrektsson und Isidor, 1994). Verglichen mit dem parodontalen Gewebe weist das periimplantäre Gewebe eine geringere Potenz zur Regeneration auf. Entzündungsherde manifestieren sich in der umliegenden Mukosa und weiten sich in den Alveolarknochen aus, was eine Progredienz der Knochendestruktion zur Folge hat (Albrektsson und Isidor, 1994).

In einer prospektiven Studie von Gotfredsen wurden 20 PatientInnen mit einem Einzelzahnimplantat in der Oberkieferfront versorgt. Dabei wurden 10 Implantate vier Wochen nach der Zahnextraktion platziert, während weitere 10 Implantate zwölf Wochen nach der Zahnextraktion inseriert wurden. Nach zehn Jahren betrug der marginale Knochenverlust auf beiden Seiten der untersuchten Implantate weniger als 1 mm (Gotfredsen, 2012). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt auch Lindquist in seiner Studie über den Zusammenhang zwischen marginalem Knochenverlust, osseointegrierten Implantaten in der Mandibula und der Rauchergewohnheit. Der durchschnittliche Knochenrückgang bei RaucherInnen betrug 1,3 mm, während er bei NichtraucherInnen nur 0,65 mm aufwies. Bereits nach einem Jahr der Beobachtungsperiode war der Knochenverlust bei RaucherInnen fast doppelt so groß, und nach zehn Jahren betrug die Diskrepanz 0,65 mm (Lindquist, Carlsson und Jemt, 1997). Einen weiteren erheblichen Einfluss auf das marginale Bone-Remodelling scheinen die Implantatgeometrie, die Oberflächenbeschaffenheit und die Sofortbelastung zu haben (Östman *et al.*, 2007). Die im Zuge dieser Diplomarbeit ermittelten Werte ähneln den Werten der beschriebenen Studien. Der Knochenrückgang beim konischen Implantatsystem belief sich durchschnittlich auf 1,64 mm bei einer mittleren Liegedauer von 12,9 Jahren.

Nach Albrektsson und Isidor wird der Erfolg eines Implantatsystems anhand seines durchschnittlichen marginalen Knochenverlustes bemessen. Wenn der Rückgang weniger als 1,5 mm während des ersten Jahres nach Einsetzen der Suprastruktur beträgt und danach jährlich weniger als 0,2 mm pro Jahr ausmacht, was einen maximalen Verlust von 3,5 mm nach zehn Jahren ergibt, so kann diese Gegebenheit als erfolgreich bezeichnet werden (Albrektsson and Isidor, 1994).

Die Osseointegrationseigenschaften von SLA (sandblasted and acid-etched) Implantaten wurden bereits in Kapitel 1.6.1 ausführlich beschrieben.

In einer Zehnjahresstudie von Buser wurden 303 PatientInnen mit 511 SLA-Implantaten untersucht. Über eine Dauer von zehn Jahren wurden keine Implantatfrakturen registriert, und lediglich sechs Implantate gingen verloren, was einem prozentualen Wert von 1,2 % entspricht. 496 Implantate entsprachen den Erfolgskriterien, womit sich eine 98,8%ige Überlebensrate und eine 97%ige Erfolgsrate ergab. Sieben Implantate zeigten bei den Untersuchungen eine periimplantäre Infektion und bei zwei weiteren Implantaten wurde zusätzlich Pusentleerung und progressiver Knochenrückgang festgestellt (Buser *et al.*, 2012).

Die untersuchten ROOT-LINE-Implantate von CAMLOG<sup>®</sup> wurden ebenfalls mit SLA-Technik bearbeitet und beweisen mit einer Überlebensrate von 93,9 %, dass die mikrostrukturelle Bearbeitung der Oberfläche eine entscheidende Rolle für die Osseointegration und Biokompatibilität spielt. Sie ist weiterführend eine Prädikationsstelle für die Anlagerung und das Wachstum von Osteoblasten (Park *et al.*, 2008).

Wittneben beschreibt in seiner Arbeit die Komplikationen des implantatgestützten, festsitzenden Zahnersatzes und der Einzelzahnkronen. Insgesamt wurden 397 Implantate untersucht. Nach einer Zeitperiode von zehn Jahren wurde eine technische Komplikationsrate von 24,7 % festgehalten. Die häufigste Komplikation bestand in der Absplitterung von Keramik (20,31 %), gefolgt von okklusaler Schraubenlockerung (2,57 %) und Retentionsverlust (2,06 %). Außerdem wurden zwei Abutmentverluste und eine Abutmentfraktur dokumentiert (Wittneben *et al.*, 2014). Entsprechende Erkenntnisse konnten durch die ermittelten Daten im Rahmen der Diplomarbeit gewonnen werden. Bei 6,9 % der Implantate kam es zu technischen Komplikationen. Die häufigste technische Komplikation stellte auch hier die Absplitterung von Kronenverblendmaterial dar. Des Weiteren wurden zwei Kronen- und eine Gerüstfraktur festgestellt. Keramikabsplitterungen sind laut Schwarz bei vollkeramischen Einzelzahnversorgungen häufiger anzutreffen als bei Kronen auf Metallbasis. Mehrere Faktoren wie mechanische Eigenschaften und Dicke der verwendeten Ke-

ramik, Eigenspannung des Materials sowie Richtung und Größe der Krafteinwirkung scheinen Einfluss auf diese Absplitterungen zu haben (Schwarz *et al.*, 2012).

## **Zehn- bis Zwanzigjahresstudien:**

Anhand einer Follow-up-Untersuchung über zehn bis 16 Jahre wurde eine kumulative Überlebensrate von 82,94 % beschrieben. Biologische Komplikationen traten in 16,94 % der Fälle auf, und die Prävalenz von technischen Komplikationen lag bei 31,09 %. Der Großteil der Implantatverluste und der biologischen Komplikationen konzentrierte sich auf eine kleine Gruppe von PatientInnen. Jene Personen wiesen in ihrer Vorgeschichte eine parodontale Grunderkrankung auf, weshalb eine Parodontitis vermehrt mit geringeren Implantaterfolgsraten assoziiert werden kann. Zudem sind jene Menschen auch eher geneigt, eine Perimukositis oder eine Periimplantitis zu entwickeln (Simonis, Dufour und Tenenbaum, 2010).

In unserer Untersuchung wurde nach der Definition von Buser et al. eine Periimplantitis bei 11,1 % der untersuchten Implantate festgestellt. Dies stellt eine potenzielle Gefahrenquelle für das Fortschreiten eines inflammatorischen Prozesses und den Verlust eines Implantats dar. In einer Zwanzigjahresstudie von Åstrand, bei der zahnlose PatientInnen mit festsitzenden Suprastrukturen versorgt wurden, betrug die Überlebensrate der Implantate 99,2 %. Von 123 Implantaten ging in dieser Zeit nur eines verloren. Der marginale Knochenrückgang betrug im Durchschnitt 0,53 mm. Derartige klinische Langzeituntersuchungen sind schwierig durchzuführen, denn besonders bei zahnlosen PatientInnen ist das durchschnittliche Lebensalter normalerweise hoch, weshalb folglich immer wieder Personen im Laufe des Untersuchungszeitraums versterben oder körperlich nicht mehr in der Lage sind, an Recall-Untersuchungen teilzunehmen (Åstrand *et al.*, 2008).

## **4.2 Interpretation der Ergebnisse**

Die ausgewerteten Ergebnisse zeigten in dieser Studie bei RaucherInnen eine durchschnittliche Sondierungstiefe von 3,11 mm, während bei NichtraucherInnen durchschnittlich Sondierungstiefen von 2,66 mm festgestellt wurden. Somit wird Rauchen als ein mitentscheidender Faktor für die Progredienz des Knochenverlustes, für die Ausweitung einer periimplantären Entzündung und schließlich für den Verlust eines Implantats angenommen (Bain, 2006; Roos-Jansåker *et al.*, 2006).

Nikotin und seine Abbaustoffe kompromittieren das Immunsystem und dessen Abwehrbereitschaft im Bereich des Zahnhalteapparates. Es kommt zu einer verminderten Chemotaxis und Phagozytose der PMN, zur verminderten Bildung von Immunglobulinen (IgG2), zu einer Steigerung von subgingivalen Anaerobiern und Schädigung von Fibroblasten.

Nikotin ist zudem ein Sympathikomimetikum und verursacht einen reduzierten Stoffwechsel im Parodont (Wolf, Edith und Rateitschak, 2004, S. 54, 216).

Es ist schwierig, den Wert der Periimplantitis-Häufigkeit mit den in der Literatur angegebenen Quellen zu vergleichen, denn es gibt unterschiedliche Definitionen einer Periimplantitis (siehe Tab. 6). Bei Berglundh, Persson und Klinge (2002) wird die biologische Komplikation einer Periimplantitis mit Sondierungstiefen von mehr als 6 mm, einer Blutung auf Sondierung (BOP) und einem krestalen Attachmentverlust von mehr als 2,5 mm definiert. Ekelund et al. beschreiben in ihrer Studie die Periimplantitis als Kombination von Entzündung, Schmerz und fortschreitendem Knochenverlust (Ekelund *et al.*, 2003). Ferreira et al. (Ferreira *et al.*, 2006) legen die Kriterien für eine Periimplantitis-Diagnose mit einer Sondierungstiefe über 5 mm, BOP und einem vertikalen Knochenverlust fest. Fast die gleichen Voraussetzungen gelten bei Karoussis et al. (Karoussis *et al.*, 2004), Mombelli (Mombelli und Lang, 1994) und Gotfredsen (Gotfredsen, 2012), die eine Sondierungstiefe von 5 mm, das Auftreten einer Blutung oder einer Suppuration nach Sondierung und einen röntgenologischen Knochenverlust für die Diagnose angenommen haben.

Andere Quellen in der Literatur weisen auf abweichende Definitionen hin. Beispielsweise wurde die Periimplantitis durch das Überschreiten eines Grenzwertes von 1,8 mm an Knochenrückgang innerhalb eines Jahres nach Insertion, in Kombination mit einer Blutung oder Suppuration nach Sondierung, definiert (Roos-Jansåker *et al.*, 2006; Renvert *et al.*, 2007; Laine *et al.*, 2006; Zitzmann und Berglundh, 2008). In einer Untersuchung von Bahrami wurden 616 Personen randomisiert ausgewählt, und es wurde eine orale radiologische Befundung durchgeführt. Der marginale Knochenrückgang der natürlichen Zähne in einem Zeitraum von fünf Jahren wurde mit dem Alter assoziiert und belief sich durchschnittlich auf 0,1 mm pro Jahr. Demzufolge sollte die Diagnose einer Periimplantitis nur gestellt werden, wenn eine Mukositis vorherrschend ist und der jährliche Knochenverlust von 0,1 mm überschritten wird (Bahrami *et al.*, 2006).

**Tabelle 6: Unterschiedliche Definitionen und Kriterien der Periimplantitis (Quelle: Franke, Tietmann und Bröseler, 2013)**

Publikationen	Klassifikation	Klinische/radiologische Kriterien
Albrektsson 1986 <sup>12</sup>	Erfolg	Jährlicher vertikaler Knochenabbau von < 0,2 mm ab dem ersten Jahr nach Belastung
Buser 1990 <sup>13</sup>	Erfolg	Keine Mobilität, keine subjektiven Beschwerden, kein radiologisch fortschreitender periimplantärer Knochenabbau
Mombelli & Lang 1994 <sup>14</sup>	Misserfolg	Mobilität nach der Einheilphase, Spontanblutung/Suppuration, Sondierungstiefe > 5 mm
Spiekermann 1993 <sup>15</sup>	Periimplantitis-Klasse 1:	Geringer horizontaler Knochenabbau mit geringem periimplantärem Knochenabbau.
	Periimplantitis-Klasse 2:	Mäßiger horizontaler Knochenabbau mit einzelner vertikalem Defekt.
	Periimplantitis-Klasse 3:	Mäßiger/ausgeprägter horizontaler Knochenabbau mit breitem zirkulärem Knochenabbau.
	Periimplantitis-Klasse 4:	Ausgeprägter horizontaler Knochenabbau mit breitem zirkulärem Knochenabbau.
Karoussis et al. 2003 <sup>16</sup>	Erfolg	Keine Mobilität, keine subjektiven Beschwerden, keine Sondierungstiefe > 5 mm, keine Sondierungstiefe = 5 mm mit Sondierungsblutung, kein radiologischer Knochenabbau > 0,2 mm 1 Jahr nach Belastung, kein fortschreitend radiologischer Knochenabbau
Misch et al. 2008 (Pisa Consensus) <sup>17</sup>	Erfolg:	Radiologischer Knochenabbau < 2 mm.
	Zufriedenstellendes Überleben:	Radiologischer Knochenabbau 2–4 mm.
	Eingeschränktes Überleben:	Radiologischer Knochenabbau > 4 mm (< ½ der Implantatlänge), leichte Beschwerden, Sondierungstiefe > 7 mm, evtl. vorliegende Exsudathistorie.
	Misserfolg:	Radiologischer Knochenabbau > ½ Länge des Implantats, Schmerz, Mobilität, Spontanexsudation, Implantatverlust.

Es wäre notwendig, in Zukunft validierte und konsenterte Untersuchungsstandards sowie einheitliche Definitionen einzuführen, um exaktere Aussagen und Vergleiche durchführen zu können.

Die wichtigsten ursächlichen Faktoren für einen Implantatverlust sind laut Sakka und Coulthard eine zu geringe Primärstabilität nach Insertion, ein chirurgisches Trauma, eine perioperative Kontamination sowie eine okklusale Überbelastung und somit Faktoren nichtbiologischer Herkunft (Sakka und Coulthard, 2011), (Sakka, Baroudi und Nassani, 2012). Die meisten der genannten Faktoren stellen Komplikationen bei der Implantation selbst dar, die einen Verlust von Implantaten im ersten Jahr nach der Insertion begünstigen (Anitua *et al.*, 2008), (Olmedo-Gaya *et al.*, 2016).

Eine ausführliche präimplantologische Analyse des vorhandenen Knochenangebots ist unerlässlich für eine erfolgreiche Implantation. Die Knochenqualität im Kiefer variiert durch die laufenden Umbauprozesse im Körper und ist bei jedem Individuum unterschiedlich, abhängig von Lokalisation und Alter des Menschen. Die zuverlässigste biologische Methode, um die Knochenqualität histomorphologisch zu analysieren, wäre es, Biopsien aus Knochengewebe zu entnehmen. Dies ist aber im klinischen Alltag routinemäßig nicht

durchführbar (Rao und Rao, 1999). Stattdessen sollten vermehrt moderne dreidimensionale Röntgenaufnahmeverfahren wie CT und DVT durchgeführt werden, um die vorherrschenden horizontalen und vertikalen Kieferdimensionen zu beurteilen und potenzielle Komplikationen zu vermeiden. Spezielle transversale Schichtaufnahmen von OPT sind hierfür ungeeignet und ermöglichen nur eine beschränkte Analyse der anatomischen Gegebenheiten (Jackowski, Peters und Hölzle, 2017, S. 751).

Ein Unterschied trat bei den Sondierungstiefen zwischen Oberkiefer und Unterkiefer auf. Die durchschnittlich ermittelten Werte betragen in der Maxilla 3,11 mm und in der Mandibula 2,42 mm. Eine Studie von Park zeigt, dass die kortikale Knochendichte in der Mandibula statistisch höher ist als in der Maxilla. Ausgenommen hiervon war der Frontzahnbereich. Beim spongiösen Knochen wiesen die Eckzahn- und Retromolarregion auch in der Mandibula eine höhere Dichte auf (Park *et al.*, 2008).

Wenn ein Implantat bei einem vorherrschenden horizontalen Knochendefekt inseriert wird, ist als Resultat mit einer Dehiszenz oder einer Fenestration zu rechnen, und es kommt zu einer Exposition des Implantatkörpers, wodurch ein höheres Risiko eines Verlustes des Implantats besteht. Durch die GBR-Technik werden Räume fehlender Knochensubstanz mit Knochen- oder Knochenersatzmaterial aufgefüllt, das Material wird mithilfe einer Membran an Ort und Stelle gehalten (Dahlin *et al.*, 1989). Hierdurch wird nach einer Implantation neues Knochengewebe generiert, und die Knochendefekte werden korrigiert (Chiapasco und Zaniboni, 2009). PatientInnen, bei denen ein augmentatives Verfahren mittels GBR-Technik im Zuge der Implantation durchgeführt wurde, wiesen zum Zeitpunkt der Untersuchungen eine durchschnittliche Sondierungstiefe von 3,19 mm auf. PatientInnen, bei denen keine zusätzliche geführte Knochenregeneration durchgeführt wurde, wiesen im Mittel eine Sondierungstiefe von 2,61 mm an der Implantatposition auf. Eine Untersuchung von Becker zeigt, dass durch die Verwendung von Knochenersatzmaterialien und Kollagenmembranen bei Fenestrations- und Dehiszenzdefekte der vertikale Knochen zu 55 % und der horizontale Knochen zu 70 % rekonstruiert werden konnte (Becker *et al.*, 2009).

Die Ergebnisse der durchgeführten retrospektiven Studie zeigen, dass konische Implantate eine adäquate Behandlungstherapie für den klinischen Alltag sind. Verschiedene klinische Parameter wirken sich auf die periimplantäre Hart- und Weichgewebssituation aus. Um in Zukunft exaktere Schlussfolgerungen tätigen zu können, wird es nötig sein, größere PatientInnenkollektive über noch längere Zeiträume zu untersuchen.

## Literaturverzeichnis

Abrahamsson, I. (1997) 'The mucosal barrier following abutment dis/reconnection An experimental study in dogs', *Journal of Clinical Periodontology*. doi: 10.1111/j.1600-051X.1997.tb00230.x.

Abrahamsson, I. *et al.* (2004) 'Early bone formation adjacent to rough and turned endosseous implant surfaces. An experimental study in the dog', *Clinical Oral Implants Research*, 15(4), pp. 381–392. doi: 10.1111/j.1600-0501.2004.01082.x.

Albrektsson, T. and Isidor, F. (1994) 'Consensus report of session IV', in *Proceedings of the 1st European Workshop on Periodontology*, pp. 365–369.

Albrektsson T , Branemark PI , Hansson HA, L. J. (1981) 'Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long lasting, direct bone-to-implant anchorage in man.', *Acta Orthop Scan*, pp. 155–170.

*alltecdental* (2019). Available at: <http://www.alltecdental.at/produkte/camlog-implantate/system/> (Accessed: 6 August 2019).

Anitua, E. *et al.* (2008) '5-year clinical experience with BTI<sup>®</sup> dental implants: risk factors for implant failure', *Journal of Clinical Periodontology*. John Wiley & Sons, Ltd (10.1111), 35(8), pp. 724–732. doi: 10.1111/j.1600-051X.2008.01248.x.

Anselme, K. and Biggerelle, M. (2005) 'Topography effects of pure titanium substrates on human osteoblast long-term adhesion', *Acta Biomaterialia*. doi: 10.1016/j.actbio.2004.11.009.

Åstrand, P. *et al.* (2008) 'Implant treatment of patients with edentulous jaws: A 20-year follow-up', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, pp. 207–217. doi: 10.1111/j.1708-8208.2007.00081.x.

Bahrami, G. *et al.* (2006) 'Marginal bone level in an adult Danish Population', *Oral Health Prev.Dent.*, pp. 5:13-18.

- Bain, C. A. (2006) 'Smoking and implant failure—benefits of a smoking cessation protocol', *Implant Dentistry*. doi: 10.1097/00008505-199700630-00010.
- Barfeie, A., Wilson, J. and Rees, J. (2015) 'Implant surface characteristics and their effect on osseointegration', *British Dental Journal*, 218(5), pp. E9–E9. doi: 10.1038/sj.bdj.2015.171.
- Becker, J. *et al.* (2009) 'Use of a new cross-linked collagen membrane for the treatment of dehiscence-type defects at titanium implants: a prospective, randomized-controlled double-blinded clinical multicenter study', *Clinical Oral Implants Research*, 20(7), pp. 742–749. doi: 10.1111/j.1600-0501.2008.01689.x.
- Berglundh, T. *et al.* (1992) 'Soft tissue reaction to de novo plaque formation on implants and teeth. An experimental study in the dog', *Clinical Oral Implants Research*. doi: 10.1034/j.1600-0501.1992.030101.x.
- Berglundh, T., Persson, L. and Klinge, B. (2002) 'A systematic review of the incidence of biological and technical complications in implant dentistry reported in prospective longitudinal studies of at least 5 years', *Journal of Clinical Periodontology*. doi: 10.1034/j.1600-051X.29.s3.12.x.
- Boyan, B. D. *et al.* (1996) 'Role of material surfaces in regulating bone and cartilage cell response', *Biomaterials*, pp. 137–146. doi: 10.1016/0142-9612(96)85758-9.
- Boyan, B. D. *et al.* (2001) *The Titanium-Bone Cell Interface In Vitro: The Role of the Surface in Promoting Osteointegration*. doi: 10.1007/978-3-642-56486-4\_17.
- Branemark, P.-I. (1983) 'Osseointegration and its experimental background', *The Journal of Prosthetic Dentistry*. Mosby, 50(3), pp. 399–410. doi: 10.1016/S0022-3913(83)80101-2.
- Buser, D. *et al.* (2004) 'Enhanced bone apposition to a chemically modified SLA titanium surface', *Journal of Dental Research*, pp. 529–533. doi: 10.1177/154405910408300704.
- Buser, D. *et al.* (2012) '10-Year Survival and Success Rates of 511 Titanium Implants with

a Sandblasted and Acid-Etched Surface: A Retrospective Study in 303 Partially Edentulous Patients', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. doi: 10.1111/j.1708-8208.2012.00456.x.

Buser, D., Weber, H.-P. and Lang, N. P. (1990) 'Tissue integration of non-submerged implants. 1-year results of a prospective study with 100 ITI hollow-cylinder and hollow-screw implants.', *Clinical Oral Implants Research*, 1(1), pp. 33–40. doi: 10.1034/j.1600-0501.1990.010105.x.

camlog (2019). Available at: <https://www.camlog.de/implantatsysteme/camlog/oberflaeche> (Accessed: 9 January 2019).

Camlog (2019) *Camlog*. Available at: <https://www.camlog.com/de/ueber-camlog/unternehmensgeschichte/> (Accessed: 6 August 2019).

Chiapasco, M. and Zaniboni, M. (2009) 'Clinical outcomes of GBR procedures to correct peri-implant dehiscences and fenestrations: A systematic review', *Clinical Oral Implants Research*. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01781.x.

Dahlin, C. *et al.* (1989) 'Generation of new bone around titanium implants using a membrane technique: an experimental study in rabbits.', *The International journal of oral & maxillofacial implants*.

Dinkelacker, W., Hermann, J. S. and Zipprich, H. (2014) *Implantatprothetik - biomechanische und prothetische Konzepte in der Implantologie*. ©George Thieme Verlag KG, Stuttgart.

Eisenbarth, E. *et al.* (1996) 'Influence of the surface structure of titanium materials on the adhesion of fibroblasts', *Biomaterials*, pp. 17: 1399-1403. doi: 10.1016/0142-9612(96)87281-4.

Ekelund, J.-A. *et al.* (2003) 'Implant Treatment in the Edentulous Mandible: A Prospective Study on Brånemark System Implants over More than 20 Years', *International Journal of Prosthodontics*.

Ferreira, S. D. *et al.* (2006) 'Prevalence and risk variables for peri-implant disease in Brazilian subjects', *Journal of Clinical Periodontology*. doi: 10.1111/j.1600-051X.2006.01001.x.

Franke, M., Tietmann, C. and Bröseler, F. (2013) 'Periimplantitis- eine neue Herausforderung', *Parodontologie*, pp. 69–75. Available at: [https://www.paro-aachen.de/media/publ/Franke\\_2013\\_paro\\_2013\\_01\\_s0069.pdf](https://www.paro-aachen.de/media/publ/Franke_2013_paro_2013_01_s0069.pdf).

Fuhrmann, A. (2013) *Zahnärztliche Radiologie*. New York: Georg Thieme Verlag Stuttgart.

G., K., M., K. and E., P. (2007) 'Implant-supported mandibular overdentures retained with a milled bar: A retrospective study', *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*. doi: 10.1016/S0022-3913(08)60087-6.

Gernet, W. *et al.* (2017) *Zahn-Mund-Kieferheilkunde: Zahnärztliche Prothetik*. 5. Auflage. New York: Georg Thieme Verlag Stuttgart.

Glockmann, E. *et al.* (2011) 'Ursachen des Zahnverlustes in Deutschland', *DZ, Institut der Deutschen Zahnärzte*.

Gotfredsen, K. (2012) 'A 10-year prospective study of single tooth implants placed in the anterior maxilla', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14, pp. 80–87. doi: 10.1111/j.1708-8208.2009.00231.x.

Le Guéhennec, L. *et al.* (2007) 'Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration', *Dental Materials*, 23(7), pp. 844–854. doi: 10.1016/j.dental.2006.06.025.

Gutwald, R., Gellrich, N.-C. and Schmelzeisen, R. (2010) *Einführung in die zahnärztliche Chirurgie und Implantologie: für Studium und Beruf; mit 71 Tabellen*. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag. Available at: <https://books.google.com/books?id=er3MZL4qwi4C&pgis=1>.

Gutwald, R., Gellrich, N.-C. and Schmelzeisen, R. (2019) *Zahnärztliche Chirurgie und*

*Implantologie*. 3. überarb. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag.

Haas, M. and Wimmer, G. (2008) 'From periodontal diagnosis to risk profile: Treatment planning based on objective parameters', *Inf Orthod Kieferorthop*, (40), pp. 1–13.

Hermann, J. S. *et al.* (1997) 'Crestal Bone Changes Around Titanium Implants. A Radiographic Evaluation of Unloaded Nonsubmerged and Submerged Implants in the Canine Mandible', *Journal of Periodontology*, 68(11), pp. 1117–1130. doi: 10.1902/jop.1997.68.11.1117.

Hotz, W. and Volz, U. (2004) 'Erste Erfahrungen mit Zirkonoxid - Implantaten der neuesten Generation.', *Implantologie Journal* 8, pp. 40–42.

Jackowski, J., Peters, H. and Hölzle, F. (2017) *Zahnärztliche Chirurgie*. Springer-Verlag GmbH Deutschland 2017.

Jivraj, S. and Chee, W. (2006a) 'Treatment planning of implants in posterior quadrants', *British Dental Journal*, 201(1), pp. 13–23. doi: 10.1038/sj.bdj.4813766.

Jivraj, S. and Chee, W. (2006b) 'Treatment planning of implants in the aesthetic zone.', *British dental journal*. doi: 10.1038/sj.bdj.4813820.

Karoussis, I. K. *et al.* (2003) 'Long-term implant prognosis in patients with and without a history of chronic periodontitis: a 10-year prospective cohort study of the ITIR Dental Implant System', *Clinical Oral Implants Research*, 14(3), pp. 329–339. doi: 10.1034/j.1600-0501.000.00934.x.

Karoussis, I. K. *et al.* (2004) 'Effect of implant design on survival and success rates of titanium oral implants: A 10-year prospective cohort study of the ITI® Dental Implant System', *Clinical Oral Implants Research*. doi: 10.1111/j.1600-0501.2004.00983.x.

Krennmair, G. *et al.* (2007) 'Maxillary Sinus Lift for Single Implant-Supported Restorations: A Clinical Study.', *The International journal of oral & maxillofacial implants*.

Krennmair, G. *et al.* (2010) 'Clinical outcome of root-shaped dental implants of various diameters: 5-year results.', *The International journal of oral & maxillofacial implants*, 25, pp. 357–366.

Laine, M. L. *et al.* (2006) 'IL-1RN gene polymorphism is associated with peri-implantitis', *Clinical Oral Implants Research*. doi: 10.1111/j.1600-0501.2006.01249.x.

Lekholm U, Zarb GA, A. T. (1985) 'Patient selection and preparation.', *Tissue integrated prostheses*. doi: 10.1210/jc.2002-021100.

Leonhardt, A. *et al.* (2002) 'Long-term follow-up of osseointegrated titanium implants using clinical, radiographic and microbiological parameters', *Clinical Oral Implants Research*, 13(2), pp. 127–132. doi: 10.1034/j.1600-0501.2002.130202.x.

Lindquist, L. W., Carlsson, G. E. and Jemt, T. (1997) 'Association between Marginal Bone Loss around Osseointegrated Mandibular Implants and Smoking Habits: A 10-year Follow-up Study', *Journal of Dental Research*, 76(10), pp. 1667–1674. doi: 10.1177/00220345970760100801.

Löe, H. (1967) 'The Gingival Index, the Plaque Index and the Retention Index Systems', *Journal of Periodontology*, 38(6 Part II), pp. 610–616. doi: 10.1902/jop.1967.38.6\_part2.610.

Ludwig, P. and Niedermeier, W. (2002) *Prothetik*. New York: Georg Thieme Verlag Stuttgart.

Martins, R. *et al.* (2018) 'Osseointegration of zirconia and titanium implants in a rabbit tibiae model evaluated by microtomography, histomorphometry and fluorochrome labeling analyses', *Journal of Periodontal Research*, 53(2), pp. 210–221. doi: 10.1111/jre.12508.

Marxkors, R. (2010) *Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik: Für Studium und Beruf*. Köln: Deutscher Zahnärzte-Verlag GmbH.

Massaro, C. *et al.* (2002) 'Comparative investigation of the surface properties of

commercial titanium dental implants. Part I: Chemical composition', *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. doi: 10.1023/A:1015170625506.

Misch, C. E. (1990) 'Density of bone: effect on treatment plans, surgical approach, healing, and progressive bone loading', *The International Journal of Oral Implantology: implantologist*.

Misch, C. E. (2005) *Dental implant prosthetics*. Mosby.

Möller, B. *et al.* (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*, 41(5), pp. 638–645. doi: 10.1016/j.ijom.2012.02.004.

Mombelli, A. *et al.* (1987) 'The microbiota associated with successful or failing osseointegrated titanium implants', *Oral Microbiology and Immunology*. doi: 10.1111/j.1399-302X.1987.tb00298.x.

Mombelli, A. and Lang, N. P. (1994) 'Clinical parameters for the evaluation of dental implants', *Periodontology 2000*, 4, pp. 81–86. doi: 10.1111/j.1600-0757.1994.tb00008.x.

O'Leary, T. J., Drake, R. B. and Naylor, J. E. (1972) 'The Plaque Control Record', *Journal of Periodontology*. doi: 10.1902/jop.1972.43.1.38.

Offenbacher, S. (1996) 'Periodontal Diseases: Pathogenesis', *Annals of Periodontology*, 1(1), pp. 821–878. doi: 10.1902/annals.1996.1.1.821.

Offenbacher, S. *et al.* (2007) 'Periodontal Disease at the Biofilm–Gingival Interface', *Journal of Periodontology*. doi: 10.1902/jop.2007.060465.

Olmedo-Gaya, M. V. *et al.* (2016) 'Risk factors associated with early implant failure: A 5-year retrospective clinical study', *Journal of Prosthetic Dentistry*. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.07.020.

Oshida, Y. *et al.* (2010) 'Dental Implant Systems', *International Journal of Molecular*

*Sciences*, 11(4), pp. 1580–1678. doi: 10.3390/ijms11041580.

Östman, P. O. *et al.* (2007) ‘Direct loading of Nobel Direct® and Nobel Perfect® one-piece implants: A 1-year prospective clinical and radiographic study’, *Clinical Oral Implants Research*, 18:409-418. doi: 10.1111/j.1600-0501.2007.01346.x.

Ozkan, Y. *et al.* (2007) ‘Three-year treatment outcomes with three brands of implants placed in the posterior maxilla and mandible of partially edentulous patients’, *Journal of Prosthetic Dentistry*. doi: 10.1016/j.prosdent.2007.01.004.

Park, H. S. *et al.* (2008) ‘Density of the alveolar and basal bones of the maxilla and the mandible’, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. doi: 10.1016/j.ajodo.2006.01.044.

Park, J.-H. *et al.* (2008) ‘The biocompatibility of SLA-treated titanium implants’, *Biomedical Materials*. doi: 10.1088/1748-6041/3/2/025011.

Rao, T. and Rao, W. (1999) ‘Bone classification: clinical-histomorphometric comparison’, *Clinical Oral Implants Research*. doi: 10.1034/j.1600-0501.1999.100101.x.

Renvert, S. *et al.* (2007) ‘Infection at titanium implants with or without a clinical diagnosis of inflammation’, *Clinical Oral Implants Research*. doi: 10.1111/j.1600-0501.2007.01378.x.

Roos-Jansåker, A. M. *et al.* (2006) ‘Nine- to fourteen-year follow-up of implant treatment. Part III: Factors associated with peri-implant lesions’, *Journal of Clinical Periodontology*. doi: 10.1111/j.1600-051X.2006.00908.x.

Rupp, F. *et al.* (2006) ‘Enhancing surface free energy and hydrophilicity through chemical modification of microstructured titanium implant surfaces’, *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*, pp. 323–334. doi: 10.1002/jbm.a.30518.

Sakka, S., Baroudi, K. and Nassani, M. Z. (2012) ‘Factors associated with early and late failure of dental implants’, *Journal of Investigative and Clinical Dentistry*. John Wiley &

- Sons, Ltd (10.1111), 3(4), pp. 258–261. doi: 10.1111/j.2041-1626.2012.00162.x.
- Sakka, S. and Coulthard, P. (2011) ‘Implant failure: Etiology and complications’, *Medicina Oral, Patologia Oral y Cirugia Bucal*. doi: 10.4317/medoral.16.e42.
- Sánchez-Siles, M. *et al.* (2015) ‘Incidence of peri-implantitis and oral quality of life in patients rehabilitated with implants with different neck designs: A 10-year retrospective study’, *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 43(10), pp. 2168–2174. doi: 10.1016/j.jcms.2015.10.010.
- dos Santos, M. V., Elias, C. N. and Cavalcanti Lima, J. H. (2011) ‘The effects of superficial roughness and design on the primary stability of dental implants’, *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. doi: 10.1111/j.1708-8208.2009.00202.x.
- Sanz, M. *et al.* (2010) ‘A prospective, randomized-controlled clinical trial to evaluate bone preservation using implants with different geometry placed into extraction sockets in the maxilla’, *Clinical Oral Implants Research*, 21(1), pp. 13–21. doi: 10.1111/j.1600-0501.2009.01824.x.
- Schulte, W. *et al.* (1978) ‘Concept and testing of the Tübingen immediate implant’, *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 33 :319–25.
- Schwarz, S. *et al.* (2012) ‘Survival and Chipping of Zirconia-Based and Metal-Ceramic Implant-Supported Single Crowns’, *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14, pp. e119–e125. doi: 10.1111/j.1708-8208.2011.00388.x.
- Schwenzer, N. and Ehrenfeld, M. (2009) *Zahn-Mund-Kieferheilkunde: Zahnärztliche Chirurgie*. 4.Auflage. New York: Georg Thieme Verlag Stuttgart.
- Sessler, D. I. and Imrey, P. B. (2015) ‘Clinical Research Methodology 1: Study Designs and Methodologic Sources of Error.’, *Anesthesia and analgesia*, 121(4), pp. 1034–42. doi: 10.1213/ANE.0000000000000815.
- Simonis, P., Dufour, T. and Tenenbaum, H. (2010) ‘Long-term implant survival and

success: A 10-16-year follow-up of non-submerged dental implants', *Clinical Oral Implants Research*. doi: 10.1111/j.1600-0501.2010.01912.x.

Spiekermann, H. *et al.* (1994) *Implantologie*. Band 10. New York: Georg Thieme Verlag Stuttgart.

Wittneben, J.-G. *et al.* (2014) 'Complication and Failure Rates with Implant-Supported Fixed Dental Protheses and Single Crowns: A 10-Year Retrospective Study', *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 16(3), pp. 356–364. doi: 10.1111/cid.12066.

Wolf, F. H., Edith, M. and Rateitschak, H. K. (2004) *Parodontologie*. 3.Auflage. New York: Georg Thieme Verlag Stuttgart.

Zitzmann, N. U. and Berglundh, T. (2008) 'Definition and prevalence of peri-implant diseases', *Journal of Clinical Periodontology*, 35, pp. 286–291. doi: 10.1111/j.1600-051X.2008.01274.x.