

**Diplomarbeit**

**Langzeit Follow-up von Implantaten nach  
Kieferkammrekonstruktionen mit autogenen enoralen  
Knochenblocktransplantaten**

eingereicht von

**David Ungvari**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der Zahnheilkunde**

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

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit

Abteilung für Orale Chirurgie und Kieferorthopädie

unter der Anleitung von

Dr. Andreea Kovacs

Univ.-Prof. DDr. Norbert Jakse

Graz, 30.09.2019

*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 30.09.2019*

*David Ungvari, eh.*

## Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich von ganzem Herzen bei meinen Wegbegleitern, Unterstützern und bei meinen konstruktiven Kritikern bedanken. Ihr habt diesen Studienweg maßgeblich geprägt.

Ein besonderer Dank geht an Herrn Prof. DDr. Norbert Jakse, der die Idee für diese Arbeit lieferte und sein großartiges Fachwissen mit mir teilte. Ebenfalls möchte ich an dieser Stelle meiner Zweitbetreuerin, Frau Dr. Andreea Kovacs, danken, die mir bei allen Fragen rund um diese Diplomarbeit jederzeit beratend zur Seite stand und die Daten für diese Arbeit bereitstellte. Ein großes Dankeschön geht auch an Frau Mischak für die Übernahme der statistischen Auswertung.

Ich möchte mich des Weiteren bei meinen Eltern, Sonja und Michael, bedanken. Insbesondere stand mir meine Mutter in fachlichen Fragen als Zahnärztin jederzeit zur Seite und unterstützte mich von Beginn an.

Isabella, meiner Lebensgefährtin, gebührt ebenfalls ein großes Dankeschön. Sie stand mir seit Anfang des Studiums mit Ratschlägen und als gute ZuhörerIn zur Seite und unterstützt mich in meiner weiteren Berufsplanung im vollsten Maße.

Ich danke euch.

# Zusammenfassung

## Hintergrund

Die Implantatrestauration stellt eine Standardversorgung für langlebigen und ästhetischen Zahnersatz dar, welche jedoch ein ausreichend vertikales und horizontales Knochenangebot benötigt. Ist dieses nicht gegeben, kann mit Hilfe einer Knochenaugmentation ausreichend Volumen geschaffen werden.

## Methoden

In dieser Querschnittsstudie wurden 74 Patienten und Patientinnen kontaktiert, welche sich im Zeitraum 2000 bis 2017 an der Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheits in Graz mit einer autogenen enoralen Knochenaugmentation und anschließender Implantation behandeln ließen.

## Ergebnisse

Eine Rückmeldung erfolgte durch 49 PatientInnen mit 91 Implantaten (61% Frauen und 39% Männer). Die Studienuntersuchung fand nach einem durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von 10 Jahren (120 Monate) statt. Die 91 Implantate wurden zu 58% (53 Implantate) im Oberkiefer und zu 42% (38 Implantate) im Unterkiefer gesetzt. Es konnte dabei eine 100 prozentige Überlebensrate erzielt werden. Die durchschnittliche Punktezahl beim OHIP-G beläuft sich auf  $1,65 \pm 2,17$  Punkte und die Rezession als klinisch radiologischer Parameter misst im Durchschnitt  $0,41 \pm 0,76$  mm. Bei 86,8% der gesetzten Implantate traten keine Nebenwirkungen auf und bei 71,1% der war das Bleeding on Probing negativ.

## Konklusion

Die vorliegende Studie zeigt auf, dass Implantationen mit autogenen Knochenblocktransplantaten eine ähnlich langfristige Prognose aufweisen wie Implantationen ohne präimplantäre Augmentationen.

# **Abstract**

## **Background**

Implant restoration is a standard treatment for permanent and aesthetic dentures, but it requires a sufficient amount of vertical and horizontal bone. If this wasn't possible, sufficient volume can be created with the help of a bone augmentation.

## **Methods**

In this cross-sectional study, 74 patients were contacted, who in the period 2000 to 2017 at the University Clinic for Dentistry and Oral Health in Graz were treated with autogenic enoral bone augmentation and subsequent implantation.

## **Results**

Feedback was provided by 49 patients with 91 implants (61% women and 39% men). The study study took place after an average observation period of 10 years (120 months). The 91 implants were placed in 58% (53 implants) in the upper jaw and 42% (38 implants) in the lower jaw. It thereby achieved a 100 percent survival. The mean OHIP-G score was  $1.65 \pm 2.17$  points, and the clinical-radiographic recession averages were  $0.41 \pm 0.76$  mm. In 86.8% of the implants placed there were adverse effects and in 71.1% Bleeding on probing was negative.

## **Conclusion**

The present study shows that implantations with autogenous bone block grafts have a similar long-term prognosis as implants without pre-implant augmentations.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN .....</b>	<b>VIII</b>
<b>2</b>	<b>ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>IX</b>
<b>3</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>12</b>
3.1	PROBLEMSTELLUNG .....	12
3.2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	14
3.2.1	<i>Anatomie der Knochen und Muskeln.....</i>	<i>14</i>
3.2.2	<i>Physiologie des Knochens .....</i>	<i>17</i>
3.2.3	<i>Quantitatives und qualitatives Knochenangebot.....</i>	<i>18</i>
3.2.4	<i>Pathogenese und Folgen der Knochenresorption.....</i>	<i>20</i>
3.2.5	<i>Implantatlager Mindestanforderungen und Backward-Planning .....</i>	<i>22</i>
3.2.6	<i>Überblick Augmentationsmaterialien .....</i>	<i>23</i>
3.2.6.1	Autogen enoral.....	23
3.2.6.2	Autogen extraoral .....	23
3.2.6.3	Weitere Augmentationsmaterialien.....	24
3.2.7	<i>Überblick Augmentationsverfahren .....</i>	<i>25</i>
3.2.8	<i>Vor- und Nachteile autogener Knochentransplantate .....</i>	<i>30</i>
3.2.9	<i>Einheilungsvorgang eines Knochentransplantates.....</i>	<i>31</i>
3.2.10	<i>Transplantatprognose.....</i>	<i>31</i>
3.2.11	<i>Komplikationen und Risikofaktoren .....</i>	<i>32</i>
3.2.12	<i>Grundlagen der Implantation.....</i>	<i>34</i>
3.2.12.1	Osseointegration nach Implantation.....	34
3.2.12.2	Erfolgsrate/ Überlebensrate/ Recall.....	36
<b>4</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>37</b>
4.1	PATIENTINNENKOLLEKTIV.....	37
4.2	AUSWERTUNGSPARAMETER .....	37
4.2.1	<i>Implantat in Situ und in Funktion- Hauptzielgröße .....</i>	<i>37</i>
4.2.2	<i>Nebenzielgrößen.....</i>	<i>37</i>
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE – RESULTATE.....</b>	<b>43</b>
5.1	STATISTIK.....	43
5.2	PATIENTINNENBEZOGENE EIGENSCHAFTEN .....	43
5.3	IMPLANTATBEZOGENE EIGENSCHAFTEN.....	46
5.4	HAUPTZIELGRÖßE: IMPLANTATE IN SITU UND IN FUNKTION .....	49
5.5	NEBENZIELGRÖßEN .....	49
5.6	ZUSAMMENHÄNGE DER IMPLANTATE MIT ERHOBENEN PARAMETERN.....	56

5.6.1	<i>Zusammenhang Lokalisation und Sondierungstiefe</i> .....	56
5.6.2	<i>Zusammenhang Lokalisation und Komplikationen</i> .....	57
5.6.3	<i>Zusammenhang Lokalisation und BOP</i> .....	58
5.6.4	<i>Zusammenhang Lokalisation und Rezession</i> .....	59
5.6.5	<i>Zusammenhang Komplikationen und Raucher</i> .....	60
5.6.6	<i>Zusammenhang Lokalisation und radiologisch krestaler Knochenabbau</i> .....	61
<b>6</b>	<b>DISKUSSION</b> .....	<b>62</b>
6.1	PATIENTENBEZOGENE ERGEBNISSE .....	62
6.2	IMPLANTATBEZOGENE ERGEBNISSE.....	63
6.3	HAUPTZIELGRÖÖE UND NEBENZIELGRÖÖEN .....	64
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>66</b>

# 1 Glossar und Abkürzungen

A.	=	Arterie
Bzw.	=	Beziehungsweise
Ca.	=	Circa
CT	=	Computertomographie
DVT	=	Digitale Volumetomographie
mm	=	Millimeter
N.	=	Nervus
Ncm	=	Newton Zentimeter
NW	=	Nebenwirkung
PES	=	Pink Esthetic Score
SD	=	Standardabweichung
V.	=	Vene
VBK	=	Verblockte Krone
13	=	Eckzahn im oberen rechten Quadranten
14	=	Erster Prämolare im rechten oberen Quadranten
23	=	Eckzahn im oberen linken Quadranten
24	=	Erster Prämolare im linken oberen Quadranten
33	=	Eckzahn im unteren linken Quadranten
34	=	Erster Prämolare im linken unteren Quadranten
43	=	Eckzahn im unteren rechten Quadranten
44	=	Erster Prämolare im rechten unteren Quadranten
6er	=	erster Molar
7er	=	zweiter Molar
8er	=	dritte Molar, Weisheitszahn

## 2 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

Abbildung 1: Die anatomischen Strukturen der Maxilla (10).....	14
Abbildung 2: : Die anatomischen Strukturen der Maxilla (10).....	15
Abbildung 3: Graphische Darstellung der Muskelursprünge (rot) und der Muskelansätze (blau) am Schädel (11).....	16
Abbildung 4: Klassifikationen der Knochenatrophie nach Atwood (1962)= B, Cawood und Howell (1988)= A (18). ....	18
Abbildung 5: Klassifikationen nach Lekholm und Zarb (20).....	19
Abbildung 6: Neue Klassifizierung des qualitativen Knochenangebots nach Al-Ekrish (22).....	20
Abbildung 7: Enorale Knochenentnahmestellen im Unter- und Oberkiefer (27)...	23
Abbildung 8: Darstellung einer autogenen Knochenblockaugmentation (41): A: Der atrophe Kieferabschnitt 11-12, B: Das Knochenblocktransplantat wird mit Hilfe von Osteosyntheseschrauben aufgebracht, C: Die Implantate werden gesetzt, D: Das abgeheilte Endergebnis.....	27
Abbildung 9: Graphische Darstellung einer Sinusbodenelevation (42):a) Vorbestehender Sinus maxillaris b) Anheben der Sinusmembran c) Auffüllen des entstandenen Zwischenraums mit verschiedenen Augmentationsmaterialien d) Inseration des Implantates.....	28
Abbildung 10: Distractionsosteogenese eines Alveolarknochens (3). ....	29
Abbildung 11: Schematische Darstellung der GBR Methode (45).....	29
Abbildung 12: Überblick der Häufigkeit von Nebenwirkungen (NW) bei verschiedenen Augmentationsmaterialien. Quellen: Silva et al. (49), Gleizal et al. (34), Kirmeier et al. (32), Weibull et al. (50), Khoury et al. (3), Schaaf et al. (51), Coradro et al. (52), Clavero et al. (53), Fasolis et al. (54), Scheerlinck et al. (55).....	33
Abbildung 13: Distanz- und Kontaktosteogenese nach Davis (60). Der rote Pfeil stellt die Richtung der Knochenneusynthese dar (59).....	35
Abbildung 14: Überlebensrate von Implantaten in Prozent bei verschiedenen Augmentationsmaterialien. Quellen: Becktor et al. (31), Gleizal (34), Soehardi et al. (62), Nyström et al. (29), Cordaro et al. (52), Gultekin et al. (38), Ortiz et al. (63), Gastaldi et al. (37), Felice et al. (36), Thoma et al. (64).....	36
Abbildung 15: OHIP-G 2014.....	42

Abbildung 16: Anzahl der Implantate je PatientIn.....	43
Abbildung 17: Graphische Darstellung des Behandlungszeitraumes.....	44
Abbildung 18: Geschlechtsverteilung der Untersuchungspopulation.....	45
Abbildung 19: Altersverteilung der Untersuchungspopulation in Jahren. ....	45
Abbildung 20: Graphische Darstellung der Implantatdurchmesser.....	46
Abbildung 21: Graphische Darstellung der Implantatlänge. ....	46
Abbildung 22: Lokalisation der Implantate im Oberkiefer (OK) und Unterkiefer (UK).....	48
Abbildung 23: Genaue Lokalisationen der Implantate. ....	48
Abbildung 24: Graphische Darstellung der Sondierungstiefe in Millimeter. ....	49
Abbildung 25: Graphische Darstellung der Ergebnisse des Periotests. ....	50
Abbildung 26: Graphische Darstellung des radialen Knochenabbaus in Millimeter. .....	51
Abbildung 27: Graphische Darstellung des OHIP-G.....	51
Abbildung 28: Graphische Darstellung des Pink Esthetic Score. ....	52
Abbildung 29: Graphische Darstellung der Rezession in Millimeter. ....	53
Abbildung 30: Verteilung der Komplikationen.....	54
Abbildung 31: Restaurationen in %- BP=, EZK = Einzelzahnkrone, VBK = Verblockte Kronen.....	55
Abbildung 32: Graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Lokalisation und der Sondierungstiefe. ....	56
Abbildung 33: Darstellung der Komplikationen im Zusammenhang mit der Lokalisation der Implantate. ....	57
Abbildung 34: Zusammenhang Lokalisation und BOP. ....	58
Abbildung 35: Darstellung der Gingivarezession im Zusammenhang mit der Lokalisation der Implantate. ....	59
Abbildung 36: Häufigkeit der Komplikationen bei Rauchern in Prozent.....	60
Abbildung 37: Zusammenhang zwischen der Lokalisation und dem radiologisch krestalen Knochenabbau.....	61
Abbildung 38: Behandlungszeitraum in Jahren je Altersgruppe. ....	62

## Tabellen

Tabelle 1: Einteilung der Knochenqualität nach Misch (21).....	19
Tabelle 2: Überblick der Eigenschaften der verschiedenen Transplantatmaterialien (3).....	30
Tabelle 3: Periotest-Werte und ihre Bedeutung (65). ....	39
Tabelle 4: Pink Esthetic score nach Fürhauser (66).....	40
Tabelle 5: Verwendete Implantathersteller in Anzahl und Prozent. ....	47

## **3 Einleitung**

### **3.1 Problemstellung**

Implantatrestitutionen zählen heute zur Standardversorgung für einen langlebigen und ästhetisch anspruchsvollen Zahnersatz. Diese brauchen für eine erfolgreiche Einheilung sowie für den Langzeiterfolg ein ausreichendes vertikales sowie horizontales Knochenangebot.

Bei komplexen Kieferdefekten wie zum Beispiel nach Traumata, aber auch bei kongenitalen Hypodontien (1), nach entzündlichen Prozessen (2), und im Rahmen einer Atrophie (3) ist dieses jedoch oft nicht ausreichend gegeben.

Unter einer Atrophie versteht man den Knochenabbau des Alveolarfortsatzes, welcher durch mangelnde funktionelle Belastung weiter fortschreitet (4) und in allen drei Raumrichtungen, vertikal, sagittal und transversal erfolgt. Unter anderem kann es Zuge einer Karies, bei Parodontitiden, bei odontogenen Fisteln (5), nach Traumata oder durch parodontale Erkrankungen zu einem vorzeitigen Zahnverlust kommen. Desweiteren ist der regelmäßige Konsum von Nikotin ein großer Risikofaktor für frühzeitigen Zahnverlust (3).

Beträgt die vertikale Knochenhöhe mehr als 10 mm und das horizontale Knochenvolumen mehr als 6 mm ist in der Regel kein Knochenaufbau für eine Implantatsetzung notwendig (3). Unterschreiten diese Werte das vorhandenen Knochenangebot ist oftmals eine Augmentation an der geplanten Implantationsregion indiziert.

Dadurch ist es möglich ausreichendes Knochenvolumen vertikal sowie horizontal lokal zu generieren. Im Anschluss können die Implantate optimal positioniert und ein ästhetisch ansprechendes und langlebiges Resultat erzielt werden (6).

Eine Implantation kann sowohl in der gleichen Sitzung, einzeitiges Vefahren, oder in einer zweiten Sitzung, zweizeitig, durchgeführt werden. Die Entscheidung, ob ein einzeitiges Vorgehen gewählt werden kann, ist abhängig vom Defektausmaß und der vorhandenen Knochenqualität.

In der heutigen Zahnmedizin kommen bei ausgedehnten Knochenverlusten im Kiefer verschiedene Augmentationsverfahren zum Einsatz. In der Literatur werden folgende Verfahren beschrieben: Die Knochenblocktransplantation, das Bonesplitting bzw. -spreading, die Guided Bone Regeneration (GBR), die Kallusdistraction (7–9) und die Sinusbodenelevation. Dabei können neben autogenen Transplantaten auch allogene, xenogene und alloplastische Materialien zum Einsatz kommen.

Die Augmentationsvariante, die Implantatwahl und die prothetische Versorgung sind immer Einzelfallentscheidungen, die individuell auf den Patienten/ die Patientin abgestimmt werden.

Die im Folgenden beschriebene Studie stellt eine Langzeit-Nachuntersuchung an Patienten und Patientinnen dar, welche eine enorale autogene Knochenblockaugmentation mit anschließender implantatprothetischer Versorgung erhielten.

## 3.2 Theoretische Grundlagen

### 3.2.1 Anatomie der Knochen und Muskeln

Für jegliche Knochenaugmentation sind Kenntnisse über die Anatomie des Oberkiefers (Maxilla) und des Unterkiefers (Mandibula) entscheidend.

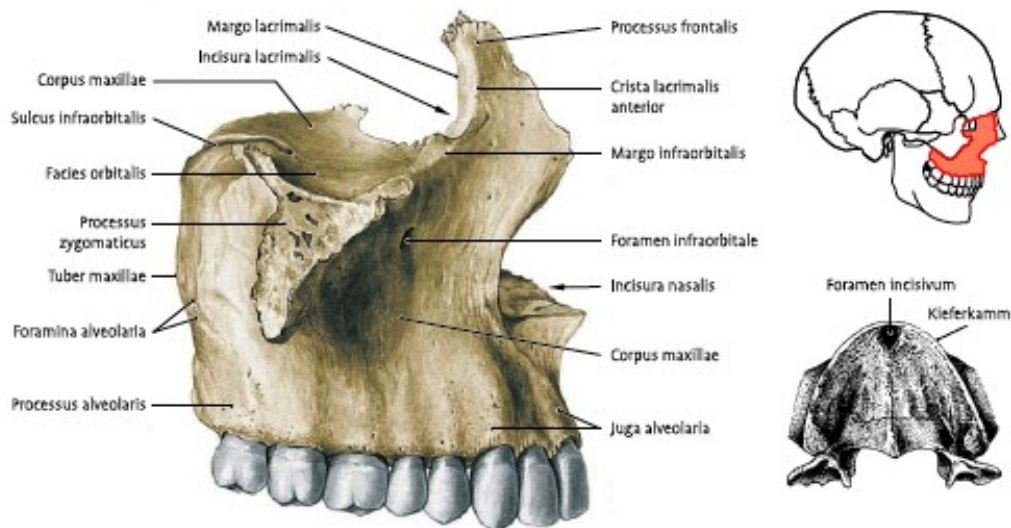


Abbildung 1: Die anatomischen Strukturen der Maxilla (10).

Der Oberkiefer besteht aus einem Corpus maxillae, von dem nach kranial der Processus frontalis, nach kaudal der Processus alveolaris, nach lateral der Processus zygomaticus und nach medial der Processus palatinus abgehen (10). Die Maxilla bildet zusammen mit dem Os palatinum den harten Gaumen (11). Dorsal der Pars alveolaris, welche die Alveoli dentales tragen (10), wölbt sich der Tuber maxillae hervor (12).

Sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer haben wichtige Muskeln des Kopfes bzw. Halses ihren Ursprung bzw. Ansatz. Dadurch wirken in diesen Bereichen hohe Zugkräfte, welche knochenerhaltend wirken und somit als Entnahmestellen für Knochenaugmentation dienen können.

Im Oberkiefer entspringen folgende Muskeln: An der Juga alveolaria die Muskeln M. orbicularis oris und der M. depressor septi nasi, im Bereich der Crista zygomatica der M. masseter und der M. buccinator sowohl an der Pars alveolaris

der letzten Molaren im Oberkiefer als auch an der Linea obliqua im Unterkiefer (10,11). Letztere stellt eine besonders häufige Spenderregion dar.

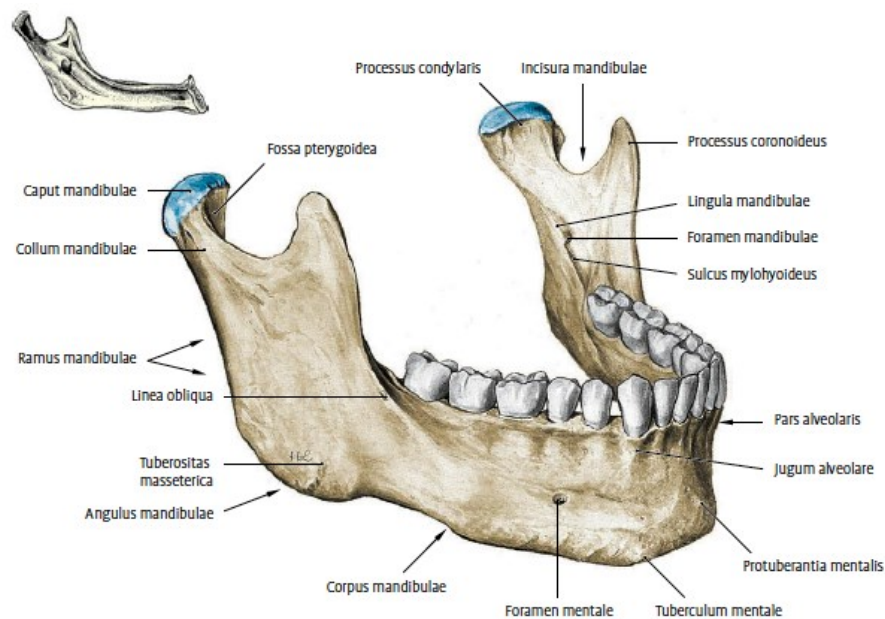


Abbildung 2: : Die anatomischen Strukturen der Maxilla (10).

Über das Art. temporomandibularis (Kiefergelenk) ist die Mandibula mit dem Os temporale verbunden (10).

Die Mandibula besteht aus einem Corpus mandibulae, dieser geht auf beiden Seiten des Unterkiefers in den Ramus mandibulae über (12). Die Grenze zwischen den beiden Strukturen bildet der Angulus mandibulae. Die Linea obliqua findet sich kranial des Kieferwinkels und als Ausläufer des Ramus mandibulae (10). Am kranialen Rand des Corpus mandibulae befinden sich die Pars alveolaris (12), diese stellt einen Teil des Zahnhalteapparats dar. Im Laufe des Lebens ist diese besonders den Alterungsprozessen ausgesetzt (10). Ventral zum Unterkiefer befindet sich die Protuberantia mentalis, die mit den Tubercula mentalia den Kinnvorsprung bilden (10).

In der Mandibula kann Knochen aus dem Kinnbereich gewonnen werden, da hier durch den Ursprung der Muskeln M. mentalis und M. orbicularis oris (11) ausreichend Knochen vorhanden ist. Der M. masseter setzt am Angulus bzw. Ramus mandibulae und am Processus coronoideus (10) an.



Abbildung 3: Graphische Darstellung der Muskelursprünge (rot) und der Muskelansätze (blau) am Schädel (11).

### **3.2.2 Physiologie des Knochens**

Nicht nur in der Wachstumsphase sondern auch im Erwachsenenalter findet ein ständiger Knochenauf- und abbau statt. So wird bei einem ausgewachsenen Menschen im Durchschnitt ca. 10% der Knochen im Jahr umgebaut (13). Der wichtigste Faktor für den Erhalt der Knochenstrukturen im Kieferbereich ist dabei die physiologische Beanspruchung des Knochens durch Druck- und Zugbelastungen (10) der Zähne und Kaumuskeln.

Die bei der Nahrungszerkleinerung auftretenden Kräfte werden über die Zähne aufgenommen und mittels des Zahnhalteapparats an den Knochen weitergegeben. Es erfolgt dabei eine Umwandlung der Druckkräfte in Zugkräfte (11). Die ständigen Kaubewegungen und damit verbundenen Zugbelastungen im bezahnten Kiefer generieren im Kieferknochen Reize zur Knochenneubildung.

#### **Arten der Ossifikationen**

Der Knochen setzt sich aus verschiedenen Zellen (Osteoblasten, Osteozyten und Osteoklasten) und einer Extrazellulärmatrix zusammen (14).

Die Knochenentwicklung kann in eine desmale (direkte) und chondrale (indirekte) Osteogenese eingeteilt werden. Bei der desmalen Osteogenese erfolgt die Knochenbildung direkt aus dem mesenchymalen Bindegewebe, wohingegen bei der chondralen Osteogenese vorbestehendes Knorpelgewebe zu Knochengewebe umgebaut wird (10). Der Begriff der Osteogenese bezeichnet die Bildung eines spezifischen Knochens, mit Ossifikation ist hingegen die allgemeine Bildung von Knochengewebe gemeint (13).

Die Knochen des Gesichtsschädels werden durch desmale Ossifikation gebildet (14), nach Frakturen erfolgt die sekundäre Knochenbildung ebenfalls über diese Ossifikation und ist daher für die hier beschriebene Knochenaugmentation von besonderer Bedeutung. Bei dieser Art der Knochenbildung entstehen durch die Ausschüttung von Kollagenfasern und Osteoid aus mesenchymalen Zellen Osteoblasten (15), die auf der Außenseite immer neue Knochenbälkchen entstehen lassen (14). Die Knochenbälkchen nehmen durch neue Osteoblasten wiederum an Stärke zu. Auf der Innenseite, im Falle des Schädels auf der dem Gehirn zugewandten Seite, bauen die Osteoklasten gleichzeitig Knochengewebe

ab. Dadurch ist eine Größenzunahme und eine Formgebung des Knochens möglich (14).

Bei der chondralen Ossifikation wird Knorpelgewebe durch Knochengewebe ersetzt (10), diese findet besonders im Wachstum im Bereich der Epiphysenfugen statt.

### 3.2.3 Quantitatives und qualitatives Knochenangebot

#### Quantitatives Knochenangebot

Unter einem quantitativen Knochenangebot, versteht man die Menge des noch vorhandenen Knochens. International werden zur Beschreibung die sechs nachfolgenden Resorptionsklassen verwendet. Diese wurden 1962 von Atwood (16) und 1988 von Cawood und Howell (17) beschrieben.

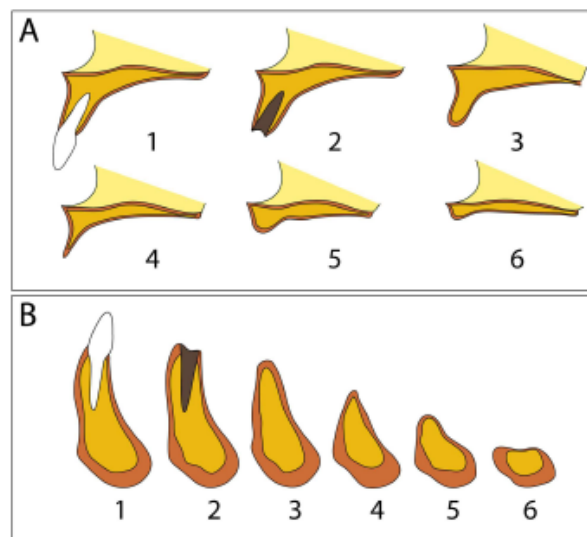


Abbildung 4: Klassifikationen der Knochenatrophie nach Atwood (1962)= B, Cawood und Howell (1988)= A (18).

Klasse 1: Die bezahnte Alveole.

Klasse 2: Die zahnlose Alveole direkt nach dem Zahnverlust.

Klasse 3: Der Alveolarfortsatz mit adäquater Höhe und Breite.

Klasse 4: Die messerscharfe Kammform mit adäquater Höhe und inadäquater Breite.

Klasse 5: Der flache Alveolarfortsatz mit inadäquater Höhe und Breite.

Klasse 6: Der hochatrophe Alveolarfortsatz.

### Qualitatives Knochenangebot

Das qualitative Knochenangebot wird in der Literatur vor allem durch die von Lekholm und Zarb (19) 1985 aufgestellte Klassifizierung bewertet. Die Einteilung basiert auf dem Verhältnis von spongiösen zu kortikalen Knochenbestandteilen.

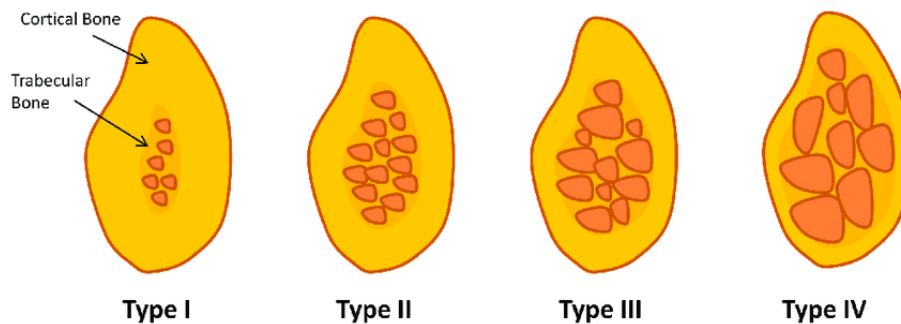


Abbildung 5: Klassifikationen nach Lekholm und Zarb (20).

Klasse 1: Der Knochen besteht zum größten Teil aus fester Kompakta.

Klasse 2: Ein breiter Kompaktaring umgibt die Spongiosa.

Klasse 3: Eine dünne Kortikalisschicht schließt eine engmaschige Spongiosa ein.

Klasse 4: Eine dünne Kortikalisschicht schließt eine weitmaschige Spongiosa ein.

Im Jahr 1990 erfolgte durch Misch (21) eine überarbeitete Klassifikation. Er teilte die Knochenqualität nicht nur in verschiedene Qualitätsklassen ein, sondern ordnete sie auch ihren Lokalisationen zu.

Klasse	Knochencharakter	Typische Lokalisation
<b>D1</b>	Dichter Knochen	Anteriore Mandibula
<b>D2</b>	Dünn, porös aber engmaschiger Knochen	Anteriore und posteriore Mandibula Anteriore Maxilla
<b>D3</b>	Dünn, porös und weitmaschiger Knochen	Posteriore Mandibula Anteriore und posteriore Maxilla
<b>D4</b>	Weitmaschiger Knochen	Posteriore Maxilla

Tabelle 1: Einteilung der Knochenqualität nach Misch (21).

Al-Ekrish et. al (22) haben 2018 die bisherigen Klassifikationen mittels CT reevaluiert und drei neue Klassen hinzugefügt. Trotz der bisherigen und bewährten Einteilung ist aufgrund der heutzutage verwendeten Technologien eine spezifischere Einteilung von Vorteil:



Abbildung 6: Neue Klassifizierung des qualitativen Knochenangebots nach Al-Ekrish (22).

Klasse 1: Fast ausschließlich kompakter Knochen.

Klasse 2a: Eine dicke Schicht Kompakta umgibt feste Spongiosa.

Klasse 2b: Eine dicke Schicht Kompakta umgibt mittelfeste Spongiosa.

Klasse 2c: Eine dicke Schicht Kompakta umgibt eine weiche Spongiosa.

Klasse 3a: Eine dünne Schicht Kompakta umgibt feste Spongiosa.

Klasse 3b: Eine dünne Schicht Kompakta umgibt mittelfeste Spongiosa.

Klasse 4: Eine dünne Schicht Kompakta umgibt eine weiche Spongiosa.

## Diagnostik

Für eine erfolgreiche Implantatversorgung sind sowohl Qualität als auch Quantität des Kieferknochens ausschlaggebend (23). Diese Parameter lassen sich neben der klinischen Untersuchung wahlweise mit einem Panoramaröntgen, einem DVT oder CT bestimmen.

An der Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheits in Graz wird bei unklaren bzw. ungenügenden Knochenverhältnissen im Rahmen der präoperativen Implantatplanung ein DVT angefertigt, um genauen Aufschluss über die dreidimensionale Knochensituation zu erhalten.

### 3.2.4 Pathogenese und Folgen der Knochenresorption

Im Bereich des Alveolarknochens kommt es nach Entfernung eines Zahnes daher immer zu einem Volumenverlust (3), welcher auch nicht durch eine sofortige

Implantation in die Extraktionsalveole aufgehalten werden kann (24). Die Resorptionsrate ist dabei im ersten Jahr am höchsten (25).

Wie schnell der Kieferknochen resorbiert wird ist individuell sehr unterschiedlich und hängt von folgenden Faktoren ab (25):

- der Knochendichte
- dem individuellen Hormonhaushalt, welcher für den Knochenstoffwechsel zuständig ist
- den parodontalen Vorerkrankungen mit eventuell reduziertem Alveolarfortsatz
- den schleimhauttragenden Prothesen und deren Kaubelastungen

Bei einem zahnlosen Kiefer verändern sich durch die verschiedenen Knochenresorptionsvorgänge die Relationen im Kiefer. So wird der Oberkiefer in Relation zum Unterkiefer kleiner (25)

#### Atrophie des Alveolarfortsatz

Erfolgt die Druckbelastung im Kiefer statt über die Zähne, nur mehr über die Gingiva propria und den unbezahnten Kieferknochen kommt es zu einem Knochenabbau (25) der sowohl horizontal als auch vertikal erfolgt (24). Die Klassen der fortschreitenden Resorption werden in Kapitel 3.2.3 beschrieben. Die horizontale Resorption wird dabei durch die Zunge, Wangen und Lippen geprägt (25). Dabei ist der bukkal gelegene Teil der Pars alveolaris im Oberkiefer stärker vom Abbau betroffen als der palatinale Anteil. Im Unterkiefer schreitet die Resorption hingegen von lingual nach bukkal fort (25).

Im ersten Jahr nach Verlust eines Zahnes ist der Schwund des Alveolarfortsatzes mit 1,2 mm im Unterkiefer und 0,5 mm im Oberkiefer am größten. In den folgenden Jahren sinken diese Werte auf 0,1 mm (Oberkiefer) bis 0,4 mm (Unterkiefer) (25). Der Unterkiefer ist somit stärker von Resorptionsvorgängen betroffen als der Oberkiefer.

### **3.2.5 Implantatlager Mindestanforderungen und Backward-Planning**

Von einem Backward-Planning spricht man, wenn der Behandlungsplan des Patienten/ der Patientin ausgehend von der endgültigen prothetischen Versorgung erstellt wird (26). Dabei werden die einzelnen notwendigen Schritte ausgehend vom Therapieziel bis zur aktuellen Situationen geplant. Dadurch ist es möglich, das benötigte Knochenvolumen für eine optimale Implantatposition bereits im Vorhinein festzulegen.

Da jede Implantation individuell geplant werden muss, ist eine allgemein gültige Definition von Grenzwerten nicht möglich. Im Folgenden wird dennoch versucht, die wichtigsten Mindestwerte zu erläutern.

Bei einer Knochenhöhe von über 10 mm sowie einer Knochenbreite von mehr als 6 mm ist es in den meisten Fällen nicht notwendig, eine knochenaugmentative Maßnahme zu ergreifen (3). Jedoch kann auch bei ausreichendem Knochenangebot eine Augmentation, je nach Art der prothetischen Versorgung und der Situation des Weichgewebes (3), notwendig werden.

Welche Augmentation notwendig ist, wird durch unter anderem die Bezahnung im Gegenkiefer, dem Ausmaß der Atrophie und dem umliegenden Weichgewebe bestimmt (3).

Bei einer Implantation sollte die vestibuläre Knochenwand mindestens 1-1,5 mm breit sein (3), um die Langzeitstabilität des Implantates zu gewährleisten. Bei unzureichender vestibulärer Knochenbreite aber auch durch Druck der Lippe oder der Prothese kann es durch die geringere Dichte an Blutgefäßen und der damit verbundenen Mangelernährung des Knochengewebes zu einer Resorption der dünnen Knochenwand kommen. In weiterer Folge kann dies zu einer Weichgewebstaschenbildung (3) oder zu einer Rezession mit einhergehender ästhetischer Kompromittierung führen.

## 3.2.6 Überblick Augmentationsmaterialien

### 3.2.6.1 Autogen enoral

Bei einer autogenen Augmentation wird von der gleichen Spezies und dem gleichen Individuum Knochenmaterial gewonnen (2). Dabei wird zwischen enoralen und extraoralen Knochenentnahmen unterschieden.

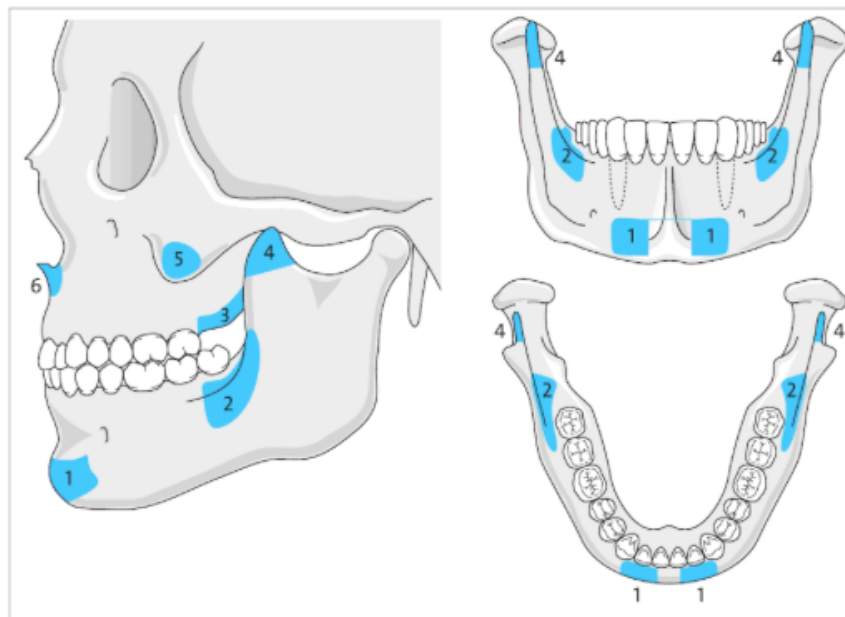


Abb. 15.19a: Intraorale Knochenentnahmeregionen. 1. Kinn, 2. retromolare Region, 3. Tuber, 4. Processus Coronoideus, 5. Crista Zygomatica, 6. Spina nasalis anterior.

Abbildung 7: Enorale Knochenentnahmestellen im Unter- und Oberkiefer (27).

Zu den enoralen, also den Stellen, die von der Mundhöhle aus für eine Knochenentnahme erreichbar sind, zählen folgende (3,27):

Im Oberkiefer stehen die Tuber maxillae, die Spina nasalis anterior und die Crista zygomatica als Entnahmestellen zur Verfügung.

Im Unterkiefer kann aus der Linea obliqua, dem retromolaren Bereich, der Symphyse und Exostosen Knochen gewonnen werden.

### 3.2.6.2 Autogen extraoral

Bei einer autogenen Augmentation aus extraoralen Spenderregionen erfolgt die Entnahme von diversen Stellen des Körpers, wie zum Beispiel für die extraoralen Entnahmestellen werden das Becken (28–31), der Tibiakopf (29,32,33) oder das Schädeldach (34) verwendet.

### **3.2.6.3 Weitere Augmentationsmaterialien**

#### Allogen

Eine allogene Knochengewinnung erfolgt bei der gleichen Spezies aber unterschiedlichen Individuen (2). Wie auch bei der autogenen Entnahme kann der Knochen entweder als ganzer Block oder zerkleinert zum Einsatz kommen. Eine mögliche Abstoßungsreaktion kann durch den Vorgang der Lyophilisierung vermindert werden. Dabei werden die antigenen Eigenschaften des Gewebes durch Gefrieren bei  $-70^{\circ}\text{C}$  und anschließender Hochdruckvakuierung verringert, die osteoinduktive Fähigkeit bleibt jedoch erhalten (35).

#### Xenogen

Von xenogenem Material spricht man, wenn das Knochenmaterial von einer anderen Spezies stammt (2), wie z.Bsp. Rinder- und Schweineknochen und in seltenen Fällen auch Pferdeknochen (36) verwendet.

Dieser kann entweder als Volltransplantat (36,37) verwendet werden oder deproteinisiert und zermahlen in der Guided Bone Regeneration (GBR) (38) Verwendung finden. Auch die xenogenen Knochenmaterialien müssen chemisch, zum Beispiel durch Demineralisierung, und thermisch vorbehandelt werden (39).

#### Alloplastisch

Es gibt auch die Möglichkeit des künstlichen Knochenersatzes (2), welcher unter dem Begriff der alloplastischen Knochenersatzmaterialien zusammengefasst wird. Hierzu gehören Materialien aus Glaskeramik, Kalziumhydroxidsuspensionen, Polymere und Kalziumphosphate (35). Letztere werden eingeteilt in Hydroxylapatite und Trikalziumphosphate. Hydroxylapatite werden nur sehr langsam von Osteoklasten abgebaut und zählen zu den nicht resorbierbaren Knochenersatzmaterialien (35). Ein Vorteil der alloplastischen Ersatzmaterialien ist, dass es zu keinen Abstoßungsreaktionen kommt. Jedoch können Abgrenzungsreaktionen auftreten (39).

Das verwendete Knochenersatzmaterial sollte idealerweise folgende Eigenschaften aufweisen (40):

- Osteokonduktiv und osteonduktiv
- Biokompatibel
- Porosität
- Belastungsstabil
- Resorbierbarkeit
- Formbar
- Steril
- Möglichkeit zur langfristigen Implantatintegration

Die Auswahl des passenden Materials erfolgt individuell je nach Defektgröße, Defektlage und Knochenqualität.

Für alle Knochenersatzmaterialien gilt, dass sie in nahezu unbegrenzter Menge zur Verfügung stehen (24), oftmals kostengünstiger, als die Operationskosten bei einer autogenen Knochenaugmentation, sind und kein zusätzliches Operationsgebiet notwendig ist. Jedoch sind diese Materialien nicht befähigt zur Osteogenese und können, mit Ausnahme der alloplastischen Variante, potenziell infektiös sein (24).

### **3.2.7 Überblick Augmentationsverfahren**

#### Knochenblocktransplantation (Auflagerungsplastik)

Bei ausgeprägter Atrophie oder Alveolarkammdefekt ist häufig eine Knochenblockaugmentation zur Kieferkammrekonstruktion notwendig.

Dabei wird zunächst die atrophe Kieferkammregion sowie die Spenderregion freigelegt. Nach Entnahme des Knochenblocks wird dieser an die Zielregion angepasst und mit Hilfe von Osteosyntheseschrauben auf den atrophien Kiefer fixiert.

#### **Präoperative Phase**

Essentiell ist bei jedem implantologischen Vorgehen eine genaue Planung und Erfassung der knöchernen Ausgangslage. Als Mittel der Wahl für die Diagnostik

dieser wird an der Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit, wenn eine Panoramaaufnahme nicht genügend Sicherheit über die Knochenquantität und -qualität geben kann, ein DVT angefertigt. Im DVT wird die Knochensituation in allen drei Raumrichtungen sowie besondere anatomische Verhältnisse wie z.Bsp. der Verlauf des N. alveolaris inferior untersucht.

Anschließend besteht die Möglichkeit im angefertigten DVT die virtuelle Planung eines oder mehrerer Implantate durchzuführen. Dem Operateur steht hierbei eine Vielfalt an Implantaten von verschiedenen Größen, Durchmessern und Herstellern zur Verfügung. Im Zuge der Planung wird auch die Notwendigkeit einer Knochenaugmentation und die dafür infrage kommenden Techniken und mögliche Entnahmestellen entschieden.

### **Operatives Vorgehen**

Folgendes operatives Vorgehen wird an der Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheit in Graz bei einer Knochenaugmentation durchgeführt. Für die Entnahme eines Knochenblockes wird ein Schnitt auf der Linea obliqua in der Länge von ca. 3-4 cm durchgeführt. Anschließend wird ein Mukoperiostlappen nach bukkal und lingual abpräpariert. Bukkal wird zum Schutz des umliegenden Weichgewebes ein Langenbeckhaken und lingual ein Raspatorium eingesetzt. Nun werden piezo-chirurgisch zwei horizontale und zwei vertikale Inzisionen im Entnahmebereich gesetzt. Die Inzisionen sollten idealerweise nur die Kompakta durchdringen, dies minimiert das Verletzungsrisiko der A. und des N. alveolaris inferior.

Im Anschluss kann der Knochenblock mit einem Knochenmeißel luxiert werden. Das Knochenblockaugmentat kann nun nach Anpassung in die zu augmentierende Regio transplantiert werden. Dort wird es entsprechend der Defektkonfiguration mit Osteosyntheseschrauben am Kieferkamm fixiert, um so eine Ruhigstellung zur ungestörten Einheilung zu ermöglichen. Sollten danach noch Areale vorhanden sind, die keinen direkten Kontakt zum Kieferkamm haben, werden diese durch Einsatz von Knochenersatzmaterial aufgefüllt und mit einer Membran abgedeckt, welche mit Titan-Pins fixiert wird. Der Wundverschluss erfolgt spannungsfrei mit Einzelknopf-, Papillen- oder Rückstichnähten.

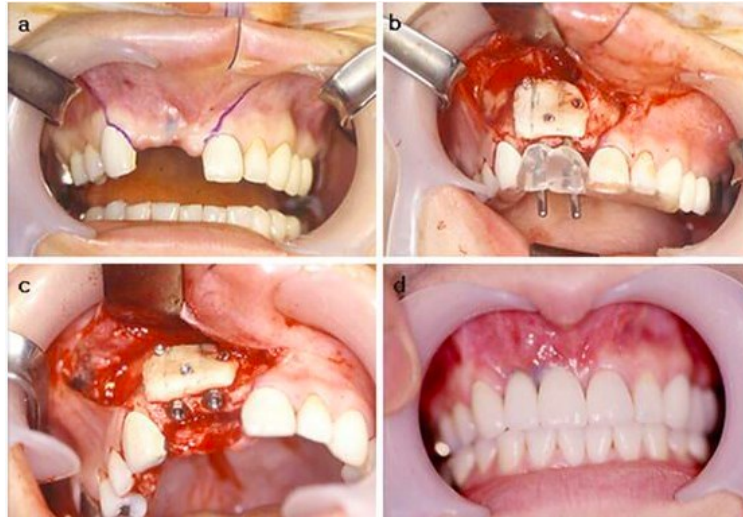


Abbildung 8: Darstellung einer autogenen Knochenblockaugmentation (41): A: Der atrope Kieferabschnitt 11-12, B: Das Knochenblocktransplantat wird mit Hilfe von Osteosyntheseschrauben aufgebracht, C: Die Implantate werden gesetzt, D: Das abgeheilte Endergebnis.

### Bone Splitting und Bone Spreading

Die Methode des Bone splittings bzw. spreadings kann bei einer Breite von 3-6 mm des Kieferkamms und gleichzeitiger Höhe von über 10 Millimeter im Oberkiefer (3) angewandt werden. Dabei besteht das chirurgische Vorgehen aus einer Spaltung und vorsichtigen Aufdehnung des Knochens mit entsprechenden Instrumenten. Anschließend wird das Implantat inseriert und der krestale Spalt mit Augmentationsmaterial aufgefüllt. Entweder kann die Implantation direkt im Anschluss in der gleichen Sitzung oder Verfahren nach circa 3 Monaten im zweizeitigen Verfahren erfolgen. Erfolgt wegen zu geringer Primärstabilität keine Implantatinseration, wird der aufgedehnte Bereich mit Augmentationsmaterial aufgefüllt.

## Sinusbodenelevation

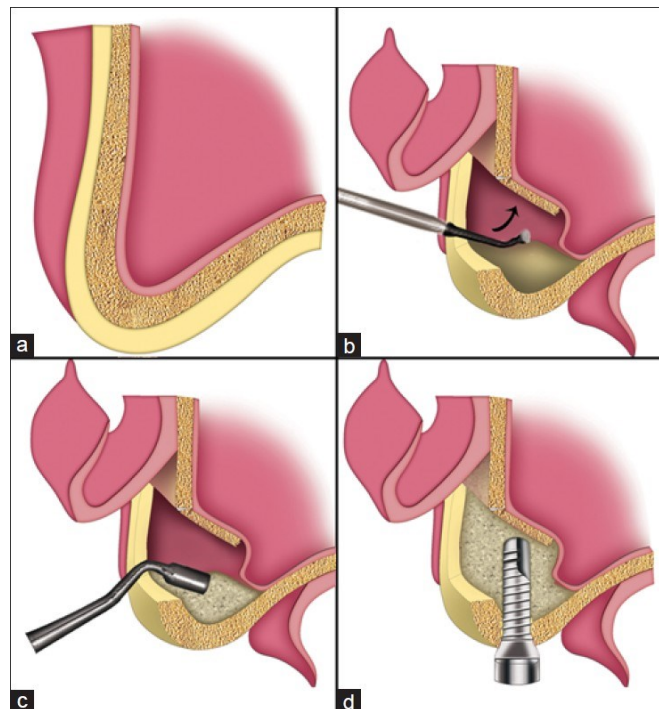


Abbildung 9: Graphische Darstellung einer Sinusbodenelevation (42):a) Vorbestehender Sinus maxillaris b) Anheben der Sinusmembran c) Auffüllen des entstandenen Zwischenraums mit verschiedenen Augmentationsmaterialien d) Inserteration des Implantates

Im Oberkiefer besteht bei einer zu geringen Knochenhöhe im Seitenzahnbereich die Möglichkeit der Sinusbodenelevation. Dadurch ist selbst bei stark atrophem Knochen eine Implantatsetzung möglich (43). Bei einer Sinusbodenelevation wird die Kieferhöhlenschleimhaut vorsichtig vom Sinusboden abpräpariert und nach kranial angehoben. Der dadurch entstandene Hohlraum, in welchem später die Implantation erfolgt, wird mit allogenen, autogenem, alloplastischem oder xenogenem Material aufgefüllt (44). Je nach Ausgangssituation kann die Implantation im Anschluss direkt, einzeitig, oder nach Einheilung des Materials, zweizeitig, erfolgen.

### Distractionsosteogenese:

Bei der Distractionsosteogenese wird ein Knochenblock luxiert, welcher in weiterer Folge durch einen Distraktor um ca. 1 mm pro Tag von der Osteotomiebasis entfernt wird (3). Dieser kontinuierlich provozierte Spalt wächst im Sinne einer Knochenheilung wieder zu. Nach mehrmaligem Wiederholen des Vorgangs entsteht fester Knochen entsprechend der Osteotomiefläche, welcher für die anschließende Implantation genutzt wird.

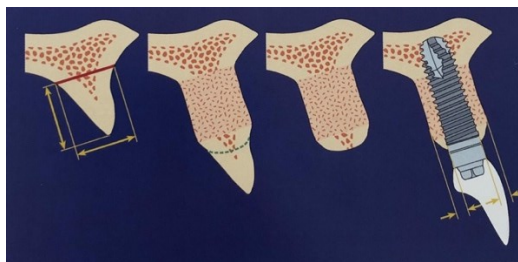


Abbildung 10: Distractionsosteogenese eines Alveolarknochens (3).

### Guided Bone Regeneration (GBR)

Bei der Guided Bone Regeneration wird der Knochendefekt mit partikulärem Augmentationsmaterial aufgefüllt und anschließend mit einer Barriere membran abgedeckt. Diese hindert das umliegende Weichgewebe am Einwachsen in den augmentierten Bereich (40). Außerdem wird durch die Membran der Knochen bzw. das Knochenersatzmaterial in Position gehalten (3).

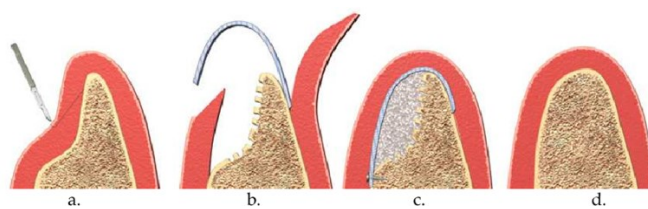


Abbildung 11: Schematische Darstellung der GBR Methode (45).

### 3.2.8 Vor- und Nachteile autogener Knochentransplantate

Die Vorteile der autogenen Knochenblockaugmentation sind vielfältig. Ein großer Vorteil ist die hohe Biokompatibilität, da somit eine Abstoßung des Augmentates unwahrscheinlicher ist als bei körperfremden Materialien. Außerdem werden durch autogene Materialien keine exogenen Infektionsquellen eingebracht (3,24).

In nachfolgender Tabelle ist ersichtlich, dass nur der autogene Knochen alle Voraussetzungen für eine erfolgreiche Einheilung vereint. Dazu gehören die Osteoinduktion, die Osteokonduktion und die Osteogenese (3). Unter der Osteokonduktion versteht man die Eigenschaft eines Materials, eine Matrix für die Neubildung des Knochens zu ermöglichen (40). Werden Zellen transplantiert, die von sich aus neuen Knochen bilden können hat das Material die Eigenschaft der Osteogenese (3) und bei der Osteoinduktion kann das Material die Knochenneubildung anregen (40).

	<b>Osteokonduktiv</b>	<b>Osteoinduktiv</b>	<b>Osteogenese</b>
<b>Autogener Knochen</b>	Ja	Ja	Ja
<b>Allogenes Knochenersatzmaterial</b>	Ja	Vielleicht	Nein
<b>Xenogenes Knochenersatzmaterial</b>	Ja	Vielleicht	Nein
<b>Alloplastisches Knochenersatzmaterial</b>	Ja	Nein	Nein

Tabelle 2: Überblick der Eigenschaften der verschiedenen Transplantatmaterialien (3).

Für die Verwendung von autogenen Knochenblocktransplantaten spricht auch die geringe Morbidität bei einer Entnahme von der Linea obliqua. Außerdem bieten kortikalen Knochenblöcken eine hohe Resorptionsstabilität.

Der zusätzlich erforderliche Eingriff im Bereich der Spenderregion für den Gewinn von Knochenmaterial ist ein Nachteil der autogenen Knochentransplantate.

Auch bei einer Entnahme aus dem Schädel, dem Schienbein oder dem Becken, entsteht ein 2. Operationssitus, welcher mit Komorbiditäten verbunden sein kann. Des weiteren zeigen extraorale Entnahmestellen, insbesondere der Tibia, eine höhere Morbidität auf (3).

Ein weiterer Nachteil der autogenen Materialien ist die eingeschränkte Verfügbarkeit. Werden künstliche Knochenersatzstoffe verwendet stehen diese unabhängig von den PatientInnen für die Augmentation zur Verfügung.

### **3.2.9 Einheilungsvorgang eines Knochentransplantates**

Kommt es zu einem Knochenbruch oder iatrogen zu Verletzungen eines Knochens wird die Knochenheilungskaskade ausgelöst. Die sekundäre Knochenheilung, ohne Stabilisierung der Bruchfragmente (46), unterscheidet sich im Grunde nicht von der bereits beschriebenen Knochenbildung. Wie auch bei sonstigen Gewebeverletzungen wird ein Blutkoagel gebildet, das zusammen mit den Zellen des Plasmas für die erste Blutstillung sorgt (3). Bereits nach Minuten bis Stunden werden pluripotente Stammzellen und Wachstumsfaktoren aktiviert (47) und zahlreiche Zytokine, besonders der TGF- $\beta$ -Gruppe (46), durch die Blutbestandteile freigesetzt. Die Zytokine sind neben der Aktivierung der Stammzellen auch für die Bildung von Gefäßen verantwortlich (46). Im weiteren Verlauf löst sich das Blutkoagel auf und wird durch Stützgewebe (3), zunächst Granulations- und dann Bindegewebe (46) ersetzt. Aus dem Bindegewebe entwickelt sich durch die desmale Ossifikation (15) zunächst ungeordnet neuer Knochen. Erst durch die Übertragung von Druckbelastungen auf den Knochen, welche durch Kaubewegungen bei der Nahrungszerkleinerung entstehen, erfolgt eine sekundäre Umstrukturierung des Knochens (3).

### **3.2.10 Transplantatprognose**

Die Transplantatprognose hängt maßgeblich von der Stabilität des Weichgewebsverschlusses, der konsequenten Ruhigstellung des Knochenblockaugmentates sowie der Größe der Kontaktfläche zum ortständigen Knochen ab. Desweiteren ist das Ausbleiben einer Infektion für die Prognose ausschlaggebend.

Bei einer Augmentation erfolgt die primäre Vaskularisierung vom Kieferknochen aus, aber auch einsprießende Blutgefäße des umliegenden Weichgewebes sind in der ersten Zeit für den Heilungsprozess förderlich (3). Wird jedoch, wie bei der GBR, eine Membran verwendet, können keine Gefäße ausgehend vom angrenzenden Weichgewebe einwachsen. Die Vaskularisierung durch den Kieferknochen erfolgt verzögert, was sich klinisch als weiße Schicht zeigt (3). In

weiterer Folge wird das nekrotische Gewebe schneller abgebaut und dadurch die Volumensreduktion beschleunigt (3). Es ist daher abzuwägen, ob der Vorteil des Resorptionsschutzes der Membran die verlangsamte Anheilung des Transplantates ausgleicht.

Ein weiterer wichtiger Punkt für die Einheilung ist der enge Kontakt zur Knochenoberfläche des Kieferkamms, die physiologischen Vorgänge werden im Kapitel der Knochenheilung erläutert. Dieser wird in den meisten Fällen durch strategisch richtig gesetzte Osteosyntheseschrauben sowie adaptieren des Augmentates an die Form des Kieferkamms erreicht.

### **3.2.11 Komplikationen und Risikofaktoren**

Das Entnehmen eines enoralen Knochenblocks als auch das Einsetzen von Implantaten birgt wie jeder andere operative Eingriffe, diverse intra- wie auch postoperative Komplikationen. Es können jedoch intraoperative Komplikationen auch postoperative Auswirkungen haben.

Ob Komplikationen während oder nach einer Operation auftreten ist unter anderem abhängig von der Art des geplanten Eingriffs und dem allgemeinen Gesundheitszustand des Patienten/der Patientin.

Zu den häufigsten Komplikationen gehören: intra- oder postoperative Blutungen, Schwellung im Operationsgebiet, Schmerzen, Rötung, Infektionen und Wundheilungsstörungen. Im Bereich des Implantates können eine Periimplantitis oder eine Perimukositis auftreten. Bei letzterer kommt es nur zu einer Entzündung des umliegenden Weichgewebe, wohingegen bei einer Periimplantitis zusätzlich ein Rückgang des Knochenniveaus zu verzeichnen ist (48).

Seltener kann es zu einer temporären oder dauerhaften Verletzung von Nervenstrukturen kommen, wodurch Sensibilitätsstörungen im jeweiligen Versorgungsgebiet auftreten können. Im Unterkiefer ist diese Gefahr besonders gegeben, wenn der Knochen über dem N. alveolaris weniger als 10 mm beträgt (3).

Ein erhöhtes Risiko für eine nicht erfolgreiche Einheilung des Knochentransplantates sowie der Implantate besteht besonders für

Patienten/Patientinnen, welche regelmäßig Nikotin konsumieren, an Diabetes mellitus leiden oder Medikamente einnehmen, welche den Knochenstoffwechsel beeinflussen, wie zum Beispiel Bisphosphonate (3).

Trotz der zahlreichen Vorteile bei der autogenen Knochenaugmentation dürfen die Komplikationen und Nebenwirkungen nicht außer Acht gelassen werden. In nachfolgender Grafik werden diese bei unterschiedlichen Entnahmestellen verglichen.

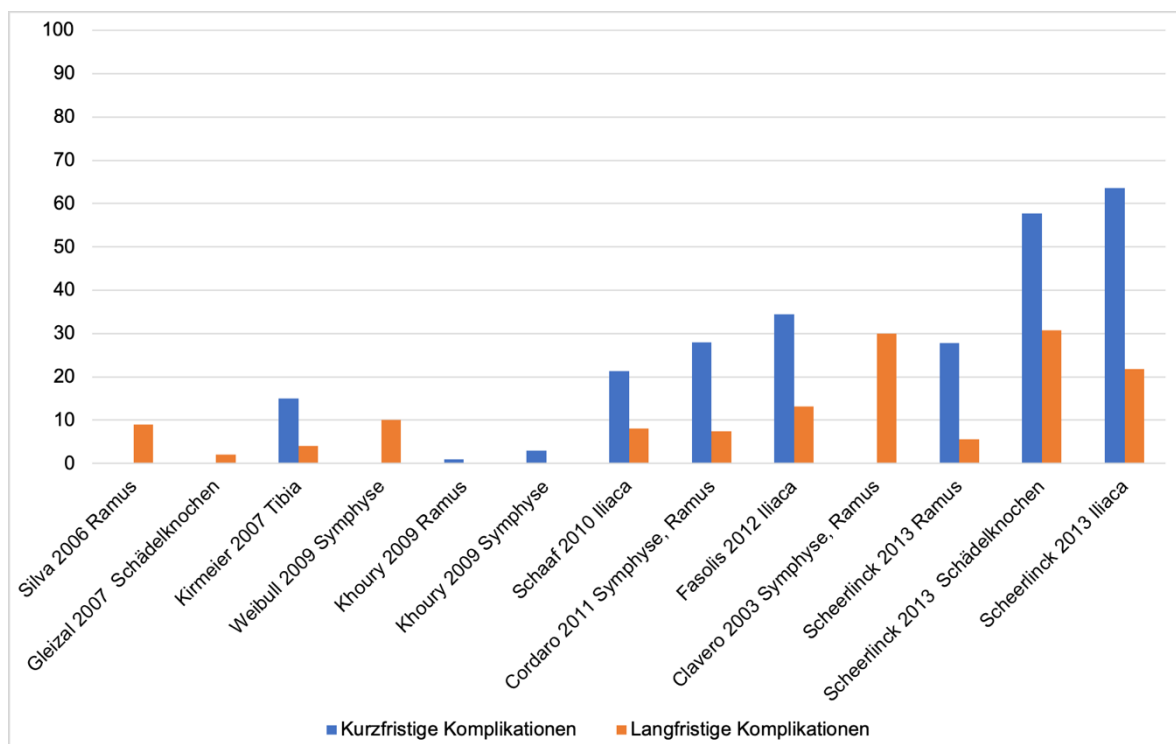


Abbildung 12: Überblick der Häufigkeit von Nebenwirkungen (NW) bei verschiedenen Augmentationsmaterialien. Quellen: Silva et al. (49), Gleizal et al. (34), Kirmeier et al. (32), Weibull et al. (50), Khoury et al. (3), Schaaf et al. (51), Coradaro et al. (52), Clavero et al. (53), Fasolis et al. (54), Scheerlinck et al. (55).

Zu beachten ist bei dieser Darstellung jedoch, dass nicht bei jeder Studie beide Zeitpunkte angegeben werden. Zu den kurzfristigen Nebenwirkungen zählen Blutungen, Schwellungen und insbesondere Schmerzen. Laut Khoury (3) traten bei Entnahme aus dem Bereich des Ramus mehr postoperative Symptome als bei einer Entnahme aus der Symphyse auf. Jedoch waren die Komplikationen im Bereich des Ramus primäre Wundheilungsstörungen, bei der Symphyse kam es neben Wunddehiszenzen auch zu apikalen Reaktionen von Dentes canini des

Unterkiefers sowie zu einer Fraktur, welcher noch intraoperativ behandelt wurde (3).

Bei den langfristigen Nebenwirkungen werden vor allem Sensibilitätsstörungen erfasst. Diese treten besonders häufig bei einer Entnahme aus dem Bereich der Symphyse auf (50,52,53). So fanden sich bei Cordaro (52) bei einer Entnahme im Bereich der Symphyse 13% Sensibilitätsstörungen, bei einer Entnahme aus dem Ramus nur 2,3%. Der relativ hohe Prozentsatz an Langzeitfolgen bei der Augmentation von Schädelknochen durch Scheerlinck (55) lässt sich auf anhaltenden Schwindel (2 von 26 Personen), Schmerzen (4 von 26 Personen) und eine bleibende Alopezie (1 von 26 Personen) zurückführen.

### **3.2.12 Grundlagen der Implantation**

#### **3.2.12.1 Osseointegration nach Implantation**

In der Implantologie unterscheidet man zwischen gedeckter und offener Einheilung. Bei der geschlossenen Variante wird nach Einbringen des Implantates die Schleimhaut darüber verschlossen. Im Gegensatz dazu besteht bei der offenen Einheilung Kontakt zwischen dem Implantat und der Mundhöhle (56,57).

Unabhängig davon welcher Modus gewählt wird, erfolgt im Bereich der speziell aufbereiteten Oberfläche des Implantates die Osseointegration. Darunter versteht man einen Verbund von Funktion und Struktur zwischen der Implantatoberfläche und dem umgebenden Knochen (4).

Bei der Implantateinheilung wird zwischen der Kontaktosteogenese und der Distanzosteogenese unterschieden, welche idealerweise parallel ablaufen (58). Beide Arten haben gemein, dass es zunächst zu einer Hämatombildung und Entzündung im Bereich des eingebrachten Implantates kommt, durch welche diverse Zytokine und pluripotente Stammzellen für die Knochenheilung ausgeschüttet werden (59).

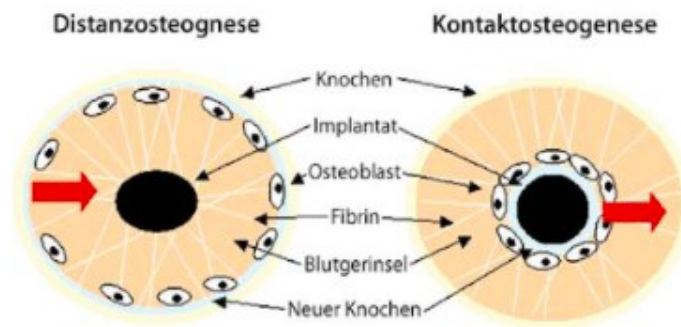


Abbildung 13: Distanz- und Kontaktosteogenese nach Davis (60). Der rote Pfeil stellt die Richtung der Knochenneusynthese dar (59).

Bei der Distanzosteogenese bildet sich der neue Knochen an der Oberfläche des alten Knochens (60). Die Knochenbildung findet hier in einem gewissen Abstand zum Implantat statt und verläuft in Richtung des Implantates (59).

Die Knochenbildung bei der Kontaktosteogenese erfolgt an der Oberfläche des Implantates, nachdem sich Knochenzellen dort angelagert haben (60). Die Knochenneubildung verläuft vom Implantat in Richtung des vorbestehenden Knochens (59).

Das Blutkoagulum wird von Gefäßen durchwachsen und das so gebildete Granulationsgewebe wird nach und nach durch Geflechtknochen ersetzt. Dies erfolgt bereits zwei Wochen nach Setzen des Implantates und im weiteren Verlauf wird der Geflechtknochen zu lamellärem Knochen umgebaut (4). Für diesen Knochenumbau sind andauernde Druckkräfte zwischen dem Implantat und dem umliegenden Knochen notwendig (61).

In der ersten Phase der Einheilung ist die Primärstabilität des gesetzten Implantates eine wichtige Basis für die weitere knöcherne Einheilung. Unter dem Begriff der Primärstabilität versteht man in der Implantologie die Anpressung des Implantates gegen den Knochen (27). Diese, von Beginn an bestehende Festigkeit eines Implantates, wird durch die Tatsache erreicht, dass der Bohrkanal geringgradig kleiner ist als das einzubringende Implantat.

Mit dem Beginn der Wundheilung zwischen Implantat und Knochen kommt es zu Knochenumbauvorgängen, welche eine Sekundärstabilität des Implantates bewirken (27).

### 3.2.12.2 Erfolgsrate/ Überlebensrate/ Recall

Entscheidend für die erfolgreiche Einheilung und damit die Lebensdauer eines Implantates ist neben der makroskopischen Form auch die Oberflächenbeschaffenheit. Nach der Insertion kommt es durch Wechselwirkungen der Implantatoberfläche mit Serumproteinen zur Anlagerung dieser an das Implantat. In der Folge bilden diese Proteine die Grundlage zur Anhaftung der Zellen (59). Wie gut sich die Moleküle anlagern hängt unter anderem von der Rauigkeit, der Ladung und der chemischen Bestandteile der Implantatoberfläche ab (59).

In der nachfolgenden Grafik sind die Überlebensraten von Implantaten nach Durchführung von Knochenaugmentationen mit unterschiedlichen Materialien dargestellt.

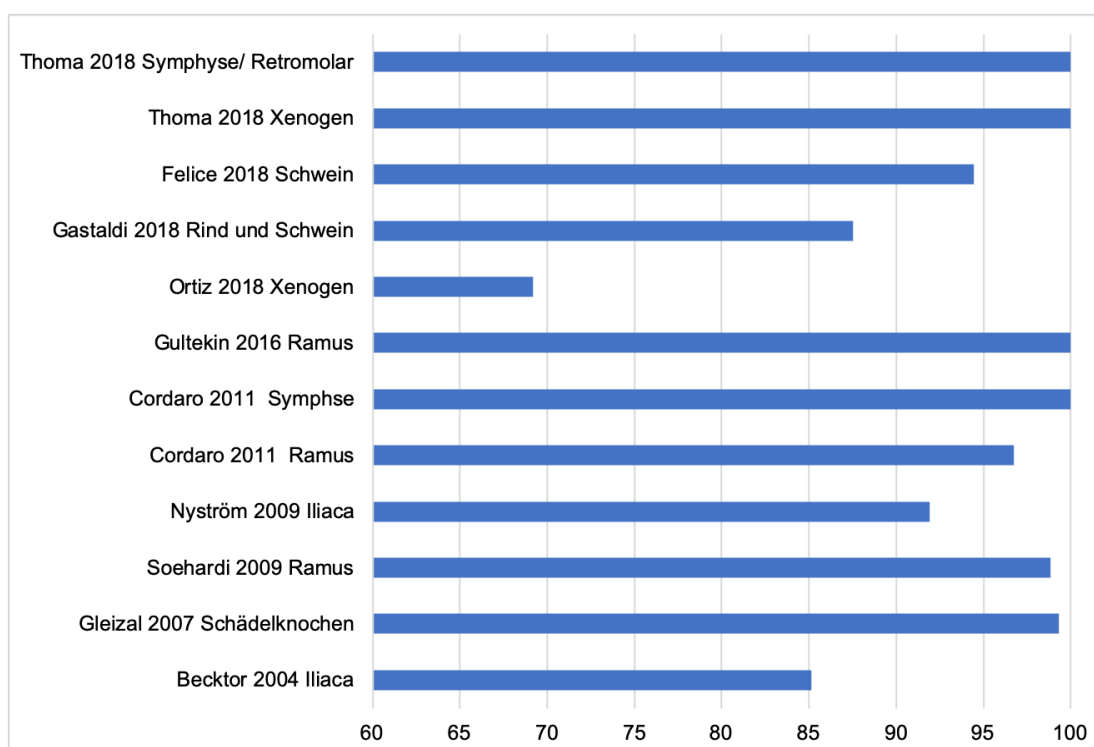


Abbildung 14: Überlebensrate von Implantaten in Prozent bei verschiedenen Augmentationsmaterialien. Quellen: Becktor et al. (31), Gleizal (34), Soehardi et al. (62), Nyström et al. (29), Cordaro et al. (52), Gultekin et al. (38), Ortiz et al. (63), Gastaldi et al. (37), Felice et al. (36), Thoma et al. (64).

Neben einigen 100% Überlebensraten (38,52,64) zeigen sich besonders bei nicht autogenen Augmentationsmaterialien niedrigere Raten. So schneidet Ortiz (63) mit einer Überlebensrate von 69% vergleichsweise schlechter ab. Er verwendete

einen xenogenen Block, der durch Schrauben am Knochenkamm befestigte wurde, und zusätzlich deproteinisierte Rinderknochen und eine Kollagenmembran. Ein möglicher Grund für das schlechte Ergebnis von Becktor (31) sind die erschwerten Ausgangslage bei den behandelten PatientInnen, da jeder Patient/ jede Patientin eine Resorptionsklassen von 5 bzw. 6 nach Atwood aufwies. Nyström (29) erzielte im Durchschnitt eine Überlebensrate von 92%, bei den Rauchern/ RaucherInnen hingegen waren es nur 87,6%. Dies ist nicht verwunderlich, denn wie schon erläutert ist der Nikotinabusus einer der größte Risikofaktor für vorzeitigen Zahnverlust und reduziert die Wundheilungsfähigkeit insbesondere der Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle (3). Für den Langzeiterfolg von Implantaten und zur Vermeidung einer Periimplantitis sind regelmäßige Nachuntersuchungen inklusive Anfertigen von Kontrollröntgen und Durchführen von regelmäßigen professionellen Zahnreinigungen, sowie eine entsprechende häusliche Mundhygiene, ausschlaggebend.

## **4 Material und Methoden**

### ***4.1 PatientInnenkollektiv***

Das PatientInnenkollektiv ergibt sich aus allen behandelten Personen, welche von 2000 – 2017 eine autogene Knochenblockaugmentation mit anschließender Implantattherapie an der klinischen Abteilung für orale Chirurgie und Kieferorthopädie der Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheits von Univ.-Prof. DDr. Norbert Jakse erhalten haben. Von diesen 74 PatientInnen erklärten sich 49 PatientInnen mit insgesamt 91 Implantaten zu einer Nachtuntersuchung bereit.

### ***4.2 Auswertungsparameter***

#### **4.2.1 Implantat in Situ und in Funktion- Hauptzielgröße**

Die Hauptzielgröße in dieser Studie ist die Überlebensrate, welche hier definiert ist als die Rate der Implantate in Situ und in Funktion.

#### **4.2.2 Nebenzielgrößen**

Sondierungstiefe

Diese wird mittels Parodontalsonde an vier Stellen je Implantat gemessen: mesiobukkal, distobukkal, mesiolingual und distolingual. Für die statistische Auswertung wird der Mittelwert dieser vier Einzelwerte errechnet. Die Sondierungstiefe gibt Auskunft über die periimplantären Verhältnisse. Bei niedrigen Werten und somit straff anliegender Schleimhaut am Implantat kann von gesunden Verhältnissen ausgegangen werden (25).

### Bleeding on probing (BOP)

Dieser Parameter beschreibt die klinische Untersuchung der umliegenden Weichgewebe, des Implantates bzw. des Zahnes auf Inflammation. Diese Messung erfolgt an vier Stellen um das Implantat bzw. um den Zahn. An jeder Stelle wird bewertet, ob eine Blutung vorhanden ist. Tritt eine Blutung auf, ist von einer lokalen Entzündung des Weichgewebes auszugehen, die auch mit Knochenabbau einhergehen kann.

### Radiologische Vermessung

Zur Messung des krestalen Knochenniveaus werden Kleinbilder in der Rechtwinkeltechnik vom medizinischen Röntgenpersonal an der Universitätsklinik für Zahnmedizin und Mundgesundheits angefertigt. Diese werden anschließend vermessen und ausgewertet.

### Rezessionen

Die Rezession ist ein klinischer Parameter, welcher den Grad des Weichgewebserückganges beschreibt. Gemessen wird dabei, mit einer Parodontalsonde mit kontinuierlicher Millimetermarkierung, der Abstand zwischen dem Oberrand der Gingiva und der Schmelzzementgrenze beim Zahn bzw. der Implantatschulter beim Implantat.

### Periotestwerte

Der Periotest M<sup>®</sup> der Firma Gulden ist ein medizinisches Instrument, mit dem es möglich ist die Osseointegration eines Implantates zu überprüfen (65). Die Periotestwerte lassen sich wie folgt unterteilen:

<b>Periotestwerte</b>	<b>Osseointegration</b>	<b>Implantatbelastung</b>
<b>-8 bis 0</b>	Gut	Ja
<b>+1 bis +9</b>	Klinische Überprüfung	Meist nicht möglich
<b>+10 bis +50</b>	Nicht ausreichend	Nein

Tabelle 3: Periotest-Werte und ihre Bedeutung (65).

### Pink Esthetic score

Mit dem Pink Esthetic score wird anhand von sieben Kategorien das periimplantäre Weichgewebe bewertet. Die Punkteanzahl kann sich zwischen 0-14 Punkten belaufen. Je höher die Punktezahl, desto ästhetischer und natürlicher das Ergebnis.

<b>Kategorien</b>	<b>Zusatz Jeweils gegen Referenz Zahn</b>	<b>0 Punkte</b>	<b>1 Punkt</b>	<b>2 Punkte</b>
<b>Mesiale Papille</b>	Form	Nicht ausgebildet	Unvollständig ausgebildet	Vollständig ausgebildet
<b>Distale Papille</b>	Form	Nicht ausgebildet	Unvollständig ausgebildet	Vollständig ausgebildet
<b>Höhe Weichteil- ränder</b>	Gingivakontur: Höhe des Bogens im Vergleich zum korrespondierenden Zahn oder in der Harmonie	Große Diskrepanzen >2 mm	Geringe Diskrepanzen 1-2 mm	Keine Diskrepanzen < 1mm
<b>Kontur Weichgewebe</b>	Gingivakontur: Verlauf, ästhetischer Eindruck, Natürlichkeit	Unnatürlicher Verlauf	Mäßig natürlicher Verlauf	Natürlicher Verlauf
<b>Alveolarer Prozess/ Knöchernes Defizit</b>	Mangel an alveolarem Prozess	Offensichtlich erkennbar	Leicht erkennbar	Nicht erkennbar
<b>Farbe Weichgewebe</b>	Farbe	Offensichtliche Differenzen	Geringe Differenzen	Keine Differenzen
<b>Textur Weichgewebe</b>	Textur	Offensichtliche Differenzen	Geringe Differenzen	Keine Differenzen

Tabelle 4: Pink Esthetic score nach Fürhauser (66).

### Nikotinkonsum

Der Konsum von Nikotin stellt einen der häufigsten Gründe für einen frühzeitigen Zahn- bzw. Implantatverlust dar, da die enthaltenen Giftstoffe im Tabakrauch zu einer verminderten Perfusion des Weichgewebes führen können (3).

Die Erhebung des Nikotinkonsums der PatientInnen erfolgte in 4 Klassen:

Klasse 0: Kein Nikotinkonsum

Klasse 1: unter 10 Zigaretten je Tag

Klasse 2: 10 bis 20 Zigaretten je Tag

Klasse 3: Über 10 Zigaretten je Tag

### Art der Restauration

Die Versorgung mit Implantaten ist sowohl mit festsitzenden als auch mit abnehmbaren Lösungen möglich. Welche Versorgung zum Einsatz kommt, ist vom Betroffenen und der jeweiligen Situation abhängig und kann Einfluss auf die Hygienefähigkeit und somit den Langzeiterfolg haben. Es erfolgt eine Einteilung in folgende drei Gruppen: Brückenprothetische Versorgung (BP), Einzelzahnkronen (EZK) und verblockte Kronen (VBK).

### Quality of Life- Fragebogen:

Die Erhebung dieses Scores erfolgt anhand des Oral Health Impact Profile-Germany Fragebogens (OHIP-G 14), dieser ermittelt über einen standardisierten Fragebogen die mundgesundheitsbezogene subjektive Lebensqualität bei Erwachsenen (67). Die Gesamtpunkteskala reicht von 0 bis 56 Punkte. Je niedriger die Punktezahl, desto zufriedener ist der/ die Patient/in in Bezug auf die subjektive Mundgesundheit.

<b>Hatten Sie im vergangenen Monat aufgrund von Problemen mit Ihren Zähnen, im Mundbereich oder mit Ihrem Zahnersatz ...</b>	<b>sehr oft</b>	<b>oft</b>	<b>ab und zu</b>	<b>kaum</b>	<b>nie</b>
Schwierigkeiten bestimmte Worte auszusprechen?	4	3	2	1	0
das Gefühl, Ihr Geschmackssinn war beeinträchtigt?	4	3	2	1	0
den Eindruck, dass Ihr Leben ganz allgemein weniger zufriedenstellend war?	4	3	2	1	0
Schwierigkeiten zu entspannen?	4	3	2	1	0
<b>Ist es im vergangen Monat aufgrund von Problemen mit Ihren Zähnen, im Mundbereich oder mit Ihrem Zahnersatz vorgekommen, ...</b>	<b>sehr oft</b>	<b>oft</b>	<b>ab und zu</b>	<b>kaum</b>	<b>nie</b>
dass Sie sich angespannt gefühlt haben?	4	3	2	1	0
dass Sie Ihre Mahlzeiten unterbrechen mussten?	4	3	2	1	0
dass es Ihnen unangenehm war, bestimmte Nahrungsmittel zu essen?	4	3	2	1	0
dass Sie anderen Menschen gegenüber eher reizbar geweser	4	3	2	1	0
dass es Ihnen schwergefallen ist, Ihren alltäglichen Beschäftigungen nachzugehen?	4	3	2	1	0
dass Sie vollkommen unfähig waren, etwas zu tun?	4	3	2	1	0
dass Sie sich ein wenig verlegen gefühlt haben?	4	3	2	1	0
dass Ihre Ernährung unbefriedigend gewesen ist?	4	3	2	1	0
<b>Hatten Sie im vergangenen Monat ....</b>	<b>sehr oft</b>	<b>oft</b>	<b>ab und zu</b>	<b>kaum</b>	<b>nie</b>
Schmerzen im Mundbereich?	4	3	2	1	0
ein Gefühl der Unsicherheit im Zusammenhang mit Ihren Zähnen, Ihrem Mund oder Ihrem Zahnersatz?	4	3	2	1	0

Abbildung 15: OHIP-G 2014

## 5 Ergebnisse – Resultate

### 5.1 Statistik

Für die statistische Auswertung wurde das SPSS Statistics 25 verwendet. Es wurde ein Mindestsignifikanzniveau von  $p < 0,05$ , welches dem alpha Fehler entspricht, festgelegt. Die statistische Signifikanz wurde mittels der einfaktoriellen Varianzanalyse, dem Chi-Quadrat Test und dem T-Test durchgeführt.

Im Folgenden wird immer wieder der Begriff der „Standardabweichung“, bzw die Fügung „in Form von  $\pm$ “, verwendet. Diese sind in der Statistik ein Maß für die Streuung der Daten um den Mittelwert.

### 5.2 PatientInnenbezogene Eigenschaften

Von den insgesamt 74 eingeschlossenen PatientInnen stellten sich 49 PatientInnen mit 91 Implantaten zum Nachuntersuchungstermin vor, was eine Drop-out-Quote von 33,8% (25 PatientInnen) entspricht.

Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Anzahl von 1,84 Implantaten pro Patient/ Patientin.

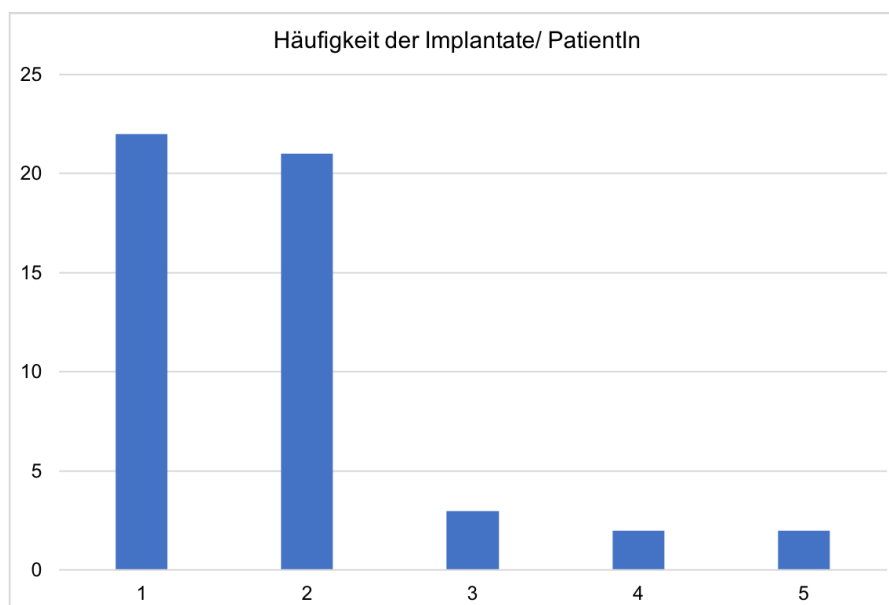


Abbildung 16: Anzahl der Implantate je PatientIn.

Die überwiegende Mehrheit der PatientInnen erhielt ein (22 Untersuchte) oder zwei (21 Untersuchte) Implantate.

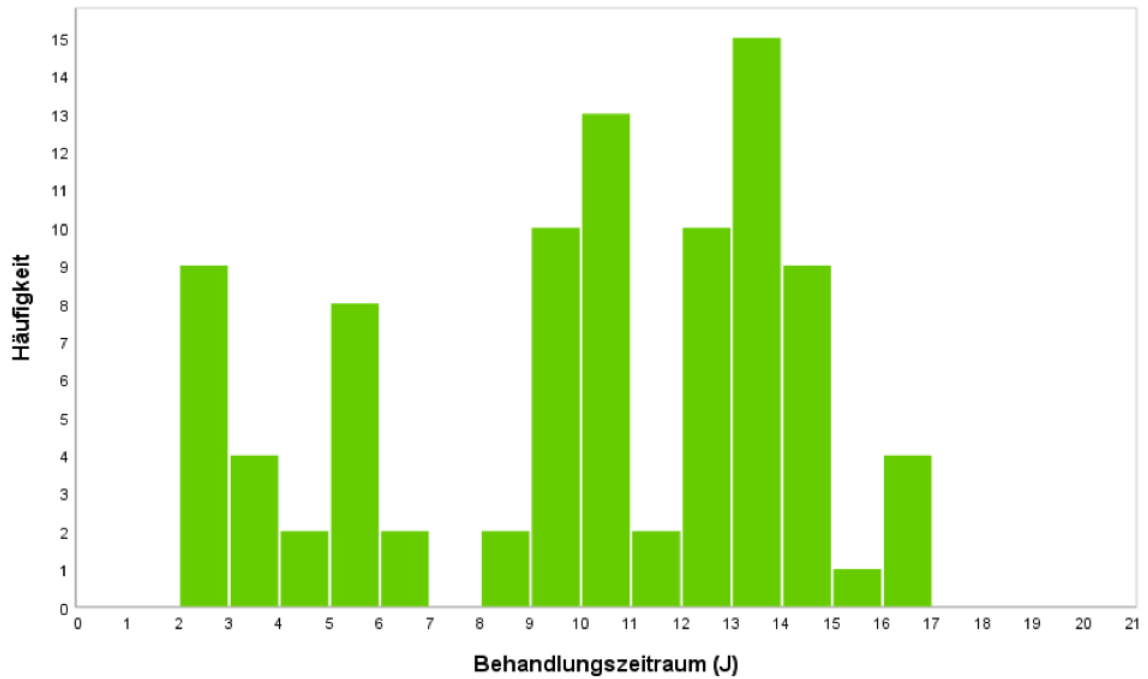


Abbildung 17: Graphische Darstellung des Behandlungszeitraumes.

Das Nachuntersuchungsintervall umfasste im Mittel 10 Jahre (120 Monate) mit einer SD von  $\pm 4,19$  Jahren. Der kürzeste Beobachtungszeitraum lag bei 2 Jahren und 3 Monaten, der längste bei 16 Jahren und 8 Monaten.

Die Mehrzahl der Implantate wurde nach 11-15 Jahren nachuntersucht. Nur 5 Implantate bei 5 unterschiedlichen PatientInnen wurden nach einem Beobachtungszeitraum von über 15 Jahren überprüft.

## Alters- und Geschlechtsverteilung

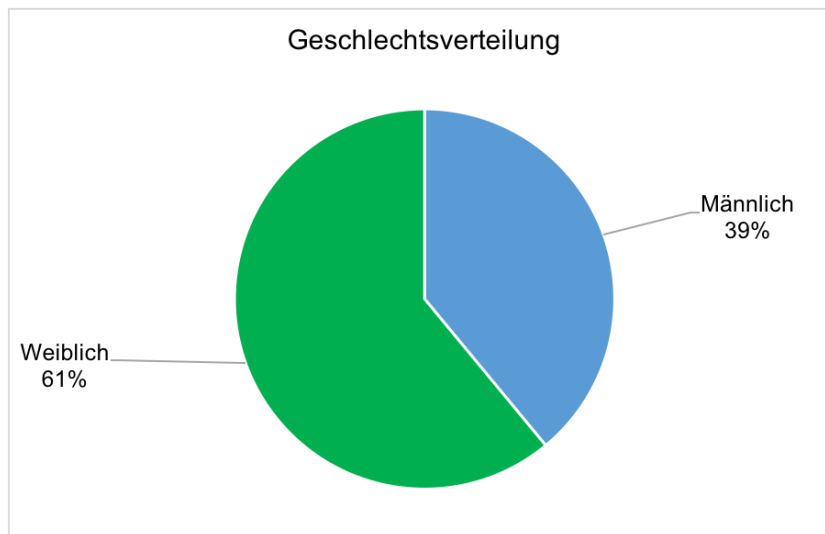


Abbildung 18: Geschlechtsverteilung der Untersuchungspopulation.

Von den 49 Untersuchten sind 19 männlich und 30 weiblich.

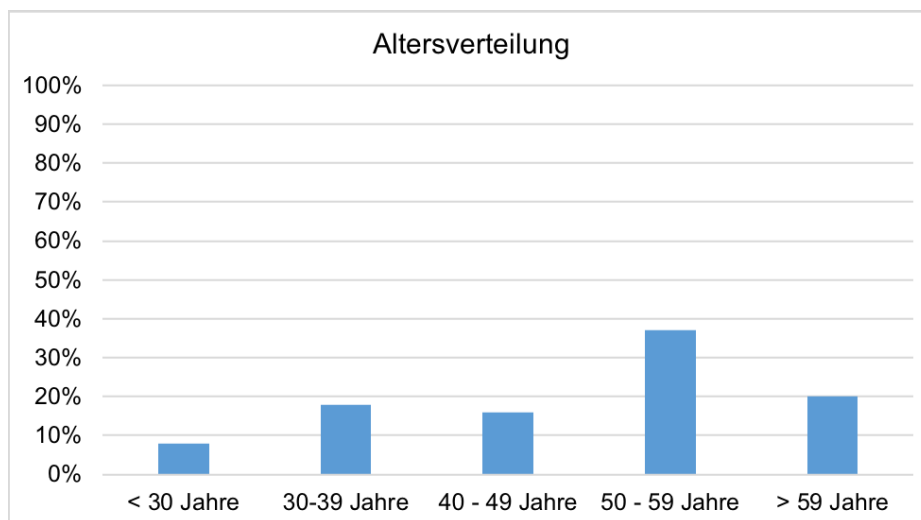


Abbildung 19: Altersverteilung der Untersuchungspopulation in Jahren.

Zum Untersuchungszeitpunkt ergab sich oben dargestellte Altersverteilung. Die meisten PatientInnen (37%) waren zwischen 50 und 59 Jahren alt (18 Befragte). Lediglich 4 Personen waren jünger als 30 Jahre. Über 59 Jahre alt waren zum Erhebungszeitpunkt 20% (10 Personen).

### 5.3 Implantatbezogene Eigenschaften

Implantatdurchmesser (%)

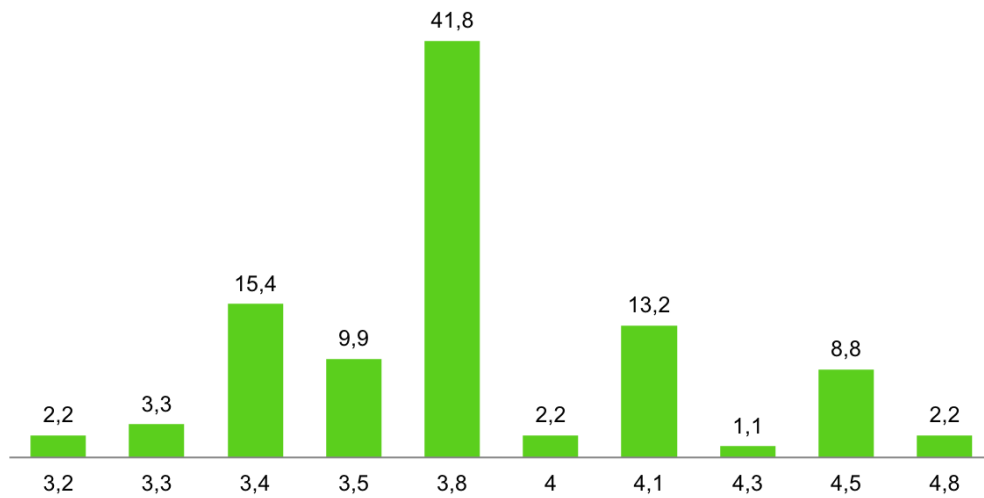


Abbildung 20: Graphische Darstellung der Implantatdurchmesser.

Implantatlänge (%)

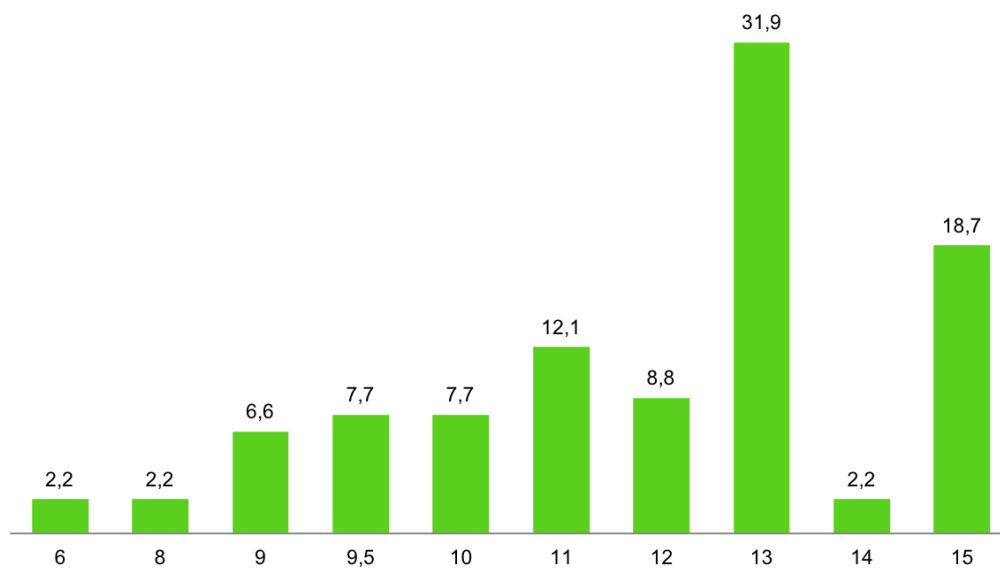


Abbildung 21: Graphische Darstellung der Implantatlänge.

Wie in der graphischen Darstellung ersichtlich misst ein Großteil der verwendeten Implantate 3,8 mm (41,8%) im Durchmesser und 13 mm (31,9%) in der Länge.

<b>Implantattyp</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent</b>
<b>Xive</b>	36	39,6
<b>Frialit</b>	23	25,3
<b>Straumann</b>	17	18,7
<b>Astra</b>	10	11,0
<b>Ankylos</b>	3	3,3
<b>Camlog</b>	2	2,2

Tabelle 5: Verwendete Implantathersteller in Anzahl und Prozent.

Vergleicht man die Häufigkeit der verwendeten Implantatsysteme, so ergibt sich folgende Reihung: Am öftesten wurden Implantate der Firma Xive (39,6%) verwendet, an zweiter Stelle rangiert die Firma Frialit (25,3%), gefolgt von Straumann mit 18,7 %. Die Implantate der Firmen Ankylos (3,3%) und Camlog (2,2%) wurden nur sehr selten verwendet.

### Lokalisationen (%)

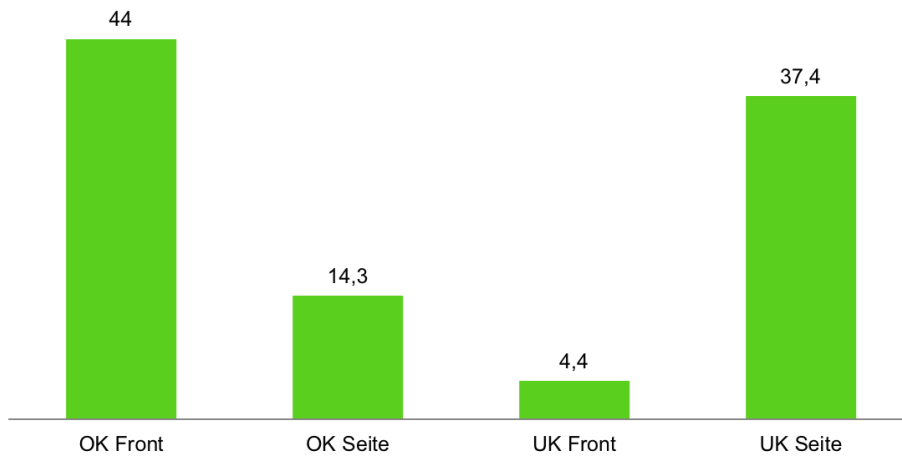


Abbildung 22: Lokalisation der Implantate im Oberkiefer (OK) und Unterkiefer (UK).

Im Oberkiefer wurden 53 (58%) und im Unterkiefer 38 (42%) Implantate inseriert. Davon wurde der Großteil in die Oberkieferfront, 44%, als auch in den Unterkiefer-Seitzahnbereich mit 37,4 % implantiert. Der Frontbereich umfasst dabei alle Zähne von 13 bis 23 bzw. von 33 bis 43. Der Seitzahnbereich wird ab der 4er Position gewertet.

### Lokalisationen (n)

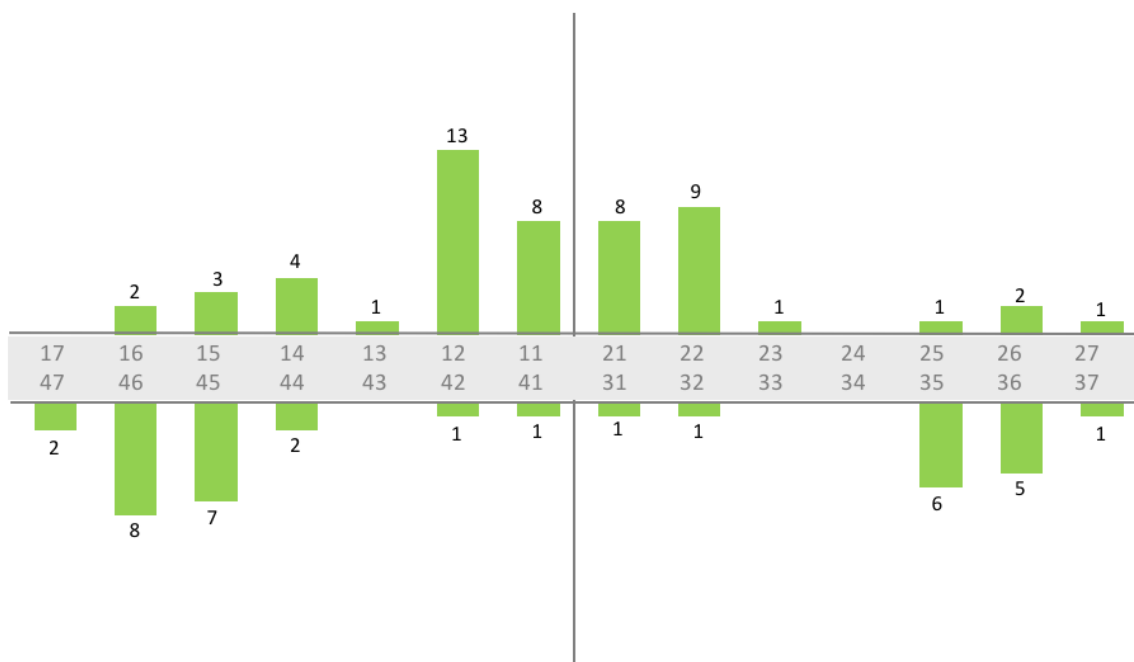


Abbildung 23: Genaue Lokalisationen der Implantate.

#### 5.4 Hauptzielgröße: Implantate in Situ und in Funktion

Jedes der 91 Implantate erfüllt zum Untersuchungszeitpunkt seine Funktion. Es kam zu keinem Implantatverlust. Dies entspricht einer Überlebensrate von 100%.

#### 5.5 Nebenzielgrößen

##### Sondierungstiefe

Die Sondierungstiefe beläuft sich im Mittel auf  $2,83 \pm 1,11$  mm. Die minimal gemessene Sondierungstiefe ist 1,0 mm, die höchste 6,5 mm.

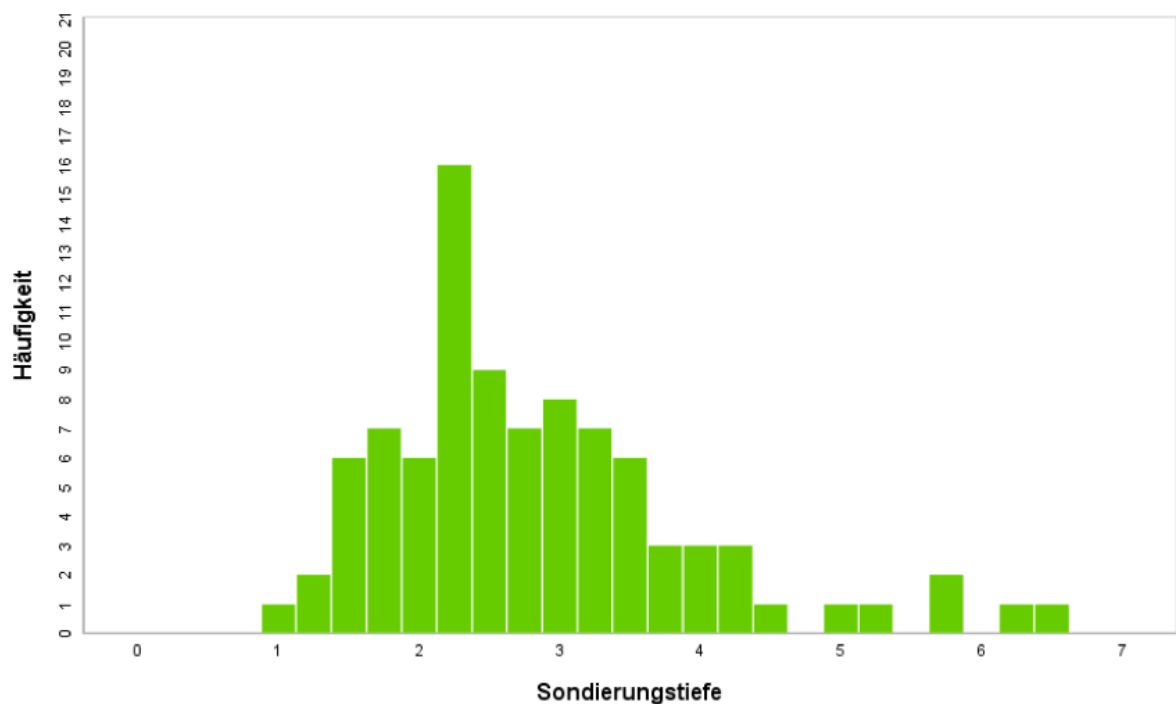


Abbildung 24: Graphische Darstellung der Sondierungstiefe in Millimeter.

Bei einem Großteil der Implantate wurden Sondierungstiefen zwischen 1,5 bis 3,5 mm gemessen. Nur in Einzelfällen kam es zu Tiefen von 5 mm oder mehr.

## Periotest

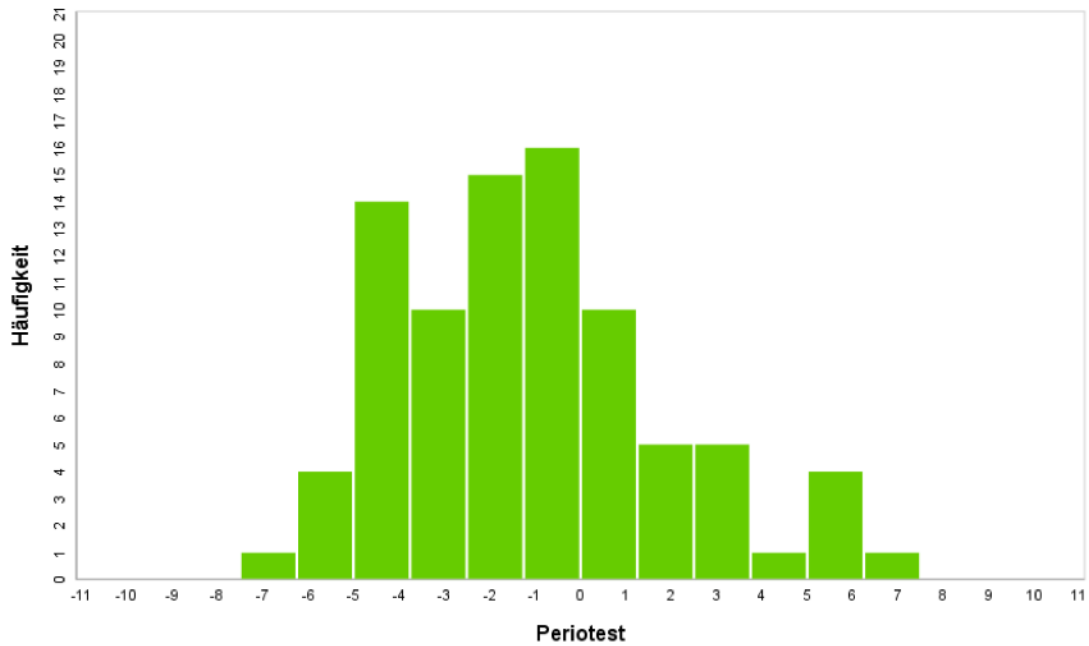


Abbildung 25: Graphische Darstellung der Ergebnisse des Periotests.

Bei 86 von 91 Implantaten war eine Messung der Periotestwerte möglich, diese belaufen sich im Mittel auf  $-1,19 \pm 2,97$ . Bei einem Periotestwert kleiner als 1 kann von einer guten Osseointegration ausgegangen werden. Bei einem Großteil der gesetzten Implantate (81,4 %) wurden Werte in diesem Bereich gemessen.

Werden in der Punkteskala Werte zwischen einem und neun Punkten erreicht, muss eine klinische Überprüfung erfolgen. Über 9 Punkten ist die Osseointegration nicht erfolgt und eine Implantatbelastung nicht möglich. Bei keinem der Implantate wurden Werte über 9 gemessen, jedoch fallen 16 Implantate in den Bereich der klinischen Überprüfung.

## Radiologischer Knochenabbau

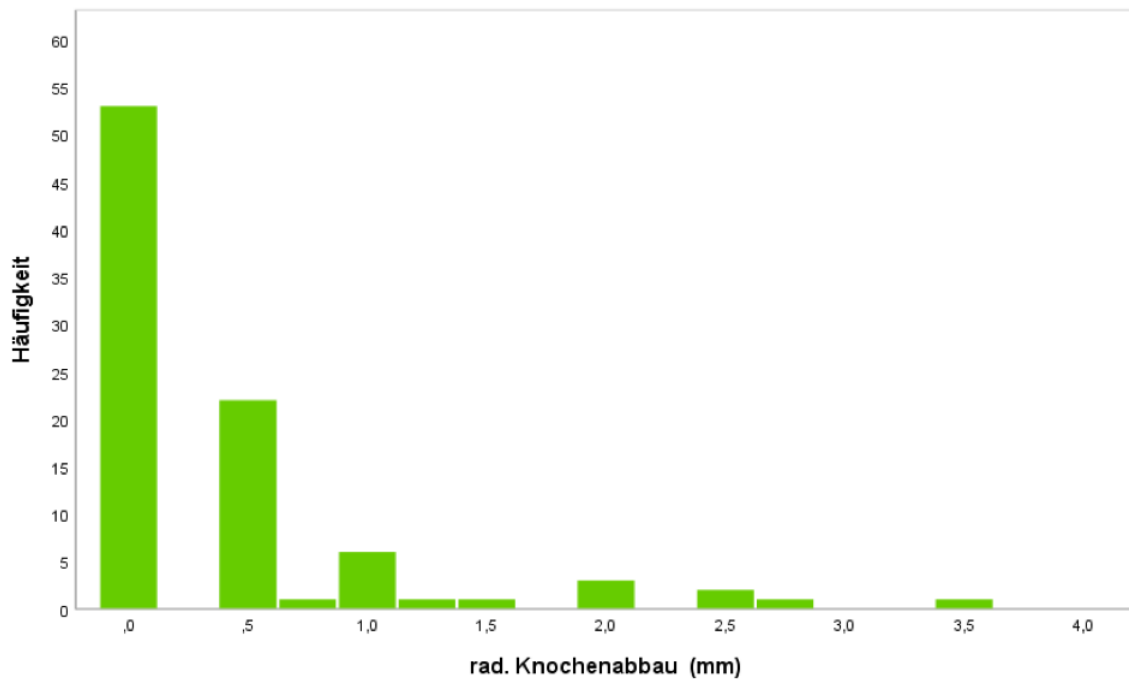


Abbildung 26: Graphische Darstellung des radialen Knochenabbaus in Millimeter.

Der gemessene radiologische Knochenabbau belief sich im Mittel auf  $0,42 \pm 0,7$  mm, mit einem minimalen Wert von 0,0 mm und einem maximalen Knochenabbau von 3,5 mm.

## OHIP-G

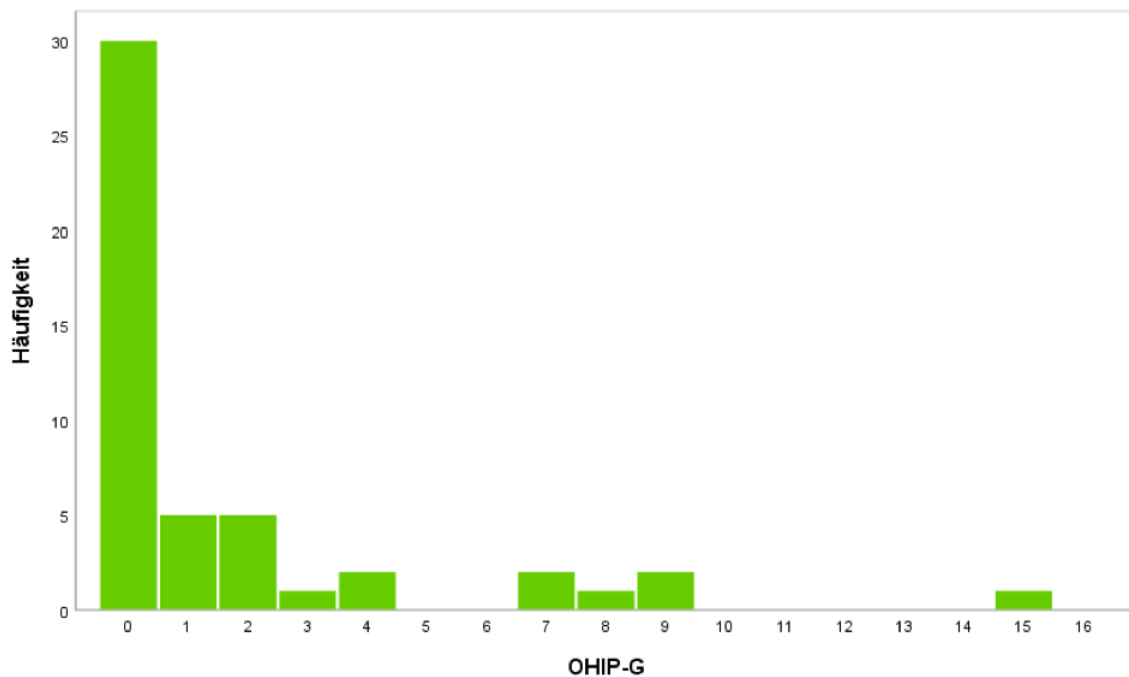


Abbildung 27: Graphische Darstellung des OHIP-G.

Die Befragten gaben im Mittel 1,65 Punkte mit einer Standardabweichung von 2,17 Punkten an. Wie aus der Graphik ersichtlich hat ein Großteil der Befragten (30 PatientInnen) einen OHIP-G von 0 Punkten angegeben. Nur sehr vereinzelt wurden mehr als 3 Punkte angegeben.

### Pink Esthetic Score

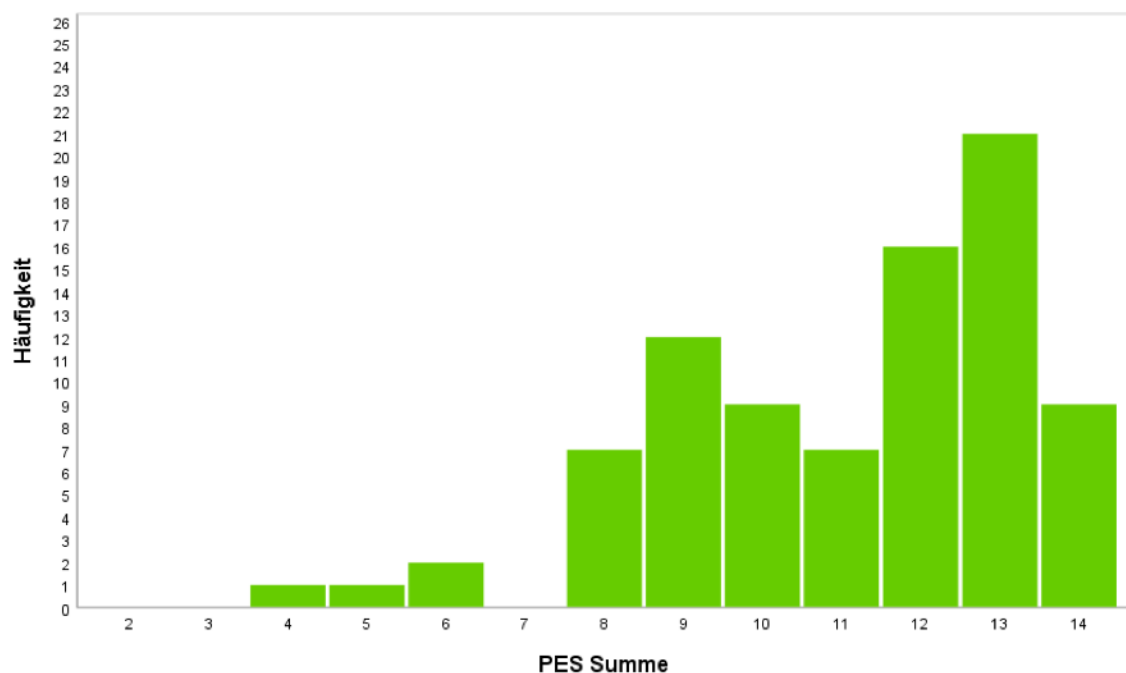


Abbildung 28: Graphische Darstellung des Pink Esthetic Score.

In dieser Bewertung wurden minimal 4 und maximal 14 Punkte gemessen. Bei 7 Implantaten konnte kein PES beurteilt werden. Im Durchschnitt ergibt sich demnach bei 84 Implantaten eine Punktezahl von  $11,17 \pm 2,19$  Punkten. Der Großteil der Werte (95,24%) erreichte dabei über/ oder 8 Punkte. Nur bei 4,76% (4 Implantate) der Implantate wurden unter 8 Punkte gemessen.

## Rezession

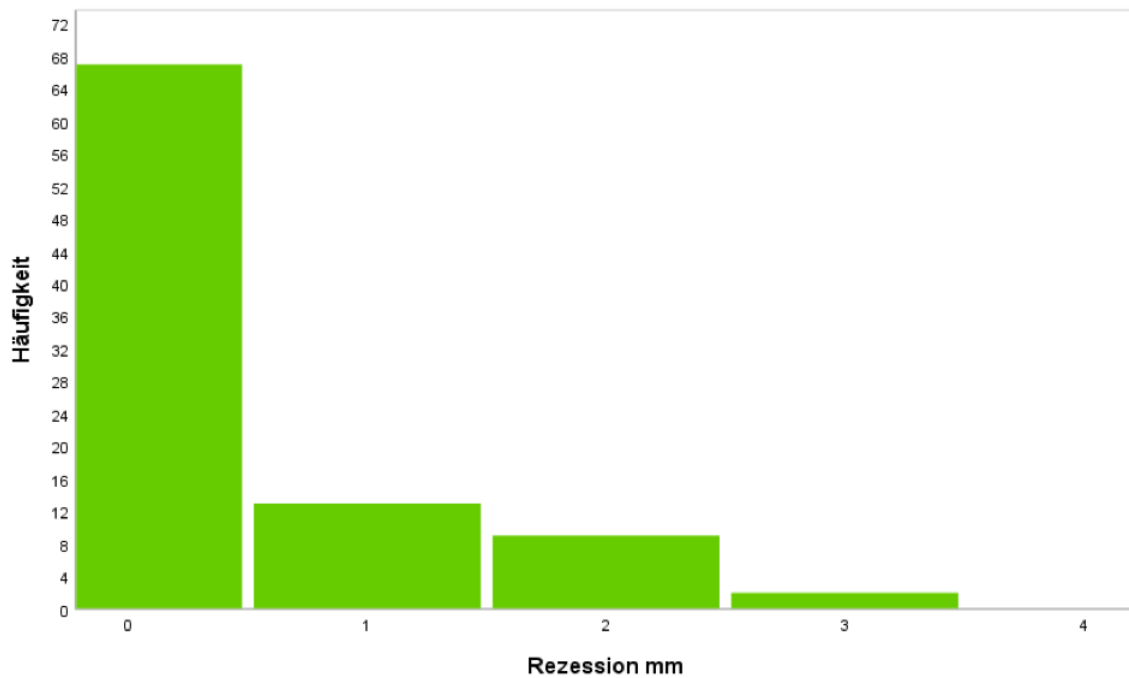


Abbildung 29: Graphische Darstellung der Rezession in Millimeter.

In der obigen Grafik ist die Gingivarezession in Millimetern dargestellt. Bei etwa einem Viertel, genau bei 25,3% der Implantate kam es zu einem Rückgang des periimplantären Weichgewebes, bei ca. drei Vierteln (74,7%) konnte keine Rezession festgestellt werden. Die durchschnittliche Rezession belief sich dabei auf 0,41 mm (SD 0,76 mm). Der höchst gemessene Wert beträgt 3mm.

## Komplikationen

Bei 86,8% der Implantate konnten zum Untersuchungszeitpunkt keine Komplikationen erhoben werden. Bei 13,2 % (12 Implantate) kam es im Laufe des Beobachtungszeitraums zu Komplikationen.

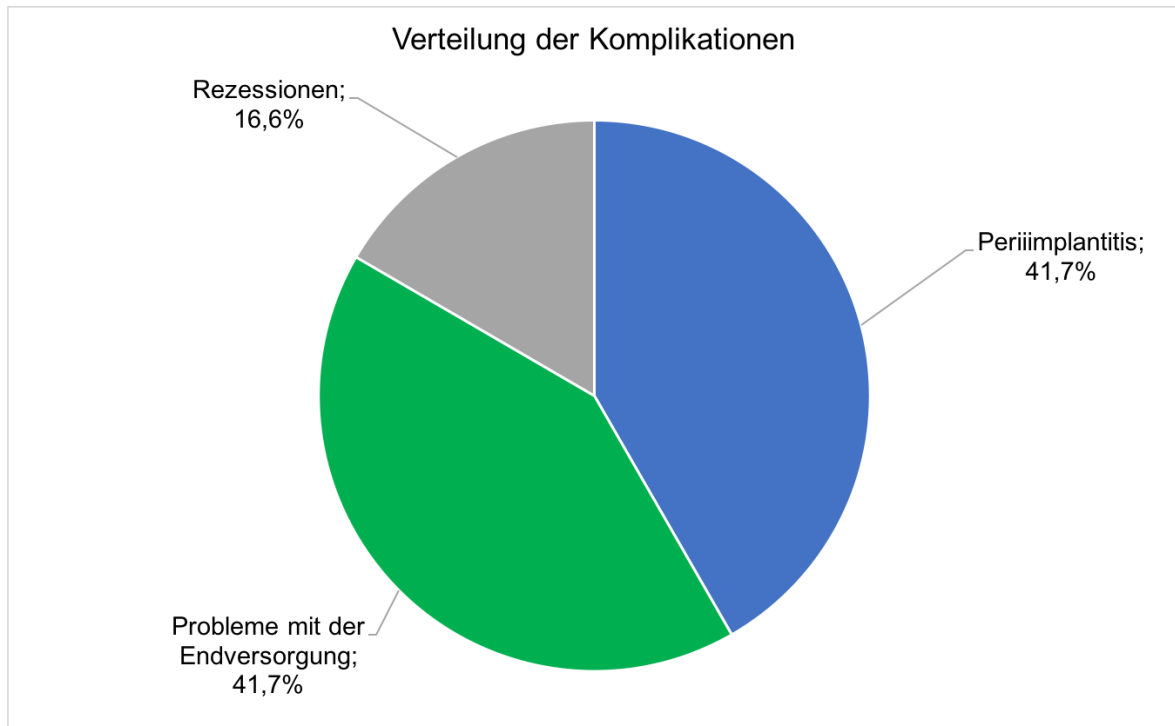


Abbildung 30: Verteilung der Komplikationen.

Bei 5 Implantaten kam es im Nachuntersuchungsintervall zu einer Periimplantitis. Probleme mit der Endversorgung traten in 5 Fällen auf, darunter fallen „Unzufriedenheit mit der Kronenfarbe/ Ästhetik“, „Kronenverlust“ oder „Lockerung der Abutmentschraube“.

## Bleeding on Probing

Wie die statistische Auswertung ergab, konnte bei 71,1% der 91 Implantate kein BOP nachgewiesen werden, bei 28,9% war das BOP positiv.

### Nikotinkonsum

Da Rauchen ein großes Risiko für Komplikationen in der Implantologie darstellt, wurden die Patienten und Patientinnen auch zu ihrem Nikotinkonsum befragt. Von 49 PatientInnen haben sich 44 (89,8%) als Nichtraucher und nur 5 als RaucherInnen deklariert. 6,1% der 49 PatientInnen rauchen bis zu zehn Zigaretten täglich und 4,1% zwischen zehn und zwanzig Zigaretten/ Tag.

### Restaurationen

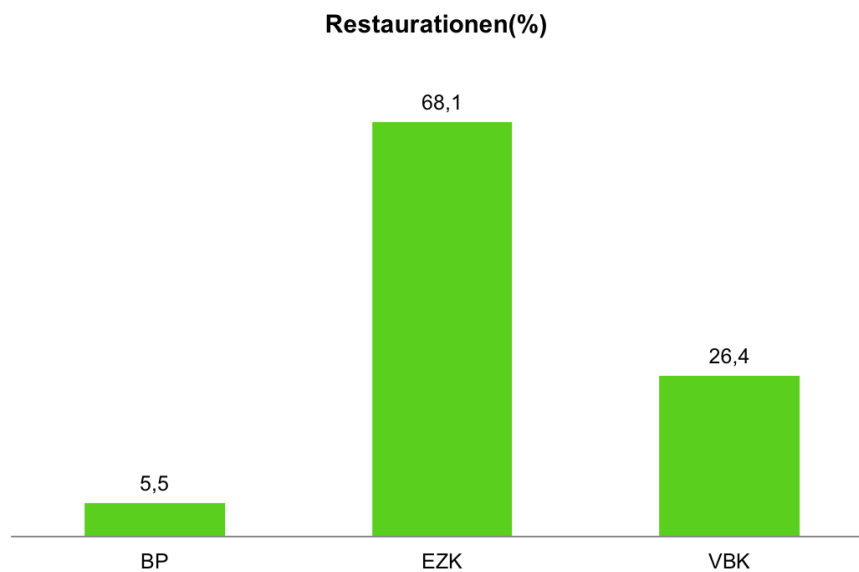


Abbildung 31: Restaurationen in %- BP=, EZK = Einzelzahnkrone, VBK = Verblockte Kronen

Bei 68,1 % der Befragten wurde im Anschluss an die Implantatsetzung eine Versorgung mittels Einzelzahnkronen durchgeführt. Bei 26,4% kamen verblockte Krone (VBK) zum Einsatz und nur bei 5,5% wurde eine Brückenversorgung als prothetische Lösung gewählt.

## 5.6 Zusammenhänge der Implantate mit erhobenen Parametern

### 5.6.1 Zusammenhang Lokalisation und Sondierungstiefe

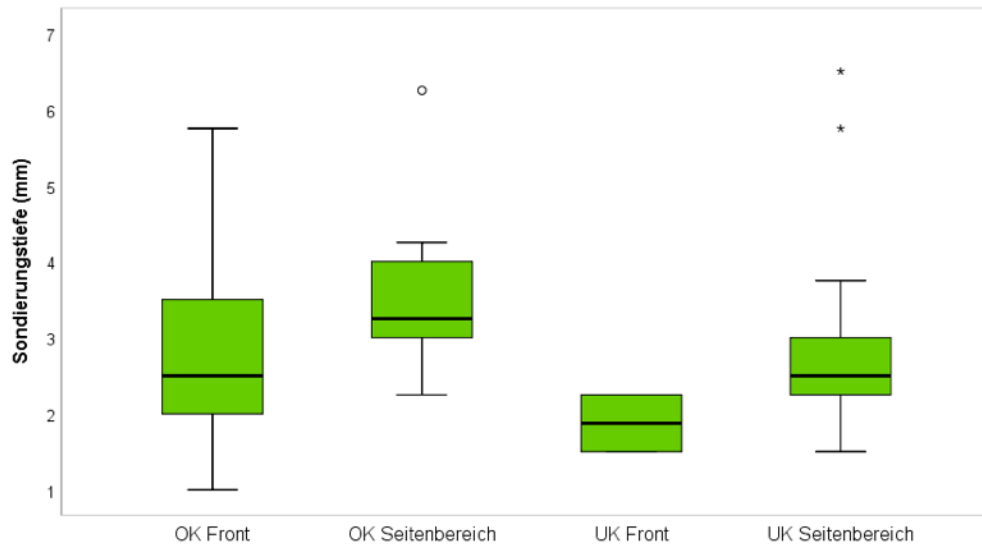


Abbildung 32: Graphische Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Lokalisation und der Sondierungstiefe.

Wie in der oben dargestellten Grafik ersichtlich wurden im Oberkieferseitzahnbereich mit einem Mittelwert von  $3,52 \pm 1,03$  mm die höchsten Sondierungstiefen gemessen. Der zweithöchste Wert wurde im Bereich der Frontzähne im Oberkiefer mit  $2,81 \pm 1,13$  mm Sondierungstiefe verzeichnet. Im Unterkiefer wurden im Seitzahnbereich nur geringfügig niedrigere Werte ( $2,69 \pm 1,05$  mm) gemessen. In der UK-Front zeigte sich die niedrigste Sondierungstiefe mit 1,88 mm (SD 0,43 mm).

Mit Hilfe der einfaktoriellen Varianzanalyse konnte ein signifikanter Zusammenhang von  $p = 0,033$  zwischen der Lokalisation und der Sondierungstiefe ermittelt werden. Dieser bestätigt, dass im Oberkiefer höhere Wert als im Unterkiefer vorkommen.

## 5.6.2 Zusammenhang Lokalisation und Komplikationen

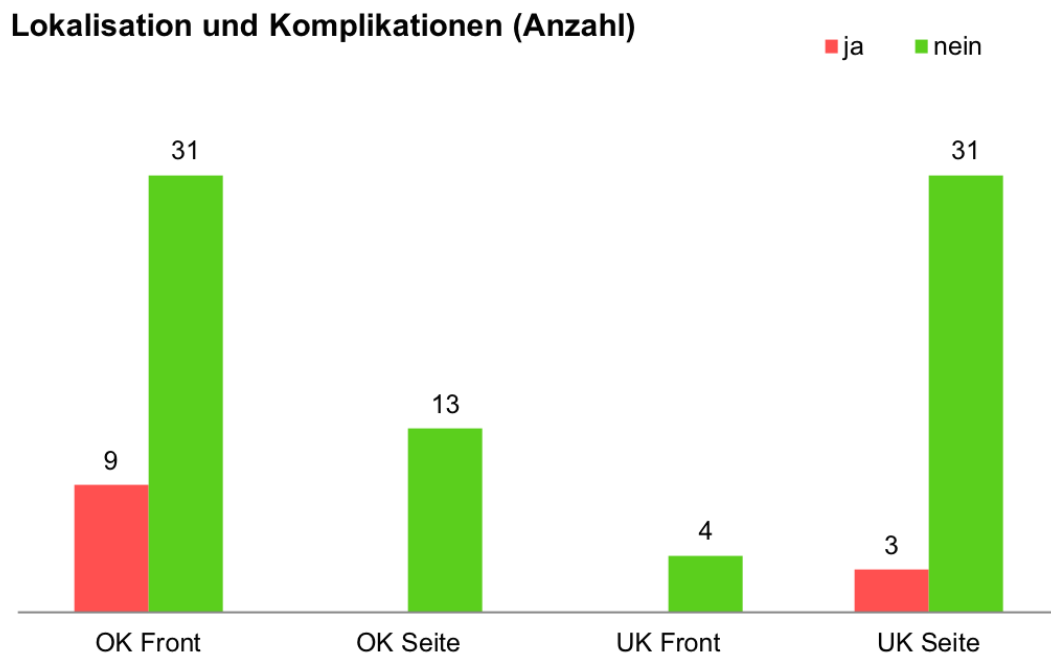


Abbildung 33: Darstellung der Komplikationen im Zusammenhang mit der Lokalisation der Implantate.

Sowohl im Seitenzahnbereich des Oberkiefers als auch in der Unterkieferfront wurden keine Komplikationen zum Zeitpunkt der Untersuchung festgestellt. Im OK-Front musste bezogen auf die gesetzten Implantate mit 22,5% die höchste Komplikationsrate verzeichnet werden. Im Seitenzahnbereich des Unterkiefers waren bei der Befragung 8,8% der dort gesetzten Implantate mit Komplikationen verbunden. Es konnte jedoch kein signifikanter Zusammenhang ( $p = 0,103$ ) mit dem Chi-Quadrat Test zwischen der Lokalisation und den Komplikationen hergestellt werden.

### 5.6.3 Zusammenhang Lokalisation und BOP

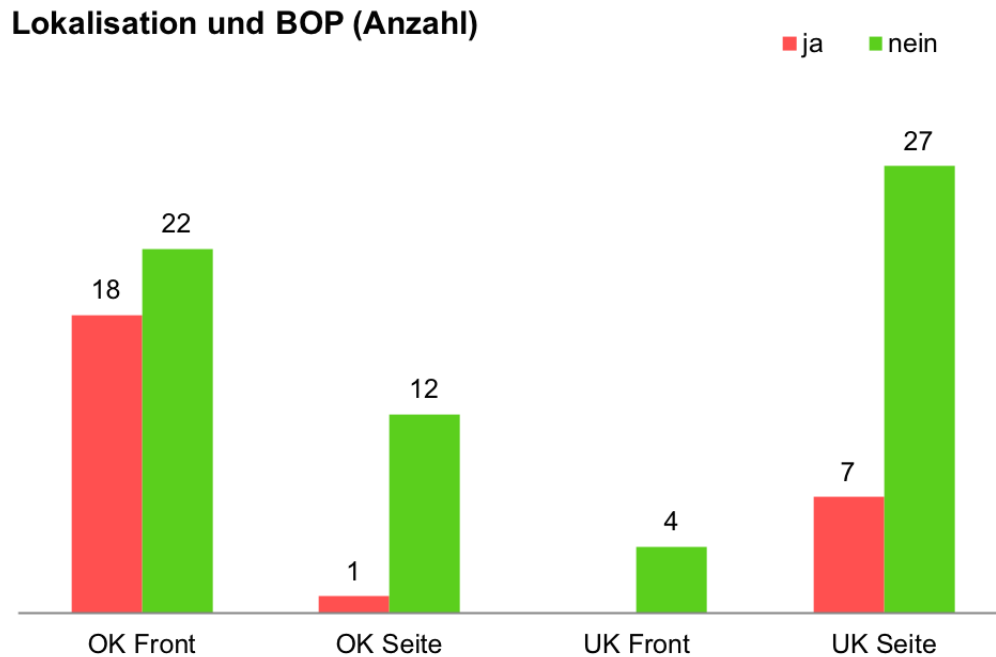


Abbildung 34: Zusammenhang Lokalisation und BOP.

In der Oberkieferfront konnte mit 45% (18 von 40 Implantaten) der höchste Anteil an BOP gemessen werden. Deutlicher weniger BOP wurde im Seitzahnbereich des Unterkiefers mit 20,6% gemessen, gefolgt vom Seitzahnbereich des Oberkiefers mit 8,3%. Nur in der Unterkieferfront konnte bei allen 4 gesetzten Implantaten kein Bleeding on probing verzeichnet werden. Mit einem p-Wert von 0,016 konnte durch den Chi-Quadrat Test ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Lokalisation und dem BOP ermittelt werden. Vor allem in der Oberkieferfront tritt das BOP deutlich häufiger als im Rest des Gebisses auf.

#### 5.6.4 Zusammenhang Lokalisation und Rezession

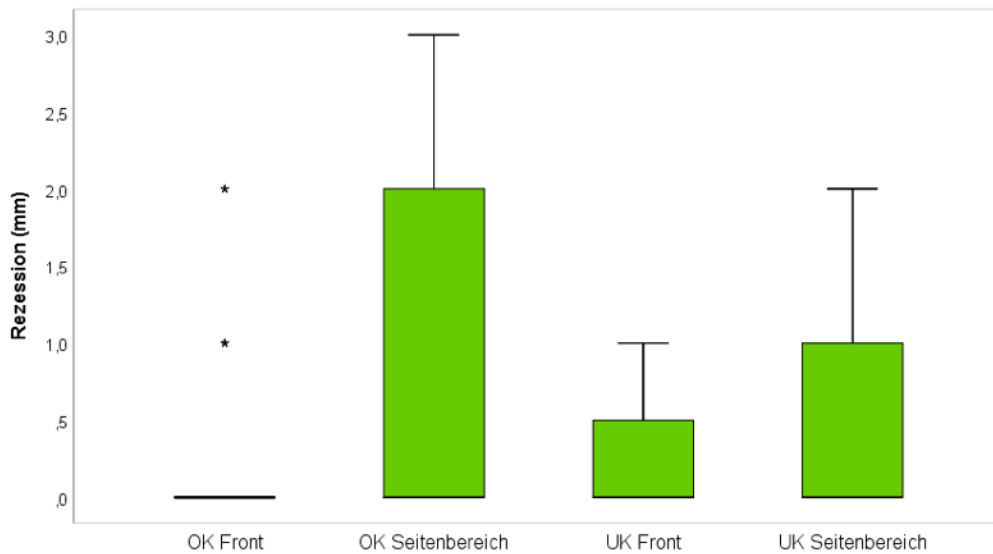


Abbildung 35: Darstellung der Gingivarezession im Zusammenhang mit der Lokalisation der Implantate.

Der Vergleich der Gingivarezession im Zusammenhang mit der Lokalisation der Implantate verdeutlicht, dass die gemessenen Rezessionen im Seitenzahnbereich deutlich stärker ausgeprägt sind als im Frontzahnbereich.

So ist mit einem Mittelwert von 0,92 mm (SD 1,19 mm) der Rückgang des periimplantären Weichgewebes im Bereich des Oberkieferseitenzahnbereiches am stärksten. Die niedrigsten Werte können im Bereich der Front im Unterkiefer mit durchschnittlich 0,25 mm (SD 0,50 mm) gemessen werden. Mit Hilfe der einfaktoriellen Varianzanalyse konnte aber kein signifikanter Zusammenhang ( $p = 0,033$ ) zwischen der Lokalisation und der Rezession ermittelt werden.

### 5.6.5 Zusammenhang Komplikationen und Raucher

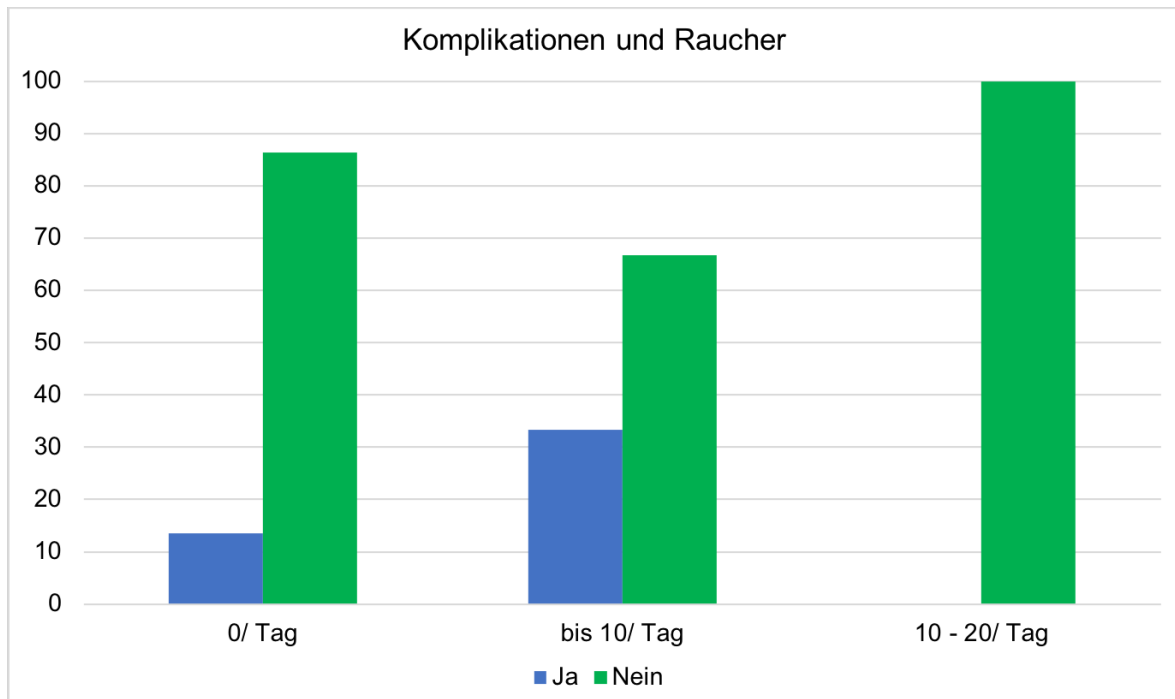


Abbildung 36: Häufigkeit der Komplikationen bei Rauchern in Prozent.

Bei 6 von 44 NichtraucherInnen traten Komplikationen auf, das entspricht einem Prozentsatz von 13,6%. Dem steht gegenüber, das nur bei einem Patienten/ einer Patientin, welche/r bis zu 10 Zigaretten am Tag raucht Komplikationen zu verzeichnen waren (das entspricht 33,3% der RaucherInnen in dieser Klasse). Von den 2 PatientInnen welche zwischen 10 und 20 Zigaretten/ Tag rauchen, hatte keiner Komplikationen im Zusammenhang mit den gesetzten Implantaten. Aufgrund der niedrigen Anzahl der RaucherInnen konnte keine statistische Auswertung bezüglich des Zusammenhangs zwischen dem Nikotinkonsum und aufgetretenen Komplikationen erfolgen.

### 5.6.6 Zusammenhang Lokalisation und radiologisch krestaler Knochenabbau

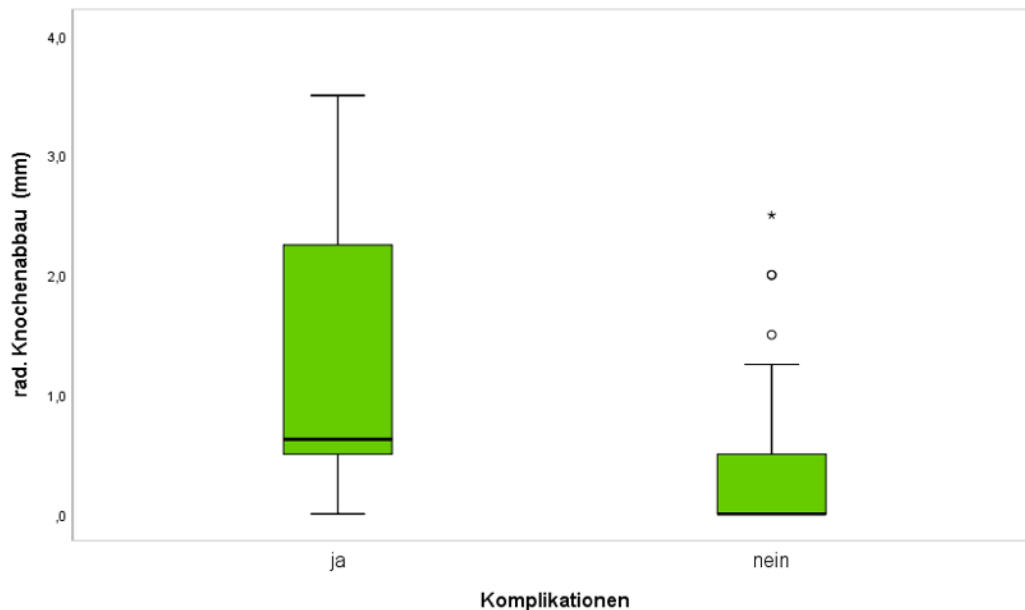


Abbildung 37: Zusammenhang zwischen der Lokalisation und dem radiologisch krestalen Knochenabbau.

In der Oberkieferfront wurde mit einem Mittelwert von  $0,54 \pm 0,81$  mm die höchsten Werte beim radiologisch krestalen Knochenabbau gemessen, gefolgt vom Seitenzahnbereich im Unterkiefer mit  $0,38 \pm 0,69$  mm. In den anderen Quadranten (Oberkieferseite:  $0,15 \pm 0,32$  mm, Unterkieferfront:  $0,25 \pm 0,29$  mm) wurden deutliche niedrigere Werte verzeichnet. Es konnte mit der einfaktoriellen Varianzanalyse ein signifikanter Unterschied ( $p = 0,021$ ) ermittelt werden.

## 6 Diskussion

In der heutigen Zeit wird neben einer funktionellen Rehabilitation nach Zahnverlust vor allem in der ästhetischen Zone ein hoher Anspruch auf die Wiederherstellung natürlicher Hart- und Weichgewebkonturen gelegt. Eine langlebige und nachhaltige Möglichkeit des Zahnersatzes ist die Versorgung mit Implantaten nach Zahnverlusten, welche häufig eine Knochenaugmentation erfordert.

Bei den autogenen Augmentationsmaterialien konnten in der Fachliteratur bisher zwischen 85% (Iliaca) (31) und 100% (Ramus/ Symphse) (38,52) und bei den autogenen Knochenblockaugmentaten zwischen 89,5 und 100% (68–72) Überlebensraten der Implantate erzielt werden.

Der Follow-up Zeitpunkt, zu welchem die Überlebensrate gemessen wurde variiert bei den Studien stark, so untersuchte Gultekin (38) die PatientInnen zum Beispiel bereits nach 4 Monaten nach Implantation.

Im Gegensatz dazu fand die Nachuntersuchung dieser Arbeit mit einem durchschnittlichen Zeitintervall von 120 Monaten deutlich später statt.

In der vorliegenden Untersuchung kam es bei keinem der PatientInnen zu einem Implantatverlust.

### 6.1 Patientenbezogene Ergebnisse

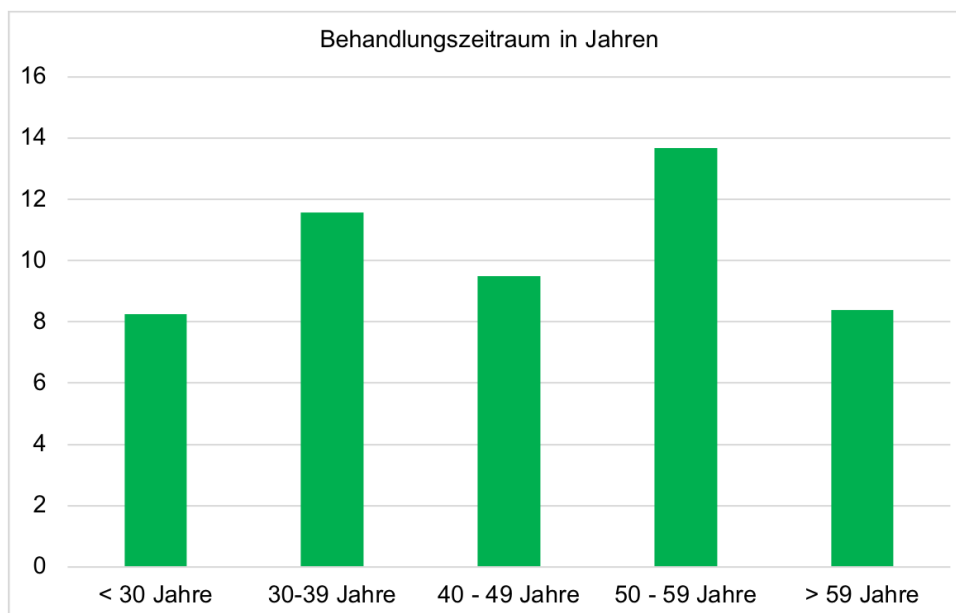


Abbildung 38: Behandlungszeitraum in Jahren je Altersgruppe.

Das durchschnittliche Nachuntersuchungsintervall unterscheidet sich dabei in den Altersgruppen „jünger als 30“, „40 bis 49 Jahre“ und „älter als 59 Jahre“ nur geringfügig. Die Altersgruppe der 50 bis 59jährigen weist mit durchschnittlich 13 Jahren und 8 Monaten einen erheblich längeren Beobachtungszeitraum auf. Die PatientInnen bis 40 Jahre erhielten Implantate in einer Altersspanne von 17 bis 26 Jahren. Bei der PatientInnengruppe „jünger als 30 Jahre“ erfolgte in 4 von 6 Fällen eine Implantation im Frontzahnbereich. Diese Lokalisationen stimmen mit der bereits erwähnten Indikation bei jüngeren PatientInnen überein. Bei Personen über 40 Jahren liegt die Hauptursache für Zahnverluste hingegen bei paradontalen Erkrankungen gefolgt von Karies (73).

## **6.2 Implantatbezogene Ergebnisse**

Bei den untersuchten PatientInnen wurden in der Querschnittsuntersuchung am häufigsten Implantate mit einer Länge von 13 mm verwendet. In der Literatur (74,75) gelten Implantate kleiner als 6mm als kurz und über 10 mm als lang. Damit wurden in dieser Studie durchschnittlich lange Implantate verwendet.

Die in dieser Studie nachuntersuchten Implantate hatten am häufigsten einen Durchmesser von 3,8 mm. Eine Unterteilung des Durchmessers erfolgt in der Literatur vor allem in sehr kleine, kleine und normale Implantatdurchmesser. Klein et. al (76) und Jung et. al (74) definieren sehr kleine Implantate mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 mm und Kleine mit einem Durchmesser von weniger als 3,5 mm. Demnach hatten die in dieser Arbeit nachuntersuchten Implantate einen normalen Durchmesser.

Heutzutage können vielfach längen- und durchmesserreduzierte Implantate Verwendung finden, da durch die moderne Oberflächenbeschaffenheit mit erhöhter Mikrorauigkeit, ein höherer Bone to implant contact entsteht. Die Überlebensraten für kürzere Implantate ( $\leq 6$ mm) werden in der Fachliteratur (74) mit 86,7% bis 100% etwas geringer als für Standardimplantate (7-11 mm) angegeben. Mit dieser geringeren invasiven Alternative können vor allem im nicht ästhetisch relevanten Regionen komplexe Augmentationen vermieden werden.

Bei den untersuchten PatientInnen zeigte sich eine Häufung der gesetzten Implantate im Bereich der Oberkieferfront sowie im Seitzahnbereich des Unterkiefers. Das Setzen von Implantaten in der Oberkieferfront wird besonders

aufgrund der guten Ästhetik und Langlebigkeit gewählt. Der Unterkiefer ist bei der Knochenresorption stärker als der Oberkiefer betroffen (25), daher ist hier häufig zuerst eine Knochenaugmentation vor einer möglichen Implantatversorgung notwendig.

### **6.3 Hauptzielgröße und Nebenzielgrößen**

Die gemessene Hauptzielgröße der Implantate in Situ erreichte nach einem Follow up von 10 Jahren 100%.

Aber auch bei den Nebenzielgrößen konnten sehr gute Werte verzeichnet werden. So geht aus den statistischen Ergebnissen hervor, dass nur bei einem geringen Anteil von 13,2% der gesetzten Implantate eine Komplikation zum Nachuntersuchungszeitpunkt festzustellen war. Bei 5,5% der Implantate wurden als Komplikation nur ästhetische bzw. subjektive Mängel angegeben, welche jedoch die Implantatfunktion nicht beeinträchtigen.

Bei fünf von 91 Implantaten war eine Periimplantitis festzustellen. Das Knochenniveau wird in dieser Studie durch die Messung der Sondierungstiefe und der Beurteilung des krestalen Knochenniveaus auf Kleinbild-Röntgenbildern überprüft. Zudem ist das BOP eine Methode zur Erkennung einer lokalen Entzündungsreaktion. Beide Werte korrelieren signifikant mit der Lokalisation im Oberkiefer. Auch andere Studien identifizierten eine Implantatsetzung im Oberkiefer als erhöhten Risikofaktor für eine Periimplantitis (77,78).

Neben der objektiven Beurteilung des Erfolges spielt die subjektive Zufriedenheit der PatientInnen auch eine zentrale Rolle. Dass sich die gesetzten Implantate durch eine subjektiv gute Ästhetik und Patienten/Innenzufriedenheit auszeichnen, zeigt sich im OHIP-G, in welchem die PatientInnen im Durchschnitt  $1,65 \pm 2,17$  Punkten angaben. Dieser niedrige Wert entspricht bei einem maximalen Wert von 56 einer hohen Zufriedenheit. Der höchst gemessene Wert von 15 Punkten konnte einem Patienten/einer Patientin zugeordnet werden, bei dem es in der Vergangenheit zu einem Kronenverlust und zu Unzufriedenheit im Hinblick auf die Ästhetik gekommen war. Fischer (79) befragte 2016 61 PatientInnen nach

Implantatversorgung mit dem OHIP-G 14 und ermittelte einen Durchschnittswert von  $2,78 \pm 4,2$  Punkten.

Mit dem PES (Pink Esthetic Score) lässt sich anhand von sieben Kategorien eine Vergleichbarkeit der ästhetischen Merkmale von Weichgewebe um Implantate schaffen. Bei dieser Studie wurden mit durchschnittlich  $11,17 \pm 2,19$  Punkten, bei maximal 14 möglichen Punkten, relativ hohe Werte erhoben. Die fehlenden Punkte lassen sich auf den Umstand zurückführen, dass nicht jedes Implantat, welches seine Funktion erfüllt, auch gleichzeitig den hohen ästhetischen Kriterien des PES entspricht bzw. werden an Implantate im Seitenzahnbereich, verglichen zum Frontzahnbereich, keine ästhetisch hohen Ansprüche gestellt.

Der gemessene Periotest erreichte mit durchschnittlich  $-1,19 \pm 2,97$  Punkten sehr gute Werte und liegt damit im Bereich osseointegrierter Implantate. Zu bedenken ist jedoch, dass die Werte an der jeweiligen Suprakonstruktion, häufig an provisorisch zementierten Kronen, gemessen wurden und somit unter Umständen verfälscht sein können. Eine Abnahme der Suprakonstruktion war in der Studie nicht vorgesehen, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die direkte Messung am Implantat zu ähnlichen oder auch geringeren Werten geführt hätte.

Die vorliegende Nachuntersuchung bestätigt eine langfristig gute Prognose von Implantatrestorationen nach Augmentation mit enoralen Knochenblocktransplantaten. Bei entsprechender Indikationsstellung, chirurgischer Technik und regelmäßiger Nachsorge kann eine gute Vorhersagbarkeit, eine hohe PatientInnenzufriedenheit sowie eine Langzeitstabilität erwartet werden.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Chiapasco M, Casentini P, Zaniboni M, Corsi E. Evaluation of peri-implant bone resorption around Straumann Bone Level implants placed in areas reconstructed with autogenous vertical onlay bone grafts. *Clin Oral Implants Res.* 2012 Sep;23(9):1012–21.
2. von Arx T, Kurt B. Die enorale Knochenentnahme zur Autotransplantation. *Schweiz Monatsschreiben Zahnmed.* 1998;(108):447–53.
3. Khoury F, Hanser Th, Khoury C, Neugebauer J, Terpelle T, Tunkel J, et al. Augmentative Verfahren in der Implantologie. *Quintessenz;* 2009. S. 6, 8, 9, 10, 12, 18, 23, 26, 44, 45, 64, 65, 178, 214-223, 322, 338, 375.
4. Reitemeier B. Einführung in die Zahnmedizin. Georg Thieme Verlag; 2006. S. 202, 203, 236.
5. Ott RW. Klinik- und Praxisführer Zahnmedizin. Georg Thieme Verlag; 2003. S. 446.
6. Jensen SS, Terheyden H. Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24 Suppl:218–36.
7. Buser D, Dula K, Hirt HP, Schenk RK. Lateral ridge augmentation using autografts and barrier membranes: a clinical study with 40 partially edentulous patients. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg.* 1996 Apr;54(4):420–32; discussion 432-433.
8. Cordaro L, Amadé DS, Cordaro M. Clinical results of alveolar ridge augmentation with mandibular block bone grafts in partially edentulous patients prior to implant placement. *Clin Oral Implants Res.* 2002 Feb;13(1):103–11.
9. Milinkovic I, Cordaro L. Are there specific indications for the different alveolar bone augmentation procedures for implant placement? A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2014 May;43(5):606–25.
10. Anderhuber F, Pera F, Streicher J. Waldeyer. *Anatomie des Menschen.* 19th ed. Berlin. Boston: Walter de Gruyter; 2012. S. 99, 724-728, 749, 750.
11. Schulte E, Schumacher U, Schünke M. PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie: LernAtlas Anatomie. Georg Thieme Verlag; 2012. S. 38, 50, 80.
12. Platzer W, Fritsch H, Kahle W, Spitzer G. Taschenatlas der Anatomie. 10th ed. Vol. Band 1: Bewegungsapparat. Stutgard: Thieme; 2009. S. 288, 302.

13. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus LernAtlas der Anatomie : allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Thieme; 2011. S. 16.
14. Hartmann M, Pabst M-A, Dohr G. Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie: licht- und elektronenmikroskopischer Bildatlas ; inkl. Übungs-DVD. Facultas.wuv; 2011. S. 39, 42.
15. Liebich H-G. Funktionelle Histologie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Schattauer Verlag; 2004. S. 96, 97.
16. Atwood DA. Some clinical factors related to rate of resorption of residual ridges. 1962. J Prosthet Dent. 2001 Aug;86(2):119–25.
17. Cawood JI, Howell RA. A classification of the edentulous jaws. Int J Oral Maxillofac Surg. 1988 Aug;17(4):232–6.
18. Reich KM, Huber CD, Lippnig WR, Ulm C, Watzek G, Tangl S. Atrophy of the Residual Alveolar Ridge Following Tooth Loss in a Historical Population. Oral Dis. 2010 Jun;17(1):33.
19. Lekholm U, Zarb GA. In: Patient selection and preparation Tissue integrated prostheses: osseointegration in clinical dentistry. Chigaco: Quintessence Publishing Company. Branemark PI, Zarb GA, Albrektsson T, editor; 1985. p. 199–209.
20. Alghamdi HS. Methods to Improve Osseointegration of Dental Implants in Low Quality (Type-IV) Bone: An Overview. J Funct Biomater. 2018 Jan 13;9(1).
21. Misch CE. Density of bone: effect on treatment plans, surgical approach, healing, and progressive boen loading. Int J Oral Implantol Implantol. 1990;6(2):23–31.
22. Al-Ekrish A, Widmann G, Alfadda S. Revised, Computed Tomography–Based Lekholm and Zarb Jawbone Quality Classification. Int J Prosthodont. 2018 Jul;31:342–5.
23. Esposito M, Hirsch JM, Lekholm U, Thomsen P. Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants. (II). Etiopathogenesis. Eur J Oral Sci. 1998 Jun;106(3):721–64.
24. Gujer AK, Jacobsen C, Grätz KW. Facharztwissen Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Springer-Verlag; 2013. S. 68, 76, 99.
25. Schwenzer N. Zahnärztliche Chirurgie: 35 Tabellen. Georg Thieme Verlag; 2000. S. 94, 130, 131, 199, 219.
26. Weber T. Memorix Zahnmedizin. Georg Thieme Verlag; 2010. S. 311.

27. Gellrich N-C, Schmelzeisen R. Einführung in die zahnärztliche Chirurgie und Implantologie: für Studium und Beruf ; mit 71 Tabellen. Deutscher Ärzteverlag; 2010. S. 389, 418.
28. Falkensammer N, Kirmeier R, Arnetzl C, Wildburger A, Eskici A, Jakse N. Modified iliac bone harvesting--morbidity and patients' experience. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2009 Aug;67(8):1700–5.
29. Nyström E, Nilson H, Gunne J, Lundgren S. A 9-14 year follow-up of onlay bone grafting in the atrophic maxilla. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2009 Feb;38(2):111–6.
30. Sbordone L, Toti P, Menchini-Fabris GB, Sbordone C, Piombino P, Guidetti F. Volume changes of autogenous bone grafts after alveolar ridge augmentation of atrophic maxillae and mandibles. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2009 Oct;38(10):1059–65.
31. Becktor JP, Isaksson S, Sennerby L. Survival analysis of endosseous implants in grafted and nongrafted edentulous maxillae. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2004 Feb;19(1):107–15.
32. Kirmeier R, Payer M, Lorenzoni M, Wegscheider WA, Seibert FJ, Jakse N. Harvesting of cancellous bone from the proximal tibia under local anesthesia: donor site morbidity and patient experience. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2007 Nov;65(11):2235–41.
33. Payer M, Lohberger B, Strunk D, Reich KM, Acham S, Jakse N. Effects of directly autotransplanted tibial bone marrow aspirates on bone regeneration and osseointegration of dental implants. *Clin Oral Implants Res*. 2014 Apr;25(4):468–74.
34. Gleizal AM, Beziat J-LE. Maxillary and mandibular reconstruction using bicortical calvarial bone grafts: a retrospective study of 122 reconstructions in 73 patients. *Plast Reconstr Surg*. 2007 Feb;119(2):542–8; discussion 549-550.
35. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Ärzte-Verlag GmbH; 2013. S. 581.
36. Felice P, Barausse C, Pistilli V, Piattelli M, Ippolito DR, Esposito M. Posterior atrophic jaws rehabilitated with prostheses supported by 6 mm long × 4 mm wide implants or by longer implants in augmented bone. 3-year post-loading results from a randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol*. 2018;11(2):175–87.

37. Gastaldi G, Felice P, Pistilli V, Barausse C, Ippolito DR, Esposito M. Posterior atrophic jaws rehabilitated with prostheses supported by 5 × 5 mm implants with a nanostructured calcium-incorporated titanium surface or by longer implants in augmented bone. 3-year results from a randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol*. 2018;11(1):49–61.
38. Gultekin BA, Bedeloglu E, Kose TE, Mijiritsky E. Comparison of Bone Resorption Rates after Intraoral Block Bone and Guided Bone Regeneration Augmentation for the Reconstruction of Horizontally Deficient Maxillary Alveolar Ridges. *BioMed Res Int*. 2016;2016:4987437.
39. Neukam FW, Wichmann M, Wiltfang J. Zahnärztliche Implantologie unter schwierigen Umständen. Georg Thieme Verlag; 2007. S. 70, 71, 73, 74.
40. Schwenzer N, Ehrenfeld M. Zahnärztliche Chirurgie. Georg Thieme Verlag; 2009. S. 251.
41. Kim M-J. Updates in Treatment Modalities and Techniques on Compromised Alveolar Ridge Augmentation for Successful Dental Implant Therapy. In: Sasaki K, Suzuki O, Takahashi N, editors. *Interface Oral Health Science 2014*. Springer Japan; 2015. p. 17–31.
42. Balaji S. Direct v/s Indirect sinus lift in maxillary dental implants. *Ann Maxillofac Surg*. 2013;3(2):148.
43. Tatum H. Maxillary and sinus implant reconstructions. *Dent Clin North Am*. 1986 Apr;30(2):207–29.
44. Jang H-Y, Kim H-C, Lee S-C, Lee J-Y. Choice of graft material in relation to maxillary sinus width in internal sinus floor augmentation. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg*. 2010 Aug;68(8):1859–68.
45. Tal H, Moses OD, Kozlovsky A, Nemcovsky CE. 6 Bioresorbable Collagen Membranes for Guided Bone Regeneration. In 2012.
46. Schwenzer N. Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde: Allgemeine Chirurgie: 59 Tabellen / hrsg. von Norbert Schwenzer und Michael Ehrenfeld. Mit Beitr. von Arzu Agildere. Georg Thieme Verlag; 2000. S. 12, 13.
47. Scharf H-P, Rüter A, Pohlemann T, Marzi I, Kohn D, Günther K-P. Orthopädie und Unfallchirurgie: Facharztwissen nach der neuen Weiterbildungsordnung. Elsevier, Urban&FischerVerlag; 2011. S. 40.
48. Lindhe J, Meyle J, Group D of European Workshop on Periodontology. Peri-implant diseases: Consensus Report of the Sixth European Workshop on

Periodontology. J Clin Periodontol. 2008 Sep;35(8 Suppl):282–5.

49. Silva FMS, Cortez ALV, Moreira RWF, Mazzonetto R. Complications of intraoral donor site for bone grafting prior to implant placement. *Implant Dent*. 2006 Dec;15(4):420–6.

50. Weibull L, Widmark G, Ivanoff C-J, Borg E, Rasmusson L. Morbidity after chin bone harvesting--a retrospective long-term follow-up study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2009 Jun;11(2):149–57.

51. Schaaf H, Lendeckel S, Howaldt H-P, Streckbein P. Donor site morbidity after bone harvesting from the anterior iliac crest. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010 Jan;109(1):52–8.

52. Cordaro L, Torsello F, Miuccio MT, di Torresanto VM, Eliopoulos D. Mandibular bone harvesting for alveolar reconstruction and implant placement: subjective and objective cross-sectional evaluation of donor and recipient site up to 4 years. *Clin Oral Implants Res*. 2011 Nov;22(11):1320–6.

53. Clavero J, Lundgren S. Ramus or chin grafts for maxillary sinus inlay and local onlay augmentation: comparison of donor site morbidity and complications. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2003;5(3):154–60.

54. Fasolis M, Boffano P, Ramieri G. Morbidity associated with anterior iliac crest bone graft. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2012 Nov;114(5):586–91.

55. Scheerlinck LME, Muradin MSM, van der Bilt A, Meijer GJ, Koole R, Van Cann EM. Donor site complications in bone grafting: comparison of iliac crest, calvarial, and mandibular ramus bone. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2013 Feb;28(1):222–7.

56. Lehmann KM, Hellwig E, Wenz H-J. Zahnärztliche Propädeutik: Einführung in die Zahnheilkunde ; mit 34 Tabellen. Deutscher Ärzteverlag; 2009. S. 277.

57. Gernet W. Zahnärztliche Prothetik. Georg Thieme Verlag; 2007. S. 92.

58. Osborn JF, Newesely H. Dynamic aspects of the implant-bone-interface. In: *Dental implants*, Heimke G (ed). München: Carl Hanser Verlag; 1980.

59. Gradinger R, Gollwitzer H. Ossäre Integration. Springer Science & Business Media; 2006. S. 27, 28.

60. Davies JE. Understanding peri-implant endosseous healing. *J Dent Educ*. 2003 Aug;67(8):932–49.

61. Kramme R. Medizintechnik: Verfahren Systeme Informationsverarbeitung.

Springer-Verlag; 2013. S. 845.

62. Soehardi A, Meijer GJ, Strooband VFMH, de Koning M, Stoeltinga PJW. The potential of the horizontal ramus of the mandible as a donor site for block and particulate grafts in pre-implant surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2009 Nov;38(11):1173–8.
63. Ortiz-Vigón A, Suarez I, Martínez-Villa S, Sanz-Martín I, Bollain J, Sanz M. Safety and performance of a novel collagenated xenogeneic bone block for lateral alveolar crest augmentation for staged implant placement. *Clin Oral Implants Res.* 2018 Jan;29(1):36–45.
64. Thoma DS, Payer M, Jakse N, Bienz SP, Hüsler J, Schmidlin PR, et al. Randomized, controlled clinical two-centre study using xenogeneic block grafts loaded with recombinant human bone morphogenetic protein-2 or autogenous bone blocks for lateral ridge augmentation. *J Clin Periodontol.* 2018 Feb;45(2):265–76.
65. Medizintechnik Gulden e.K. Periotest- Das dentale Messinstrument in Implantologie und anspruchsvoller Zahnheilkunde [Internet]. Medizintechnik Gulden, Manufacturer of the Periotest; Available from: [http://www.med-gulden.com/downloads/01\\_german/01\\_Produktinformation/Periotest\\_Verfahren.pdf](http://www.med-gulden.com/downloads/01_german/01_Produktinformation/Periotest_Verfahren.pdf)
66. Fürhauser R, Florescu D, Benesch T, Haas R, Mailath G, Watzek G. Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score. *Clin Oral Implants Res.* 2005 Dec;16(6):639–44.
67. Slade GD, Spencer AJ. Development and evaluation of the Oral Health Impact Profile. *Community Dent Health.* 1994 Mar;11(1):3–11.
68. Aloy-Prósper A, Peñarrocha-Oltra D, Peñarrocha-Diago M, Peñarrocha-Diago M. The outcome of intraoral onlay block bone grafts on alveolar ridge augmentations: a systematic review. *Med Oral Patol Oral Cirugia Bucal.* 2015 Mar 1;20(2):e251-258.
69. Waasdorp J, Reynolds MA. Allogeneic bone onlay grafts for alveolar ridge augmentation: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2010 Jun;25(3):525–31.
70. Keith JD, Petrungaro P, Leonetti JA, Elwell CW, Zeren KJ, Caputo C, et al. Clinical and histologic evaluation of a mineralized block allograft: results from the developmental period (2001-2004). *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2006

Aug;26(4):321–7.

71. Peleg M, Sawatari Y, Marx RN, Santoro J, Cohen J, Bejarano P, et al. Use of corticocancellous allogeneic bone blocks for augmentation of alveolar bone defects. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2010 Feb;25(1):153–62.

72. Nissan J, Marilena V, Gross O, Mardinger O, Chaushu G. Histomorphometric analysis following augmentation of the anterior atrophic maxilla with cancellous bone block allograft. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2012 Feb;27(1):84–9.

73. GZFA. Zahnverlust: Die häufigsten Ursachen für Zahnverlust [Internet]. 2019 [cited 2019 Sep 15]. Available from: <https://www.gzfa.de/aktuelles-wissen/news/detail/article/zahnverlust-die-haeufigsten-ursachen-fuer-zahnverlust/>

74. Jung RE, Al-Nawas B, Araujo M, Avila-Ortiz G, Barter S, Brodala N, et al. Group 1 ITI Consensus Report: The influence of implant length and design and medications on clinical and patient-reported outcomes. *Clin Oral Implants Res*. 2018;29(S16):69–77.

75. Pohl V, Thoma DS, Sporniak-Tutak K, Garcia-Garcia A, Taylor TD, Haas R, et al. Short dental implants (6 mm) versus long dental implants (11-15 mm) in combination with sinus floor elevation procedures: 3-year results from a multicentre, randomized, controlled clinical trial. *J Clin Periodontol*. 2017 Apr;44(4):438–45.

76. Klein MO, Schiegnitz E, Al-Nawas B. Systematic review on success of narrow-diameter dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29 Suppl:43–54.

77. Koldslund OC, Scheie AA, Aass AM. The association between selected risk indicators and severity of peri-implantitis using mixed model analyses. *J Clin Periodontol*. 2011 Mar;38(3):285–92.

78. Schwarz F, Becker K, Sahm N, Horstkemper T, Rousi K, Becker J. The prevalence of peri-implant diseases for two-piece implants with an internal tube-in-tube connection: a cross-sectional analysis of 512 implants. *Clin Oral Implants Res*. 2017 Jan;28(1):24–8.

79. Fischer KR, Lindner I, Fickl S. Implant treatment in periodontally compromised subjects--quality of life and patient satisfaction. *Clin Oral Investig*. 2016 May;20(4):697–702.