

Aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie –  
Plastische Operationen – der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-  
Universität Mainz

Reduziert die Alveolar Ridge Preservation mit bovinem Knochenersatzmaterial  
die Notwendigkeit einer Sinusbodenelevation: prospektive Vergleichsstudie  
zwischen Spontanheilung und der Alveolar Ridge Preservation im  
Oberkiefer-Seitenzahnbereich

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

der Universitätsmedizin  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
vorgelegt von

Elias Jean-Jacques Khoury,  
aus Münster

Mainz, 2024

Wissenschaftlicher Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Hansjörg Schild

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 23. September 2024

---

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>.....</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Literaturübersicht .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Folgen von Zahnverlust .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Knochenheilung .....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Heilung der Alveole .....	5
2.2.2 Frakturlehre .....	6
<b>2.3 Knochenaufbaumaterialien .....</b>	<b>8</b>
2.3.1 Definition, Einteilung und Eigenschaften .....	8
2.3.2 Autogene Knochentransplantate.....	9
2.3.3 Allogene Knochentransplantate .....	10
2.3.4 Alloplastische Knochentransplantate .....	11
2.3.5 Xenogene Knochentransplantate.....	11
<b>2.4 Alveolar Ridge Preservation .....</b>	<b>13</b>
<b>2.5 Sinusbodenelevation.....</b>	<b>14</b>
2.5.1 Die interne (krestale) Sinusbodenelevation.....	16
2.5.2 Die laterale (externe) Sinusbodenelevation .....	17
<b>2.6 Guided Bone Regeneration (GBR) .....</b>	<b>18</b>
<b>2.7 Vermeidung einer Sinusbodenelevation .....</b>	<b>21</b>
2.7.1 Kurze Implantate.....	21
2.7.2 Angulierte Implantate .....	22
2.7.3 Zygoma Implantate .....	22
<b>2.8 Ziel der Arbeit.....</b>	<b>23</b>
<b>3 Material und Methoden .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Studiendesign .....</b>	<b>24</b>

---

<b>3.2</b>	<b>Patientenkollektiv</b> .....	<b>25</b>
3.2.1	Ein- und Ausschlusskriterien .....	25
<b>3.3</b>	<b>Operatives Vorgehen</b> .....	<b>26</b>
3.3.1	Kontrollgruppe .....	27
3.3.2	Testgruppe.....	27
3.3.3	Implantatinsertion/ Sinusbodenaugmentation beider Gruppen.....	27
<b>3.4</b>	<b>Entscheidungsbaum für die Implantation</b> .....	<b>28</b>
<b>3.5</b>	<b>Radiologische Untersuchung zur Bestimmung des Knochenabbaus (Knochenverlustanalyse)</b> .....	<b>29</b>
<b>3.6</b>	<b>Erfolgskriterien für Implantate</b> .....	<b>31</b>
3.6.1	Erfolgskriterien nach <i>Buser</i> .....	31
<b>3.7</b>	<b>Statistische Analyse</b> .....	<b>31</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Patientenbezogene Charakteristika</b> .....	<b>33</b>
4.1.1	Geschlechterverteilung .....	33
4.1.2	Altersverteilung.....	34
4.1.3	Kontroll-und Testgruppe .....	34
4.1.4	Lokalisation .....	34
4.1.5	Sinusbodenelevation.....	35
4.1.6	Implantatdurchmesser.....	36
4.1.7	Implantatlänge .....	37
4.1.8	Implantatüberleben .....	38
4.1.9	Erfolgskriterien nach <i>Buser</i> .....	38
<b>4.2</b>	<b>Radiologische Analyse</b> .....	<b>38</b>
<b>4.3</b>	<b>Fallbeispiele</b> .....	<b>40</b>
4.3.1	Frau H., 64 Jahre, Testgruppe .....	40
4.3.2	Frau R., 65 Jahre, Kontrollgruppe .....	43

---

<b>5</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>47</b>
5.1	Knochenverlust und die Verwendung verschiedener Biomaterialien .....	48
5.2	Vermeidung einer Sinusbodenelevation .....	51
5.3	Notwendigkeit weiterer Augmentationsverfahren .....	53
5.4	Membranen .....	56
5.5	Wundverschluss .....	57
5.6	Einfluss implantatspezifischer Parameter auf das Implantatüberleben .....	58
5.6.1	Implantatlänge .....	58
5.6.2	Implantatdurchmesser.....	59
5.7	Parodontitis .....	59
5.8	Implantatverlust .....	61
5.9	Erfolgskriterien nach <i>Buser</i> .....	61
5.10	Alternativen .....	62
5.10.1	Sofortimplantation.....	62
5.10.2	Ultrakurze Implantate (<6mm) .....	63
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung</b> .....	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>66</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>70</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>82</b>

---

<b>10</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>85</b>
10.1	Erklärung.....	85
10.2	Danksagung .....	86
10.3	Lebenslauf.....	87

### Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ARP	Alveolar Ridge Preservation
EZM	Extrazellulärmatrix
DFDBA	demineralisierter gefriergetrockneter Knochen
FFBA	fresh-frozen bone allograft (frisch gefrorener Knochen)
KH	Kieferhöhle
BMP	Bone morphogenic protein
UK	Unterkiefer
OK	Oberkiefer
GBR	Guided bone regeneration
(e)PTFE	(expandiertes) Polytetrafluorethylen
PDL	Parodontalligamentzelle
KEM	Knochenersatzmaterial
PSA	Panoramaschichtaufnahme
KI	Konfidenzintervall
CI	Confidence interval

## 1 Einleitung

Der langfristige Erfolg von endossalen Implantaten hängt maßgeblich vom Grad der Osseointegration im ausreichend vorhandenen und gesunden Knochenlager ab (1-4). Dadurch ist der Erhalt der knöchernen Strukturen nach einer Zahnextraktion eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche darauffolgende Implantation und ein optimales ästhetisches Ergebnis (1). Es konnte bereits mehrfach gezeigt werden, dass Implantate sehr hohe Überlebensraten von 89-98 % über einen Zeitraum von 5-20 Jahren vorweisen und somit eine wichtige Behandlungsoption für die funktionelle und ästhetische Rehabilitation teilbezahnter oder zahnloser Kiefer einnehmen (5-12).

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass es durch Zahnextraktionen zu Veränderungen in der Alveolarknochenmorphologie mit strukturellen und dimensionalen Anpassungen kommt (13-16). Knochenresorptionen wurden sechs Monate nach der Zahnentfernung beobachtet, mit einem horizontalen Knochenverlust von 29–63 % und einem vertikalen Knochenverlust von 11–22 % (17), wobei zwei Drittel der Reduktionen innerhalb der ersten drei Monate auftraten (18). Nach der Zahnextraktion wird der Bündelknochen, der das parodontale Ligament um den Zahn herum auskleidet und die Sharpey-Fasern im Knochen verankert, resorbiert und durch Geflechtknochen ersetzt, was zu einer vertikalen Reduktion des Alveolarkamms führt (19). Anschließend erfolgt eine Resorption an den äußeren Oberflächen beider Knochenwände (18). *Araujo et al.* berichteten über eine stärkere Kammreduktion im Molaren- als im Frontzahnbereich (13).

Darüber hinaus findet in der Kieferhöhle ein Prozess der sogenannten Pneumatisierung statt (20). Es beschreibt einen physiologischen Prozess der Kieferhöhle, der durch dessen Ausdehnung im Laufe der Zeit gekennzeichnet ist (20). Mehrere Faktoren wurden mit seinem Auftreten in Verbindung gebracht. So kann nach vorausgegangenen Zahnextraktionen der hohe Luftdruck in den Nasennebenhöhlen zu einer Atrophie des Knochens führen (20, 21). Des Weiteren sind es Faktoren wie die Knochendichte, frühere Nasennebenhöhlenoperationen, das Hineinragen der Zahnwurzeln in die Kieferhöhle, oder Vererbung, welche diesen Prozess begünstigen können (20, 21).

Es ist wahrscheinlich, dass sich die Sinusmembran stärker nach crestal verschiebt und den Raum der Extraktionsalveole einnimmt, wenn zwischen Kieferhöhle und Wurzelspitze der ehemaligen Zähne kein oder nur ein dünner Bündelknochen vorhanden ist. Die Extraktionsalveole und der vorwiegend vorhandene spongiöse Knochen können dem respiratorischen Überdruck aus dem Sinus maxillaris, nicht standhalten was folglich zu einem großen Volumenverlust führen kann (2, 20, 21). Die Tendenz zur Pneumatisierung ist nach der Extraktion von Molaren im Vergleich zu Prämolaren signifikant höher (22).

In Abhängigkeit von individuellen lokalen und systematischen Faktoren kann der Grad des Knochenumbaus variieren, er führt jedoch im Allgemeinen sowohl zu einer horizontalen als auch zu einer vertikalen irreversiblen Kieferkammreduktion (23).

Der Knochenverlust und die Pneumatisierungsanfälligkeit der Kieferhöhle nach einer Zahnextraktion können die spätere Platzierung eines Implantats erschweren (20). Dadurch ist der Erhalt der knöchernen Strukturen eine Voraussetzung für ein funktionelles und ästhetisches Ergebnis (1, 20). Neben den genannten Faktoren muss allerdings auch die Dichte des Oberkieferknochens bei der Implantation berücksichtigt werden (17, 20, 24, 25). So ist die Dichte im Oberkiefer-Seitenzahnbereich deutlich geringer als im Frontzahnbereich oder im Bereich des gesamten Unterkiefers (25).

Es wird empfohlen, Implantate in Bereiche zu setzen, bei denen die bukkalen und lingualen Knochenwänden etwa 1 bis 2 mm breit sind, um eine stabile Knochenhöhe erhalten zu können (13). Daher empfehlen einige Autoren, den Knochen im Bereich der Extraktionsalveole zu erhalten, indem verschiedene Knochenaufbaumaterialien in die Extraktionsalveole eingesetzt werden, z.B. xenogener, autologer, alloplastischer oder allogener Knochen (19, 26). Dieses Vorgehen wird auch als „Alveolar Ridge Preservation“ bezeichnet (ARP). Damit konnten mehrere Studien zeigen, dass die Aufrechterhaltung der anatomischen Dimensionen des Alveolarkamms möglich war (20, 23, 27).

Einige Autoren haben gezeigt, dass im Vergleich zu nicht augmentierten Stellen das Profil der Kieferkämme die mit einer Ridge Preservation behandelt wurden besser erhalten werden konnte (23, 26, 28). Außerdem konnte gezeigt

---

werden, dass durch die Transplantate das umliegende Weichgewebe daran gehindert wird, in die heilende Alveole hineinzuwachsen, was gleichzeitig der Knochenneubildung zugutekommt (13). Die Behandlungen konnten jedoch weder das Volumen noch die Konturveränderungen vollständig verhindern (13, 28).

Ein häufig durchgeführter chirurgischer Eingriff, um die vertikale Höhe zu verändern ist die Sinusbodenelevation. Diese erlaubt nach Augmentation, Implantate im Seitenzahnbereich des Oberkiefers zu inserieren (29, 30). Als Synonyme werden für die Augmentation die Begriffe Sinuslift oder Sinusbodenaugmentation verwendet. Langzeitstudien zeigen sehr hohe Überlebensraten von Implantaten, die in den aufgebauten Knochen im Sinusbereich inseriert wurden (31, 32). Dennoch bleibt es ein aufwendiger operativer Eingriff, der nicht selten zu Komplikationen führen kann (33, 34).

Das Ziel dieser Promotionsarbeit ist die Auswertung einer prospektiven Studie zur Alveolar Ridge Preservation im Seitenzahnbereich des Oberkiefers unter Verwendung von bovinem Knochenersatzmaterial und einer resorbierbaren Kollagenmembran im Vergleich zu einer Spontanheilung nach Zahnextraktion.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Folgen von Zahnverlust

Auf den Verlust von Zähnen folgt eine irreversible Resorption des umliegenden Alveolarknochens, der zuvor eine Schlüsselrolle bei der Verankerung der Zähne im Knochen durch die desmodontalen Fasern eingenommen hatte (35). Bedingt ist die Resorption zum einen durch die Inaktivitätsatrophie aufgrund der fehlenden Kräfteinleitung über die Zähne in den Alveolarfortsatz (36) und zum anderen durch die Umwandlung des Bündelknochen zum Geflechtknochen und Knochenmark (19, 37). Dennoch spielen auch weitere Faktoren wie das chirurgische Trauma oder die Genetik hierbei eine bedeutende Rolle (13).

Die Folgen sind ein horizontaler und vertikaler Knochenabbau, welcher innerhalb des ehemals zahntragenden Kieferkammabschnitts stattfindet (Abbildung 2.1).

Der Prozess der während der Heilung der Extraktionswunde stattfindet, wird als „socket healing“ beschrieben (13). In dieser Phase finden Umbauprozesse statt, die dazu führen, dass die ursprüngliche Kieferkammbreite um bis zu 50 % reduziert wird, wobei die Knochenresorption auf der bukkalen Seite größer als auf der lingualen/palatinalen Seite ist, sodass sich die Mitte des Kieferkamms folglich nach lingual/palatinal verschiebt (13, 37).

Des Weiteren finden die größten Veränderungen bereits innerhalb der ersten drei Monate nach Zahnextraktion statt (13, 18). Dies ist maßgeblich durch die Resorption des Bündelknochen bedingt, der den inneren Teil der Alveole auskleidet und ähnlich wie das parodontale Ligament eine zahnabhängige Struktur darstellt (13).

Was der Bündelknochen für eine entscheidende Rolle in Bezug auf die Resorption des Kieferkamms einnimmt, konnte durch *Kalsi et al.* gezeigt werden. In Bereichen, in denen der Bündelknochen eine Breite von  $\leq 1$  mm aufweist, konnte bereits ein durchschnittlicher Verlust an vertikaler Knochenhöhe der vestibulären Knochenlamelle von 7.5 mm, acht Wochen nach der Zahnextraktion erwartet werden, während dieser Verlust sich auf 1.1 mm bei einer Breite des Bündelknochens  $\geq 1$  mm beschränkte (18).

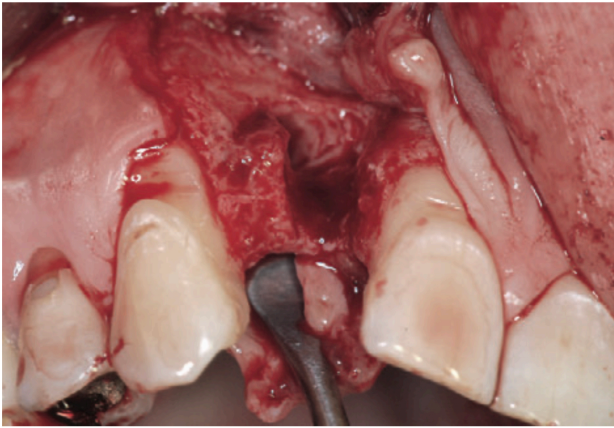


Abbildung 2.1: Zustand des Alveolarfortsatzes 8 Wochen nach Zahnextraktion mit vollständiger Resorption der bukkalen Alveolenwand (Khoury et al., 2009, S.11) (2)

## 2.2 Knochenheilung

### 2.2.1 Heilung der Alveole

Der Alveolarknochen zeigt im Vergleich zu dem übrigen Skelett einige Besonderheiten. Während normalerweise kleinere Knochenläsionen ohne großen Volumenverlust repariert werden, kommt es beim Alveolarknochen im Rahmen des Reparaturvorgangs immer zu einem Volumenverlust (2).

*Cardaropoli et al.* haben die genauen Veränderungen der Extraktionsalveole durch histologische Beobachtungen in Studien mit Hunden feststellen können (38). Bereits am ersten Tag nach der Extraktion wurde die Alveole von einem Blutkoagel gefüllt, das hauptsächlich aus Erythrozyten und Thrombozyten eingeschlossen in einem Fibrinnetz bestand (38). Nach drei Tagen war das Blutkoagulum bereits durch hochvaskularisiertes Granulationsgewebe ersetzt worden. Am siebten Tag konnten neu gebildete Blutgefäße und unreife mesenchymale Zellen erkannt werden, die in die Primärmatrix eingewachsen waren. Nach 14 Tagen war der größte Anteil des Bündelknochens und des parodontalen Ligaments bereits verschwunden und neuer Knochen begann sich zu bilden. Dreißig Tage nach der Zahnextraktion begann der eigentliche Remodellierungsprozess. Hierbei konnte beobachtet werden, dass der primär gebildete Geflechtknochen teilweise durch die Osteoklasten abgebaut und nach 90 Tagen in den vielen Bereichen in Lamellenknochen und Knochenmark umgebaut wurde. Dieser enthielt viele Entzündungszellen, Adipozyten und große Blutge-

fäße. Nach 180 Tagen konnte beobachtet werden, dass sich Kollagenfasern aus der Schleimhaut in den neu gebildeten Knochen einlagern, wodurch eine Periost-ähnliche Struktur entstand. Außerdem reduzierte sich der im Knochenmark vorhandene Anteil an Entzündungszellen (38).

Das Ende des Heilungsprozesses der Alveole nach einer Zahnextraktion kennzeichnet sich durch den Verschluss des Alveoleneingangs durch festes epithelisiertes Weichgewebe (13). Die Dauer dieses Vorgangs kann allerdings durchaus variieren in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren wie der Größe der Alveole oder dem entstandenen chirurgischen Trauma (13).

### **2.2.2 Frakturlehre**

Die Knochenheilung findet statt, wenn aufgrund eines Unfalls oder einer Krankheit Gewebe verloren geht. Anders als beim Knorpelgewebe ist der Knochen im hohen Maße zur Regeneration befähigt (2). Der biologische Ablauf kann dabei in drei wesentlichen Schritten zusammengefasst werden: zelluläre Kondensation, zelluläre Differenzierung und Matrixsynthese und Matrixmineralisation (2).

Bei einer Verletzung des Knochens kommt es gleichzeitig immer auch zu einer Verletzung der versorgenden Gefäße. Infolgedessen resultieren Hypoxämie, unzureichende Nährstoffzufuhr mit Beeinträchtigung des Stoffwechsels und eine pH-Wert-Absenkung. Dies wiederum führt zu zellulären Nekrosen. Durch die freigesetzten Blutzellen aus den Gefäßen entsteht in Verbindung mit dem Blutplasma ein Blutkoagel und somit eine Ansammlung von Zellen, welche für den Stillstand der Blutung, der primären Hämostase, sorgen (zelluläre Kondensation) (2). Durch die Zellen des Blutkreislaufs kommt es zur Freisetzung zahlreicher Zytokine und Wachstumsfaktoren wie PDGF, TGF- $\beta$ , FGF-1, IL-1 oder BMP-2 bis-7 (2, 39). Hierdurch werden insbesondere Vorläuferzellen chemotaktisch angezogen, die sich zu Osteoblasten, Osteoklasten und Endothelzellen differenzieren können (Zelluläre Differenzierung) (2, 39).

Die Osteoblasten sind maßgeblich an der Knochenneubildung beteiligt, indem sie die kollagene Knochenmatrix (Osteoid) produzieren, aus der durch Minera-

lisationsvorgänge die Knochenhartsubstanz entsteht. Während des Prozesses der Knochenbildung werden die Osteoblasten aus ihrer aktiven Form in eine inaktive überführt und in die Knochenmatrix eingemauert. Diese sogenannten Osteozyten sind allseits von der Knochenmatrix umgeben und bilden mit dem zentrisch angelegten Havers-Kanal eine strukturelle und metabolische Einheit als Osteone (2).

Die Osteoklasten hingegen sind für die Resorption der Knochensubstanz verantwortlich. Zur Vergrößerung ihrer Oberfläche besitzen sie die sogenannten „Ruffled border“, an denen Protonen freigesetzt werden können, die den pH-Wert senken und dadurch die Hartsubstanz auflösen. Ihre Aktivität wird zum einen durch die Interaktion mit Osteoblasten und zum anderen durch Zytokine gesteuert (2).

An der Frakturstelle kommt es zu einer komplexen Interaktion zwischen Wachstumsfaktoren, Osteoblasten und der Extrazellulärmatrix (EZM). Dabei nimmt die EZM wichtige Funktionen ein, wie die Bereitstellung eines Gerüsts für die Knochenneubildung (39). Innerhalb des Blutkoagels der Fraktur kommt es zur Neubildung von Gefäßen, zur Ausbildung von Granulationsgewebe und schließlich zum Ersatz des Koagels durch die Stützgewebe des Körpers (2).

An der entstandenen Matrix aus Kollagen, Proteoglykanen und Glykoproteinen vollzieht sich der Mineralisationsvorgang durch die Osteoblasten (Matrixsynthese und -mineralisation) (2).

Die funktionelle Adaption des Knochens wird maßgeblich durch lokale Werte von Stress und Strain beeinflusst (2, 40). Funktionelle Vorgänge des Kauens werden über die Zähne als Stress und Strain auf den umgebenden Alveolarknochen übertragen und sorgen für die Umstrukturierung dieses Knochens (2, 39, 41). Dabei bestimmt die Intensität und Frequenz von Stress und Strain die spätere Struktur des Knochens, wie die Dicke der Kortikalis und der Trabekel (2).

Die Knochenheilung ist maßgeblich von der Größe des Defekts abhängig (2, 42). Während kleinere Defekte mit einer Größe von 0,2 mm konzentrisch mit lamellärem Knochen gefüllt werden, entsteht in größeren Defekten zunächst eine Leitschiene aus Geflechtknochen, in dessen intertrabekulären Räumen sich lamellärer Knochen einlagert.

Im Laufe der Zeit kommt es durch Havers-Remodellierung zum Umbau, bei dem die primären Osteone, die funktionelle Einheit des Knochens, durch sekundäre ersetzt werden, wodurch der lamelläre Knochen seine endgültige Festigkeit erhält (2).

## **2.3 Knochenaufbaumaterialien**

### **2.3.1 Definition, Einteilung und Eigenschaften**

Ein Knochenaufbaumaterial ist ein natürliches oder synthetisches Material, das entweder lebensfähige Zellen enthält oder nur aus einer mineralisierten Knochenmatrix besteht und dazu dient, einen knöchernen Defekt aufzufüllen (43). Die Hauptfunktionen der Knochenaufbaumaterialien bestehen zum einen aus der Defektauffüllung mit der Defektstabilisierung und zum anderen darin, die Knochenregeneration zu stimulieren, um Stabilität für ein zukünftiges Zahnimplantat gewährleisten zu können (43, 44). Knochentransplantate werden somit vielfältig eingesetzt, wie bei Kieferkammaugmentationen, Sinusbodenelevationen oder der Ridge Preservation (44).

Knochenaufbaumaterialien können entweder als Blockform oder partikulär vorliegen. Je nach Herkunft unterscheidet man verschiedene Arten von Knochenersatzmaterialien: den autologen, allogenen, alloplastischen und xenogenen Transplantaten (Abbildung 2.2) (44). Während der Heilungsphase, in welcher der körpereigene Knochen den Defekt auffüllen wird, ersetzt dieser mit der Zeit die Knochenaufbaumaterialien (44). Deshalb sind an einer erfolgreichen Einheilung der Knochentransplantate drei verschiedene Vorgänge maßgeblich beteiligt: Osteokonduktion, Osteoinduktion und Osteogenese (44, 45).

Bei der Osteokonduktion wird die Knochenneubildung über die Bereitstellung eines Gerüsts in Form einer Leitschiene gefördert, entlang derer die Osteoblasten in das Transplantat migrieren und den neu gebildeten Knochen ablagern können (2, 44, 45).

Bei der Osteoinduktion werden undifferenzierte und pluripotente Zellen dazu veranlasst, neuen Knochen zu bilden, indem sich diese durch morphogene Faktoren zu Osteoblasten differenzieren (18).

Die Osteogenese beschreibt den Prozess, bei dem sich natürliche Knochenzellen im Transplantat befinden, welche an der Knochenneubildung direkt beteiligt sind (2, 44). Die osteogene Potenz kommt ausschließlich bei autologem Knochen vor, da bei anderen Knochenaufbaumaterialien aufgrund von Infektionsgründen keine vitalen Zellen verpflanzt werden (2).

### **2.3.2 Autogene Knochentransplantate**

Autogenes Knochenersatzmaterial wird aus dem Eigenknochen des Patienten hergestellt und kommt somit vom selben Individuum (44, 46). Dabei kann autogener Knochen von extraoral, wie dem Beckenkamm, der Schädelkalotte oder dem Schienbeinplateau oder von intraoral, wie der Symphyse des Unterkiefers, dem aufsteigenden Unterkieferast oder der Crista zygomaticoalveolaris entnommen werden (43). Außerdem wird zwischen Knochenblocktransplantaten, die für zwei- und dreidimensionalen Rekonstruktion von ausgeprägten Kieferkammdefekten verwendet werden, und Knochenchips unterschieden, die als Auffüllmaterial eines Defekts dienen (2).

Die Besonderheit dieses Transplantats besteht darin, dass es den höchsten Grad an biologischer Sicherheit besitzt, da die im Donorgewebe vorhandenen Antigene identisch mit denen des Empfängers sind und somit eine immunologische Transplantatabstoßung ausgeschlossen ist (43).

Neben der osteogenetischen Eigenschaft ist der autogene Knochen auch osteokonduktiv- und induktiv, weshalb er noch heute von vielen Seiten als Goldstandard für Kieferkammrekonstruktionen bezeichnet wird (43, 44, 47-49).

Dabei wurde die Verwendung autogener Knochentransplantate für osseointegrierte Implantate erstmals von Brånemark und Kollegen diskutiert (47, 50).

Für die korrekte Einheilung des Transplantats spielt auch die Art des Knochens eine entscheidende Rolle, da das Material idealerweise resorbiert wird und anschließend durch neu gebildeten Knochen ersetzt werden soll (43). Während die Kortikalis für eine strukturell-mechanische Stabilität sorgt und osteokonduktiv wirkt, dient die Spongiosa mit ihrer trabekulären Oberfläche der Schaffung eines osteoinduktiven Umfelds. Bedingt durch ihre ideale Struktur und Porengröße, wird die Revaskularisierungsrate gesteigert und somit der Remodellie-

rungsprozess beschleunigt, wodurch dessen Gerüstmatrix nicht so lange vorhanden bleibt wie das der Kortikalis (2, 43).

Es konnte gezeigt werden, dass Blockknochentransplantate, die für eine Sinusbodenaugmentation verwendet wurden, innerhalb eines 6-Jahres-Intervalls eine geringere Resorptionsrate aufwiesen als partikuläre Knochentransplantate von derselben Spenderregion (51).

Sowohl die Annahme der möglicherweise entstehenden Entnahmemorbiditäten an der Spenderregion der autogenen Transplantate als auch die Notwendigkeit eines zusätzlichen Operationsgebiet haben dazu geführt, dass Knochenersatzmaterialien immer mehr an Bedeutung gewonnen haben (47).

### 2.3.3 Allogene Knochentransplantate

Eine direkte Alternative zum autogenen Knochentransplantat ist die Verwendung von Allotransplantaten. Diese stammen vom Spender derselben Spezies, aber einem unterschiedlichen Individuum (43). Sie wirken osteokonduktiv und eventuell osteoinduktiv (2). Dabei ist zu erwähnen, dass das osteoinduktive Potential in Abhängigkeit von den Aufbereitungs- und Sterilisationstechniken variieren oder vollständig fehlen kann (2).

Allogene Knochentransplantate, die in der Zahnmedizin am häufigsten zum Einsatz kommen, werden unterteilt in gefriergetrocknete Knochen (FDBA), demineralisierte gefriergetrocknete Knochen (DFDBA), und frisch gefrorene Knochen (FFBA) (52, 53). Während FDBA ein osteokonduktives Gerüst bildet und somit die Migration mesenchymaler Zellen fördert, ist es weder osteoinduktiv noch osteogenetisch wirksam (53). Der demineralisierte Knochen (DFDBA) wird zuvor durch Säure denaturiert, sodass das Gewebe seine Antigeneigenschaften verliert und das immunologische Sensibilisierungsrisiko sinkt (43, 53). Dennoch sind sie nicht frei von der Gefahr, Infektionskrankheiten zu übertragen oder immunologische Reaktionen auszulösen (2, 43). *Strumbras et al.* deuteten darauf hin, dass es durch den Demineralisierungsprozess zu der Freisetzung von Wachstumsfaktoren und Bone morphogenic proteins (BMP's) kommen kann, wodurch dieses Transplantat auch osteoinduktiv wirken könnte (48). Auch die allogenen Knochentransplantate sind sowohl als ganze Knochensegmente als auch als Knochenchips erhältlich, wodurch das Anwendungsgebiet

vielfältig ist (43). Der Vorteil zum autologen Transplantat besteht darin, dass kein zusätzlicher Eingriff zur Entnahme des Knochens am Patienten stattfinden muss.

#### **2.3.4 Alloplastische Knochentransplantate**

Neben den natürlich vorkommenden Biomaterialien existieren auch eine Reihe synthetisch oder halb-synthetisch hergestellter Knochenaufbaumaterialien, die einige der wesentlichen Bestandteile des natürlichen Knochens (z.B. Kalzium) enthalten (54). Ihre Wirkung ist ausschließlich osteokonduktiv, allerdings ist diese stark abhängig von ihrer Zusammensetzung und der Herstellungsmethodik (2, 54).

Die Hauptvorteile alloplastischer Transplantate bestehen aus dem nahezu nicht vorhandenen Infektionsrisiko, der Stabilität und der Volumenerhaltung, die den Remodellierungsprozess erleichtern (2, 54). Die am weitesten genutzten Materialien sind bioaktive Keramiken wie Kalziumphosphate oder Hydroxylapatit, wobei diesen Wachstumsfaktoren zugemischt werden können, da zum einen die Regenerationsfähigkeit der alloplastischen Materialien sehr schwach ist und zum anderen dadurch die Osteoblastenproliferation erhöht werden kann (44, 54).

#### **2.3.5 Xenogene Knochentransplantate**

Xenogene Knochentransplantate basieren auf tierischem oder pflanzlichen (phykogen) Gewebe und stammen somit nicht von derselben Spezies ab (46). Sie können vom Rind (bovin), Pferd (equin) oder vom Schwein (porcin) abstammen (44), während die pflanzlichen Knochenaufbaumaterialien in der Regel von kalkbildende Algen gewonnen werden (55).

Die häufigste Quelle im Dentalbereich ist deproteinisierter Rinderknochen (43). Um immunologische Reaktionen ausschließen zu können, werden die organischen Bestandteile der Knochentransplantate entfernt (44). Die verbleibenden Mineralien bilden somit das osteokonduktive Gerüst, dessen Kristallstruktur der

menschlichen Spongiosa sehr ähnelt, welche schnell angiogenetisch erschlossen werden können (44).

Allerdings konnte noch nicht eindeutig geklärt werden, ob bei den komplexen mehrstufigen Aufbereitungsprozessen BMPs in der Matrix zurückbleiben oder nicht (2). Dadurch besteht die Möglichkeit der osteoinduktiven Wirkung (2). Boviner Knochen stellt bisher das am umfangreichsten dokumentierte Knochenaufbaumaterial dar, das sich auch klinisch als vielversprechend erwiesen hat mit erfolgsversprechenden Langzeitergebnissen bei zahnärztlichen Eingriffen (43, 56, 57). Zusätzlich könnte die sehr langsame Resorptionsrate im Gegensatz zum autologen Knochen, der manchmal Resorptionen von > 50 % der ursprünglichen Menge aufweist, für eine längere Stabilität sorgen (57).

Knochenersatzmaterialien konnten ihre Vorteile bereits bei der Sinusbodenelevation zeigen. So ergab eine von *Ozkan et al.* durchgeführte 5-Jahres-Follow-up-Studie, dass nach einem einzeitigen Verfahren zur Augmentation des Kieferhöhlenbodens mit bovinem Knochenaufbaumaterial bereits ein ausreichendes Knochenangebot vorhanden war für eine gleichzeitige Implantatinsertion (56).

	osteokonduktiv	osteoinduktiv	osteogenetisch
autologer Knochen	X	X	X
allogenes Knochenersatzmaterial	X	(X)	
xenogenes Knochenersatzmaterial	X	(X?)	
alloplastisches Knochenersatzmaterial	X		

Abbildung 2.2: Einteilung der Transplantatmaterialien nach ihren Eigenschaften (*Khoury et al., 2009, S.12*) (2)

## 2.4 Alveolar Ridge Preservation

Um die Resorptionsvorgänge nach Zahnextraktionen minimal zu halten und eine einwandfreie Implantation gewährleisten zu können, ist der Erhalt und die Regeneration von Hart- und Weichgewebe entscheidend (1, 13, 14, 20). Alveolar Ridge Preservation bedeutet übersetzt „Erhalt des Alveolarkamms“. Dieser Begriff beschreibt allerdings nur bedingt die Technik, da es nach der Zahnextraktion nicht direkt zum Erhalt, sondern eher zur gezielten Regeneration der Alveole und somit des zahntragenden Kieferkamms kommt. Ziel ist es also, den Knochenverlust so minimal wie möglich zu halten und ihn im Bereich des ehemals stehenden Zahns so weit aufzubauen, dass die Alveole später als Implantatlager genutzt werden kann (Abbildung 2.3) (58).

Dafür werden Knochenaufbaumaterialien in die Extraktionsalveole eingesetzt (13, 18). Diese können auch in Kombination mit einer Kollagenmembran verwendet werden, die krestal der Extraktionsalveole gelegt werden, eine Barrierefunktion einnehmen und somit verhindern, dass das Weichgewebe in die Alveole einwächst (59).

Basierend auf den Empfehlungen des Osteology Consensus Report konnten *Hämmerle et al.* folgende Indikationen für eine ARP festlegen (60). Eine ARP kann somit erfolgen, wenn folgende Indikationen gegeben sind:

- Die Implantation ist zu einem späteren Zeitpunkt geplant, wenn
  - Sofort- oder Frühimplantationen nicht zu empfehlen sind.
  - der Patient für eine Sofort- oder Frühimplantation nicht bereit ist.
  - die Primärstabilität eines Implantats nicht erreicht werden kann.
  - es sich bei den Patienten um Jugendliche handelt.
- Die Konturierung des Kieferkamms ist für eine konventionelle prothetische Behandlung als Pontic notwendig.

Weiterer Konsens wurde in Bezug auf das klinische Vorgehen beschlossen mit Empfehlungen für:

- den primäre Wundverschluss.
- das Anheben eines Lappens und Einbringen von Biomaterialien (Biomaterialien für die Kieferkammkonturierung und/oder für die Barriermembran).
- die Verwendung von Biomaterialien mit einer geringen Resorptionsrate.

In der Literatur wird häufig noch zwischen der Alveolar Ridge Preservation und der Alveolar Socket Preservation unterschieden (58). Obwohl beide Begriffe dieselbe Operationsmethode beschreiben, basieren sie auf unterschiedlichen Ausgangssituationen. Während die Alveolenwände bei der Alveolar Socket Preservation noch in Takt scheinen, ist bei der Alveolar Ridge Preservation der Erhalt der Alveole gemeint, bei der mindestens eine Wand beschädigt oder nicht mehr vorhanden ist (58). In unserer Studie wurden die Ausgangssituationen nicht berücksichtigt, daher kann synonym von Alveolar Ridge oder Socket Preservation gesprochen werden.

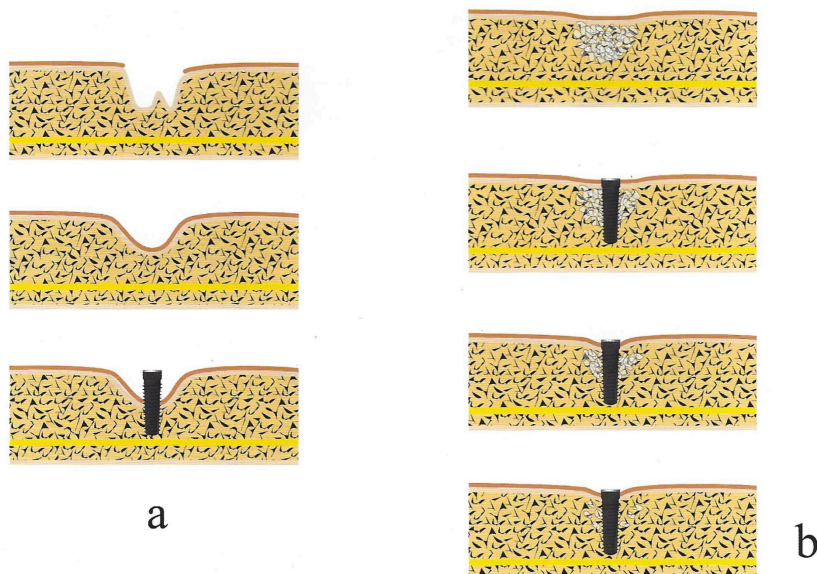


Abbildung 2.3: Situation der Extraktionsalveole mit Implantat a) ohne und b) mit Auffüllung der Extraktionsalveole (Lambrech et al., 2008, S.318) (61)

## 2.5 Sinusbodenelevation

Die Sinusbodenelevation, auch Sinuslift genannt, stellt eine Operationsmethode dar, die bei komplizierten Knochenverhältnissen im Oberkiefer angewendet werden kann (29, 62). Durch die bereits beschriebene Involution des Alveolarknochens und den Pneumatisierungsprozess, kann die vorhandene Knochenhöhe nicht ausreichend sein für eine erfolgreiche Implantationsinsertion (2, 20, 30, 38). So ist neben der Verwendung von kurzen (63) oder angulierten

(25) Implantaten eine der am häufigsten angewandten chirurgischen Techniken der externe oder interne Sinuslift, um genügend Knochenhöhe für eine Implantation zu schaffen (64). Dabei wird der Boden der Kieferhöhle (Sinus maxillaris) angehoben und ein Hohlraum zwischen dem Kieferhöhlenboden und der sogenannten „Schneider Membran“ geschaffen (65). Dieser kann dann mit Knochenaufbaumaterial (autolog/allogen/alloplastisch/xenogen) aufgefüllt werden, um das Implantat sicher verankern zu können (31). Eine intakte Schneider-Membran ist für die Aufrechterhaltung der gesunden Kieferhöhle und für einen funktionierenden Abtransport des Schleims durch das Ostium naturale von wesentlicher Bedeutung (66). Sie dient als biologische Barriere und verhindert gleichzeitig, dass Bakterien ausgehend von der Kieferhöhle in die Nähe der eingebrachten Transplantate gelangen (66).

Die Operationstechnik der Sinusbodenelevation wurde erstmals von *Tatum* vorgestellt und später durch *Boyne et al.* publiziert (24, 65-67). Die Sinusbodenelevation ist sowohl für Einzelzahnimplantate als auch für Kieferaugmentationen für mehrere Implantate indiziert (31), wobei die Implantate entweder gleichzeitig mit dem Einbringen des Transplantats oder in einem zweiten Eingriff eingesetzt werden können (65).

Werden Knochenaufbaumaterialien bei der Sinusbodenelevation verwendet, muss die osteoklastische Aktivität der Schneider-Membran beachtet werden, wodurch das Volumen, welches durch die Augmentation gewonnen wurde, im Laufe der Zeit resorbiert werden kann (2). Die funktionelle Belastung der Implantate sollte frühestens nach 6 Monaten erfolgen, weil die Knochenaufbaumaterialien eine gewisse Zeit benötigen für den Prozess der Knochenneubildung durch die Osteokonduktion. Um die Einheilzeit der Implantate bei der Sinusbodenelevation zu verkürzen, wurde die sogenannte Sandwich- bzw. Schichttechnik beschrieben, bei der das freiliegende Implantatgewinde mit autogenem Knochen bedeckt wird und der Raum zwischen Implantatspitze und elevierter KH-Schleimhaut mit langsam resorbierbaren Knochenaufbaumaterialien als Resorptionsschutz aufgefüllt wird (2).

Die häufigste Komplikation der Sinusbodenelevation ist die Perforation der Schneider-Membran mit einer stark schwankenden Häufigkeit von 10-60 % (33, 34, 68-72). Die Perforation steht häufig im Zusammenhang mit einer sehr dün-

nen Membran, die schnell zu reißen droht beim Versuch sie anzuheben (72). Aber auch weitere Faktoren, wie das Vorhandensein von Septen, pathologischen Veränderungen des Sinus Maxillaris oder vorangegangene Operationen können die Wahrscheinlichkeit einer Perforation erhöhen (72).

Während kleinere Perforationen unbehandelt bleiben können oder genäht werden, wird empfohlen, größere Perforationen mit einer resorbierbaren, stabilen Membran zu decken (34).

In den meisten Studien konnte allerdings kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Erfolgsraten von Implantaten bei Sinusbodenelevationen mit einer perforierten Membran im Vergleich zu einer intakt gebliebenen Membran festgestellt (66, 68, 73). Weitere mögliche Komplikationen sind postoperative Infektionen, starke postoperative Blutungen, Verlust des Transplantatvolumens oder die Migration des Implantats in den Sinus (34).

In Abhängigkeit vom Zugangsweg und der Größe des Augmentats werden zwischen der internen und lateralen Sinusbodenelevationen Unterschiede festgestellt (2).

### **2.5.1 Die interne (krestale) Sinusbodenelevation**

Mittels der gering invasiven Osteotomietechniken kann bei geringfügigen Augmentationen bei einer Mindesthöhe des Alveolarknochens von 5 mm (31, 33) die interne Sinusbodenelevation erfolgen, wie erstmals durch *Summers* beschrieben (2, 32). Dabei wird durch das Bohrlager des Implantats - kortikal des Sinusboden - die Schneider-Membran mit speziellen Instrumenten angehoben und wahlweise Knochenaufbaumaterialien eingebracht (2). Bei dieser Technik wird allerdings nicht nur die Membran angehoben, sondern der Knochen apikal durch die Instrumente verdichtet (Abbildung 2.4) (31). Hierbei ist sowohl eine simultane als auch eine verzögerte Implantation möglich.

Vorteile dieser minimalinvasiven Operationsmethode sind die Vermeidung der Präparation eines lateralen Fensters und die geringeren postoperativen Beschwerden.

Allerdings muss beachtet werden, dass neben der Gefahr der Perforation der Schneider-Membran durch das herkömmliche Summers-Verfahren der internen

Sinusbodenelevation die entstehende Perkussion durch die Instrumente als unangenehm und schmerzhaft empfunden werden können (66, 74).

Dennoch konnte Summers Erfolgsquoten von 96 % fünf Jahre postoperativ mithilfe dieses Verfahrens bei 46 Patientinnen und Patienten erzielen (31, 32).

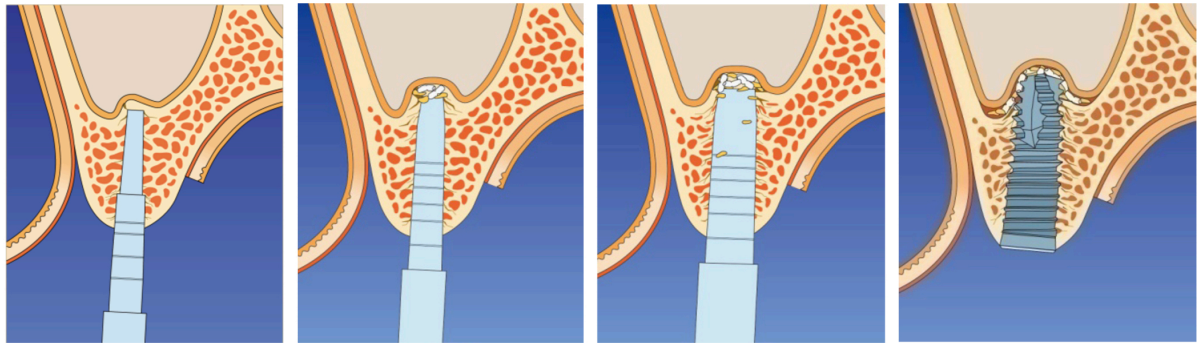


Abbildung 2.4: Prinzip der kristallinen Sinusbodenaugmentation unter Verwendung von Knochenkondensatoren zum Anheben des Kieferhöhlenbodens, Quelle: Dentsply Sirona, Broschüre

### 2.5.2 Die laterale (externe) Sinusbodenelevation

Die laterale Sinusbodenelevation wurde durch *Tatum* erstmals als Augmentationsmethode im Seitenzahnbereich vorgestellt (24, 31). Diese Technik beschreibt die Präparation eines Knochenfensters in die faciale Kieferhöhlenwand mit einem Bohrer oder Ultraschallmesser (Piezo) (29). Ausgangspunkt ist das Vestibulum des Oberkiefers. Durch das geschaffene Fenster kann die Schneider-Membran angehoben werden, sodass ein Raum zwischen der Membran und dem knöchernen Sinusboden geschaffen wird, welcher mit eigenen Knochen und/oder Knochenaufbaumaterialien gefüllt werden kann (Abbildung 2.6) (31). Dies ermöglicht das Einsetzen von Implantaten mit der notwendigen Länge in das verstärkte Knochenlager. Die Vorteile dieses Zugangsweges sind die Schonung der Schneider-Membran mit einer geringeren Wahrscheinlichkeit der Perforation durch die Verwendung eines Ultraschallgeräts (75) sowie die Verwendung dieser Technik bei größeren Augmentationen (2), da die vertikale Knochenhöhe um bis zu 9 mm erhöht werden kann (29).

Dennoch muss beachtet werden, dass Arterien und Septen die Augmentation der Kieferhöhle durch das laterale Fenster erschweren können. Aufgrund der

aufwendigen Operation kann es zu postoperativen Ödemen und Blutungen speziell durch die Verletzung der Arteria Maxillaris kommen (34).

Kann bereits zum Zeitpunkt der Sinusaugmentation die Primärstabilität des Implantats durch ausreichende Höhe und Qualität des Knochenlagers gewährleistet werden, ist auch bei dieser Technik eine simultane Implantation möglich (Abbildung 2.5) (76) .

Hinsichtlich des Behandlungserfolges konnte gezeigt werden, dass es keinen signifikanten Unterschied der Überlebensraten von Implantaten bei simultaner Implantation im Vergleich zu der verzögerten Implantation gab (76).

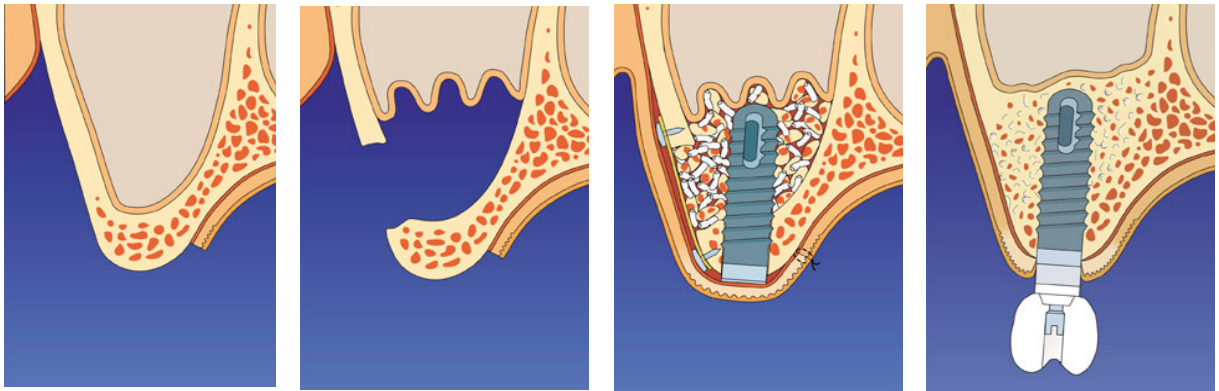


Abbildung 2.5: Schematische Darstellung der laterale Sinusbodenaugmentation mit Einlagerung von Augmentationsmaterialien und sofortiger Implantatinserterion, Quelle: Dentsply Sirona, Broschüre



Abbildung 2.6: Laterale Sinusbodenaugmentation mit Einlagerung von Augmentationsmaterialien, Quelle: eigene Darstellung

## 2.6 Guided Bone Regeneration (GBR)

Die gesteuerte Knochenregeneration (Guided Bone Regeneration) gilt als Methode, bei der durch das Einsetzen einer Barrieremembran, die Regenerationsfähigkeit des eigenen Knochens gefördert wird, um den verloren gegange-

nen Alveolarknochen zum Beispiel nach einer Zahnextraktion wieder aufzubauen (Abbildung 2.7) (77).

Erstmals beschrieben wurde dieses Verfahren von *Hurley et al.* und *Boyne* im Bereich der parodontalen Regeneration, wobei das Verfahren später im Bereich der Implantologie eingesetzt wurde (2, 78).

Bereits in den 1980er Jahren wurde festgestellt, dass die Zellen, die in einen bestimmten Wundraum einwandern, auch die später entstehende Art des Gewebes bestimmen (79, 80).

Deshalb ist das primäre Ziel der Membran, nichtosteogenes Gewebe vom Einwachsen in die Wunde zu hindern, sodass aus dem Blutkoagel heraus neuer Knochen entstehen kann (2). Unter der Verwendung der mechanischen Membran wird also verhindert, dass die schnell proliferierenden Epithel- und Bindegewebszellen den knöchernen Defekt besiedeln und somit das Wachstum von langsam proliferierenden Knochenvorläuferzellen ermöglicht und gefördert wird (Abbildung 2.8) (81). Je nach Form und Lokalisation des Knochendefekts kann die Membran allein oder in Kombination mit Knochenersatzmaterial verwendet und eingesetzt werden (81). Das Weichgewebe wird somit durch die Membran von dem Raum des Defekts getrennt (2)

Spezielle Anforderungen wie Biokompatibilität, Zellokklusivität, klinische Anwendbarkeit und die Integration in das umliegende Gewebe müssen dabei durch die Membranen erfüllt werden (59, 81).

Hinsichtlich der Resorptionsfähigkeit wird zwischen resorbierbaren und nicht resorbierbaren Membranen unterschieden (80).

Zu den nicht resorbierbaren Membranen zählt (expandiertes) Polytetrafluorethylen ((e)PTFE) und Titan-verstärktes ePTFE (80). Diese werden tendenziell bei mittelgroßen und größeren Defekten verwendet und bieten ideale Stabilität für die Aufrechterhaltung eines dreidimensionalen Raums, in dem sich der Knochen regenerieren kann (2, 80). Die Membran wird dabei zusätzlich durch Nägel oder Schrauben fixiert, um Bewegungen dieser auszuschließen.

Nachteil dieser Membranen ist die Tatsache, dass ein weiterer chirurgischer Eingriff notwendig ist, um die Membran nach der Einheilungsphase wieder zu entnehmen (82, 83). Außerdem wird jede Art der Revaskularisation aus den Weichteilen und dem Periost unterbunden, wodurch besonders die Transplan-

tatoberfläche kaum remodelliert und revaskularisiert wird. Dies lässt sich durch die weißlich erscheinende Transplantatoberfläche bei der Entnahme der Membran bestätigen (2).

Um eine weitere Operation zur Entnahme der Membran zu vermeiden, entwickelten Forscher in den 1990er Jahren resorbierbare Membranen (82). Diese bestehen aus Polylactiden bzw. aus Compomeren oder unvernetztem Kollagen (80, 82). Sie besitzen keine kontrollierte Dauer der Barrierefunktion, da der Zeitraum bis zum vollständigen Abbau stark variieren kann (61). Die Herausforderung besteht in der Fixierung der Membran durch Knochennadeln oder Nähte (77). Ist diese nicht suffizient, kann es zur Mobilisierung des darunter liegenden Transplantats kommen (77).

Zusätzlich haben resorbierbare Membranen ein weiteres Kriterium zu erfüllen. So soll die aus der Resorption der Membran entstehende Gewebereaktion minimal sein, sodass die Regeneration des Gewebes nicht negativ beeinflusst wird (80, 84).

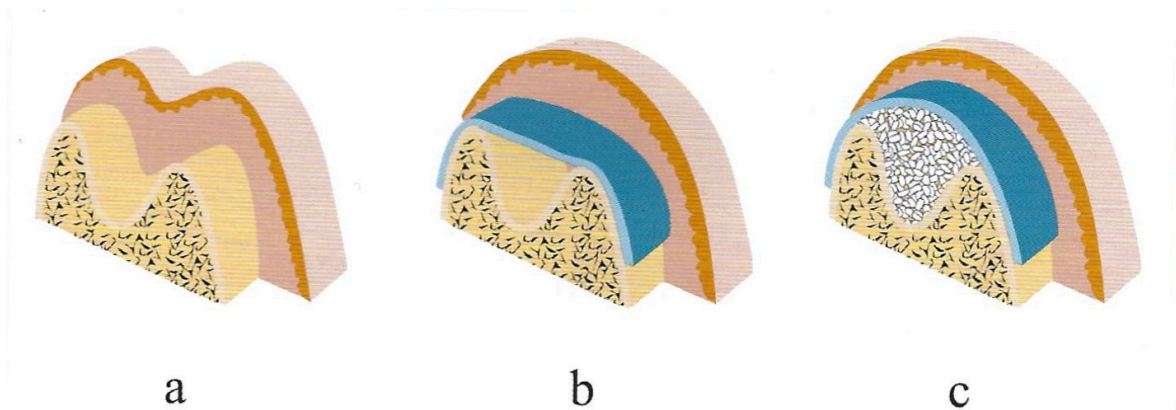


Abbildung 2.7: Schematische Darstellung der membrangeschützten gesteuerten Knochenregeneration (GBR). Durch die Verwendung von Knochenersatzmaterial und einer Membran kann zusätzliches Volumen gewonnen werden (Lambrecht et al., 2008, S.317) (61)

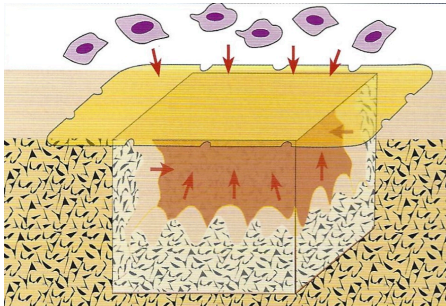


Abbildung 2.8: Durch die Membran können die schnell wachsenden Fibroblasten nicht in den Knochendefekt eindringen sodass die langsam wachsenden Osteoblasten / neuen Knochen bilden können (Lambrecht et al., 2008, S.313) (61)

## 2.7 Vermeidung einer Sinusbodenelevation

Das Vorhandensein der Kieferhöhle und der teilweise begrenzte Raum an vertikaler Knochenhöhe sind Hindernisse, die man beim Inserieren von Implantaten im Oberkiefer-Seitenzahnbereich beachten muss (25). Augmentationsverfahren zur Aufnahme von Standardimplantaten sind zeit- und kostenaufwendig, erfordern chirurgisches Fachwissen und gehen oft mit einer erhöhten Morbidität der Patienten einher (85). Daher sind alternative Konzepte wie kurze oder angulierte Implantate von zunehmendem klinischem und wissenschaftlichem Interesse.

### 2.7.1 Kurze Implantate

Die Definition von kurzen Implantaten ist zurzeit noch nicht vollständig geklärt, was die Interpretation der Literatur erschwert. Während von einigen Autoren Implantate mit einer Länge von  $\leq 11$  mm als kurz angesehen werden (86), hat die Gruppe 1 der 6. ITI-Konsensuskonferenz Implantate mit einer Länge von  $\leq 6$  mm als kurz beschrieben (87).

Die Überlebensrate kurzer Zahnimplantate ist ein kontrovers diskutiertes Thema in der Implantologie. Es gibt Studien, in denen eine geringere Überlebensrate bei der Verwendung von kurzen Implantaten im Vergleich zu konventionellen Implantaten nachgewiesen werden konnte (88, 89). Andererseits konnten Übersichtsarbeiten und weitere Studien keinen signifikanten Unterschied in der Verwendung unterschiedlicher Implantatlängen erkennen (63, 90-93).

Allerdings ist die Verwendung von kurzen Implantaten oft mit einem ungünstigen prothetischen Kronen-Implantat-Verhältnis verbunden (94).

Ferner muss beachtet werden, dass auch für die Insertion von kurzen Implantaten eine vertikale Knochenhöhe von 4-7 mm vorhanden sein muss (85).

### **2.7.2 Angulierte Implantate**

Die Platzierung von geneigten Implantaten im Restknochen des Oberkiefers ist eine verbreitete Methode, um die maximale Menge an zugänglichem Knochen für die Implantation zu erreichen, die Primärstabilität der Implantate zu erhöhen und eine implantatprothetische Versorgung ohne zusätzlichen chirurgischen Aufwand zu ermöglichen (25, 95). Diese können dann in anatomischen Strukturen wie dem Pterygoid oder dem Tuber platziert werden (96-99). Vorteil dieser Implantatinsertion ist die Möglichkeit, die Suprakonstruktion weiter nach distal verlängern zu können (95).

Allerdings werden angulierte Implantate weniger bei Einzelzahnimplantaten, sondern mehr bei teilweise oder vollständig unbezahnten Kiefern und somit größeren Brückenkonstruktionen und Prothesen verwendet (100).

### **2.7.3 Zygoma Implantate**

Eine weitere effektive prothetische Rehabilitation von Patienten mit ausgedehnten Defekten im Oberkiefer kann durch die Verankerung langer Implantate (30-52.5 mm) im Jochbogen erreicht werden (101). Die Platzierung der Implantate im Jochbogen (Os zygomaticum) wurde erstmalig von *Brånemark* untersucht und beschrieben (97). Die Implantate werden dabei in einem steilen Winkel in die Knochenstruktur des Jochbeins eingebracht.

Bei starker horizontaler Belastung neigen diese Implantate allerdings zum Verbiegen. Dies ist auch durch die begrenzte Verankerung im Kieferkammabschnitt bedingt. Obwohl mithilfe der Zygoma-Implantate gute Langzeiterfolge erzielt werden konnten, bleibt die Hauptindikation die Unterstützung des Oberkiefer-Seitenzahnbereichs bei vollständig zahnlosen Patienten mit schwerer

---

Resorption des Kieferkamms und signifikanter Sinuspneumatisierung (101, 102).

## **2.8 Ziel der Arbeit**

Das Ziel dieser Promotionsarbeit ist die Auswertung einer prospektiven kontrollierten Studie zur Alveolar Ridge Preservation im Seitenzahnbereich des Oberkiefers unter Verwendung von bovinem Knochenersatzmaterial (Straumann® XenoFlex) und einer resorbierbaren Kollagenmembran (Jason® Membran) im Vergleich zu einer Spontanheilung nach Zahnextraktion. Dabei wurden Daten erhoben, um die minimalinvasive Technik als Alternative zur aufwendigen Sinusbodenelevation bestätigen zu können.

Primäres Outcome-Kriterium ist somit die Vermeidung einer internen bzw. externen Sinusbodenelevation durch die Alveolar Ridge Preservation. Sekundär wird der vertikale und horizontale Knochenverlust im Bereich der Extraktionsalveole untersucht. Außerdem erfolgt das klinische Langzeit-Follow-Up der inserierten Implantate.

Es wird die Arbeitshypothese angeführt, dass eine Alveolar Ridge Preservation im Oberkiefer-Seitenzahnbereich die Notwendigkeit einer Sinusbodenelevation für die Implantatinsertion verringern kann.

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Studiendesign**

Im Rahmen einer kontrollierten, prospektiven klinischen Studie wurde die Wertigkeit der Alveolar Ridge Preservation mit einem bovinem Knochenersatzmaterial im Seitenzahnbereich des Oberkiefers als Alternative zur Spontanheilung ermittelt, um eine Sinusbodenelevation vermeiden zu können.

Dabei wurden nicht erhaltungswürdige Zähne entfernt und die Alveolen entweder im Anschluss mit bovinem Knochenersatzmaterial aufgefüllt und mit einer resorbierbaren Membran abgedeckt oder unbehandelt belassen. Resorbierbare Fäden wurden verwendet und nach 7-10 Tagen entfernt. Nach 6 Monaten wurde zur Implantationsplanung eine digitale Volumentomographie durchgeführt. Nach weiteren drei Monaten erfolgte die Freilegung des Implantats mit der prothetischen Versorgung. Bild- und Datendokumentation erfolgten bei jedem Schritt. Röntgenaufnahmen in Form von Panoramaschichtaufnahmen und Zahnfilmen der betroffenen Region wurden vor der Extraktion, präoperativ, nach der Augmentation, nach der Implantatinserktion sowie nach der prothetischen Versorgung angefertigt und ausgewertet.

Eine schriftliche Patienteneinwilligung und Aufklärung erfolgten individuell bei jedem Patienten und die Daten durften für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden.

Die Studie wurde in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki durchgeführt. Diese Deklaration gilt als allgemeiner Standard der ärztlichen Ethik.

Das Studienprotokoll wurde von der Ethikkommission der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz unter der Nummer: 2020-15160 genehmigt.

## 3.2 Patientenkollektiv

### 3.2.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Eingeschlossen in die Studie wurden Patienten, denen im Zeitraum vom 08.07.2021 bis 22.01.2024 in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Plastische Operationen – der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz im Rahmen der XenoFlex Studie ein oder mehrere Implantate inseriert wurden.

Folgende Ein- und Ausschlusskriterien wurden für die Patienten definiert:

Einschlusskriterien:

- älter als 18 Jahre
- gesunde Patienten
- Patienten, bei denen eine Extraktion der Oberkieferseitenzähne (Molaren und Prämolaren) erforderlich war
- Patienten, die bereit waren, an der Studie teilzunehmen und bei denen weder lokale noch systematische Bedingungen vorhanden waren, die sie von einer Implantattherapie ausschließen würden
- keine Symptome einer Sinusitis Maxillaris, weder klinisch noch röntgenologisch
- die nicht erhaltungswürdigen Zähne waren symptomfrei

Lokale Ausschlusskriterien:

- Patienten älter als 80 Jahre
- unbehandelte Parodontopathien
- Zähne mit Symptomen einer akuten Infektion wie Klopfempfindlichkeit oder in Verbindung mit einem Abszess
- Vorhandensein einer Sinusitis Maxillaris

Allgemeine Ausschlusskriterien:

- Raucher
- Patienten unter Chemotherapie, Bisphosphonat-Behandlung oder Einnahme immunsuppressiver Medikamente
- Patienten mit schwerer Niereninsuffizienz oder Leberzirrhose

- Patienten unter Bestrahlung
- Patienten mit schwerem Bruxismus oder Zähneknirschen

### 3.3 Operatives Vorgehen

Zu Beginn der Behandlung erhielt jeder Patient eine Instruktion zur oralen Hygiene mit einer anschließenden professionellen Ultraschall-Zahnreinigung und zweiminütigem Gurgeln mit Chlorhexidin 0,2 %. Perioperativ erfolgte bei den Patienten aus der Testgruppe die Gabe von 2g Amoxicillin/Clavulansäure (875mg/125mg) als Tablette. Bei Allergien wurde Clindamycin 600mg als Tablette gegeben. Die Chirurgie wurde in der Regel unter lokaler Anästhesie, manchmal auch in intravenöser Sedierung durchgeführt. Nach dem sterilen Abdecken und Abwaschen erfolgte die Lokalanästhesie unter vestibulärer und palatinaler Infiltration mit 2 % Articain (Ultracain® Adrenaline 1:200.000, Septodont, Niederkassel, Deutschland).

Es folgte die schonende Extraktion der nicht erhaltungswürdigen Zähne im Seitenzahnbereich des Oberkiefers. Zunächst wurden die Sharpey'schen Fasern zirkulär um den Zahn abgetrennt. Sobald der Zahn koronal ausreichend Haltefläche für die Extraktionszange geboten hat, wurde der Zahn durch vertikale und leicht rotierende Bewegungen gezogen. Bei mehrwurzlichen Zähnen erfolgte mithilfe des Hebels die Luxation in vertikaler Richtung. Bei Bedarf wurden die Wurzelreste per Wurzelzange extrahiert. Bei tief zerstörten Zähnen wurde zunächst eine Zahnseparation durchgeführt, um die Wurzeln einzeln schonend mit dem Hebel entfernen zu können. Auch bei tiefen Wurzelfrakturen war man bemüht, die Wurzeln durch transalveolär Osteotomie zu entfernen. Bei keinem Patienten wurde der Mukoperiostlappen aufgeklappt.

Nach Entfernung aller Zahnteile wurden die Alveolen inspiziert und von Granulationsgewebe bzw. Zysten und Pathologien gesäubert und kürettiert. Bei beiden Gruppen wurde ein Valsalva-Manöver durchgeführt und zusätzlich mit einer stumpfen Sonde (Bowmann Sonde) sondiert, um zu prüfen, ob die Schneider Membran beschädigt und perforiert wurde.

Das chirurgische Behandlungsprotokoll war bei allen Patienten der jeweiligen Untersuchungsgruppe identisch.

Das Ziel dieser minimalinvasiven Extraktion war es, die zirkumferenten knöchernen Begrenzungen sowie die interradiikulären und interapproximalen Knochensepten zu schonen, um die künftige Wundheilung der Alveole optimal gestalten zu können.

### **3.3.1 Kontrollgruppe**

Gehörte der Patient der Kontrollgruppe an, wurden die Wundränder der Alveole nach ausreichender Koagelbildung mithilfe von Adaptationsnähten mit nicht-resorbierbarem Nahtmaterial Ethilon™ (5-0, Ethicon®) adaptiert. Die Nähte wurden nach 10-14 Tage entfernt.

### **3.3.2 Testgruppe**

Bei der Testgruppe wurde das bovine Knochenersatzmaterial (Straumann® XenoFlex) direkt in die Alveole eingebracht, epikrestal leicht kondensiert und mit einer resorbierbaren Membran (Jason® Membran) abgedeckt. Die Membran wurde dabei von krestal über die Alveole nach palatinal gezogen. Die Wundränder wurden über die Membran mithilfe von nicht-resorbierbarem Nahtmaterial Ethilon™ (5-0, Ethicon®) adaptiert. Ein vollständig dichter Wundverschluss wurde somit nicht angestrebt. Die Nähte wurden nach 10-14 Tage entfernt.

### **3.3.3 Implantatinsertion/ Sinusbodenaugmentation beider Gruppen**

Bei der Implantatinsertion und/oder Sinusbodenaugmentation wurde eine Stunde vor dem Eingriff mit einer prophylaktischen Antibiotikatherapie von 2g Amoxicillin/Clavulansäure (875mg/125mg) als Tablette begonnen und die Patienten wurden aufgefordert, eine Minute lang mit 0,2 %iger Chlorhexidinlösung zu spülen. Unter lokaler Anästhesie (Ultracain® Adrenaline 1:200.000, Septodont, Niederkassel, Deutschland) erfolgte eine krestale Inzisionen.

Die sequenzielle Osteotomie und Implantatinsertion erfolgte nach den Richtlinien des Herstellers (Straumann® BLX, Institut Straumann AG, Schweiz).

Bei unzureichender vertikaler Knochenhöhe wurde eine Sinusbodenelevation durchgeführt. In Abhängigkeit der vorhandenen vertikalen Knochenhöhe erfolgte eine interne oder externe Sinusbodenelevation.

Die interne Sinusbodenelevation begann mit der krestalen Inzision einer chirurgischen Skalpellklinge Nr. 15 und der Präparation des Weichgewebes. Der krestale Zugang erfolgte durch die Pilotbohrung bis kurz vor die Schneider-Membran. Durch den Einsatz von Kondensatoren und Osteotomen, die sowohl zur Verdichtung des Knochens als auch zur gezielten Durchbrechung und Elevation des Sinusbodens beitragen, konnte der Sinusboden um einige Millimeter angehoben werden, sodass das Implantat mit der gewünschten Länge inseriert werden konnte.

Für die externe Sinusbodenelevation erfolgte die krestale Inzision mit einer chirurgischen Skalpellklinge Nr. 15 und der mesialen vertikalen Entlastungsinzision. Ein Mukoperiostlappen wurde angehoben, um den Zugang zur Seitenwand der Kieferhöhle zu ermöglichen. Es erfolgte ein osteoklastischer Zugang, wobei das knöcherne Fenster mit einem runden Diamantbohrer unter reichlich Kochsalzspülung entfernt wurde. Danach wurde der Sinusboden mithilfe von unterschiedlich angewinkelten Sinusküretten entlang des Bodens der Kieferhöhle vorsichtig angehoben. Nach vollständiger Elevation der Membran wurde die Sinushöhle mit bovinem Knochentransplantatmaterial (Straumann® XenoFlex), das mit Kochsalzlösung vermischt wurde, aufgefüllt und augmentiert, wobei darauf geachtet wurde, dass es nicht zur Perforation der Membran kam. Die Wunde wurde mit resorbierbarem Nahtmaterial Vicryl™ (4-0, Ethicon®) verschlossen. Nach weiteren 4 Monaten konnten das Implantat inseriert werden. Die Erfolgsraten der Implantate und die vertikalen röntgenologischen Veränderungen des Kieferkamms wurden mit Hilfe von Röntgenaufnahmen bewertet.

### **3.4 Entscheidungsbaum für die Implantation**

Nach Extraktion von 53 nicht erhaltungswürdigen Zähnen im Seitenzahnbereich des Oberkiefers wurde entweder eine Alveolar Ridge Preservation mit

einem bovinen Knochenersatzmaterial und einer Kollagenmembran durchgeführt oder eine Spontanheilung abgewartet. Sechs Monate nach der Extraktion wurde zur Implantationsplanung eine digitale Volumentomographie durchgeführt.

Folgendes Protokoll wurde für die Implantatplanung angewandt:

- $\geq 6$  mm vertikale Restknochenhöhe: Implantation eines Straumann® BLX-Implantats ohne Augmentation
- 3-5 mm vertikale Restknochenhöhe: interne Sinusbodenelevation mit einer simultanen Implantation eines Straumann® BLX-Implantats
- 0-3 mm vertikale Restknochenhöhe: externe Sinusbodenelevation mit einer zweizeitigen Implantatinsertion Straumann® BLX-Implantats nach 4 Monaten

### **3.5 Radiologische Untersuchung zur Bestimmung des Knochenabbaus (Knochenverlustanalyse)**

Ein weiterer wesentlicher Parameter zur Bewertung des Implantaterfolgs ist die radiologische Untersuchung zur Bestimmung des Knochenabbaus. Da die Osseointegration nur histologisch überprüfbar ist, muss zur Beurteilung des Zustandes des periimplantären Hartgewebes auf eine röntgenologische Untersuchung zurückgegriffen werden. Diese Untersuchung ist allerdings aufgrund des geringen Auflösungsvermögens und der Tatsache, dass das dreidimensionale Geschehen auf ein zweidimensionales Abbild reduziert wird, limitiert. Dadurch können möglicherweise periimplantäre Veränderungen unentdeckt bleiben (103).

Dennoch bleibt die radiologische Untersuchung zur Beurteilung der ossären Integration des Implantats unverzichtbar (103).

Für die vorliegende Studie wurden sowohl Panoramaschichtaufnahmen als auch intraorale Tubusaufnahmen angefertigt und bewertet.

Im Vergleich zur intraoralen Tubusaufnahme besitzt die Panoramaschichtaufnahme eine geringere Detailwiedergabe, wodurch periimplantäre Veränderungen möglicherweise nicht identifiziert werden können. Dennoch spricht die Praktikabilität und die reduzierte Strahlenbelastung bei der Beurteilung mehrerer Implantate für ein solches radiologisches Aufnahmeverfahren (103).

Des Weiteren wird die Panoramaschichtaufnahme von vielen Studien als verlässliche Methode zur Beurteilung des periimplantären Knochenangebots angesehen (104-106).

Aufgrund der bekannten Implantatdimension war es möglich, die Messwerte zu korrigieren. Dazu wurde die dargestellte Implantatlänge vom Abutment zum Apex am Computer gemessen und mit der vom Hersteller angegebenen Länge verglichen und angepasst. Nach diesem Standard wurde dann die vertikale Knochenhöhe gemessen, wodurch die aufnahmetypischen Verzerrfehler korrigiert werden konnten.

Als Basis für den Vergleich wurde das Röntgenbild vor der Extraktion des Zahns verwendet und das Knochenniveau jeweils mesial und distal des Zahns bestimmt. Als Vergleichsbild wurde dann das Röntgenbild direkt nach Insertion des Implantats verwendet und das Knochenniveau jeweils mesial und distal des Implantats bestimmt. Danach wurden die Mittelwerte der mesialen und distalen vertikalen Knochenhöhe präoperativ und postoperativ erhoben und miteinander verglichen, um zu beurteilen, ob die Knochenhöhe zugenommen, abgenommen oder gleichgeblieben ist.

Aufgrund der Tatsache, dass bei einigen Patienten (n=11) vor der Implantation Sinusbodenelevationen durchgeführt wurden und dadurch erneut vertikale Knochenhöhe gewonnen wurde, wurden diese Patienten aus der Analyse der radiologischen Untersuchung zur Bestimmung des Knochenabbaus ausgeschlossen. Somit konzentriert sich die Analyse ausschließlich auf diejenigen Patienten, bei denen keine weiteren augmentativen Verfahren erforderlich waren.

### 3.6 Erfolgskriterien für Implantate

Es gibt viele verschiedene Ansätze, um den Erfolg eines Implantats zu definieren. Bis heute gibt es keinen allgemeingültigen Konsens.

Der Erfolg der untersuchten Implantate dieser Studie wurden mithilfe der international anerkannten Kriterien (107), die durch *Buser et al.* bestimmt wurden, ermittelt (108, 109).

#### 3.6.1 Erfolgskriterien nach *Buser*

*Buser et al.* definierten 1990 den Erfolg einer Implantation wie folgt (108):

- das Implantat ist in situ
- keine Mobilität des Implantats
- keine periimplantäre Infektion mit putrider Sekretion
- keine persistierende periimplantäre Radiotransluzens
- keine persistierenden Beschwerden wie Schmerz, Fremdkörpergefühl oder Dysästhesien

### 3.7 Statistische Analyse

Für die statistische Auswertung der Daten wurde das Programm SPSS, Version 27 (IBM®, USA), verwendet. Es handelt sich um eine deskriptive und explorative Studie mit der primären Ausgangshypothese, dass die Alveolar Ridge Preservation die Notwendigkeit einer Sinusbodenelevation verhindert. Das sekundäre Kriterium beschäftigt sich mit der Differenz der prä- und postoperativen vertikalen Knochenhöhe zwischen der Kontrollgruppe und der Testgruppe.

Für jeden Faktor wurden Mittelwerte, Standardabweichungen und Konfidenzintervalle berechnet. Die deskriptive statistische Analyse umfasste die Bestimmung von Mittelwerten und Standardabweichungen für kontinuierliche Variablen und die Auswertung von Häufigkeitsverteilungen für kategoriale Variablen. Die Normalität der kontinuierlichen Variablen wurde mit Shapiro-Wilk-Tests überprüft. Die P-Werte wurden mithilfe von t-Tests oder Mann-Whitney-U-Tests für kontinuierliche Variablen, die einer scheinbaren Normalverteilung folgten,

Mann-Whitney-U-Tests für kontinuierliche Variablen, die scheinbar nicht normal verteilt waren, und Chi-Quadrat-Tests mit dem exakten Fischer-Test für kategoriale Variablen, abgeleitet. Zur grafischen Veranschaulichung von Unterschieden wurden Boxplots und Balkendiagramme erstellt. Der Alpha-Fehler wurde auf 0,05 festgelegt.

## 4 Ergebnisse

Von den 53 inserierten Implantaten wurden alle in die statistische Analyse und Auswertung mit einbezogen. Damit beziehen sich die Analysen in den folgenden Kapiteln auf 53 inserierte Implantate bei 40 Patientinnen und Patienten. Von den 53 inserierten Implantaten zählten 31 zur Testgruppe und 22 zur Kontrollgruppe.

Während der Studie wurde ein Implantat als Misserfolg eingestuft, da dieses explantiert werden musste.

### 4.1 Patientenbezogene Charakteristika

#### 4.1.1 Geschlechterverteilung

Von 53 Patientenfällen waren 29 Frauen (55 %) und 24 Männer (45 %)

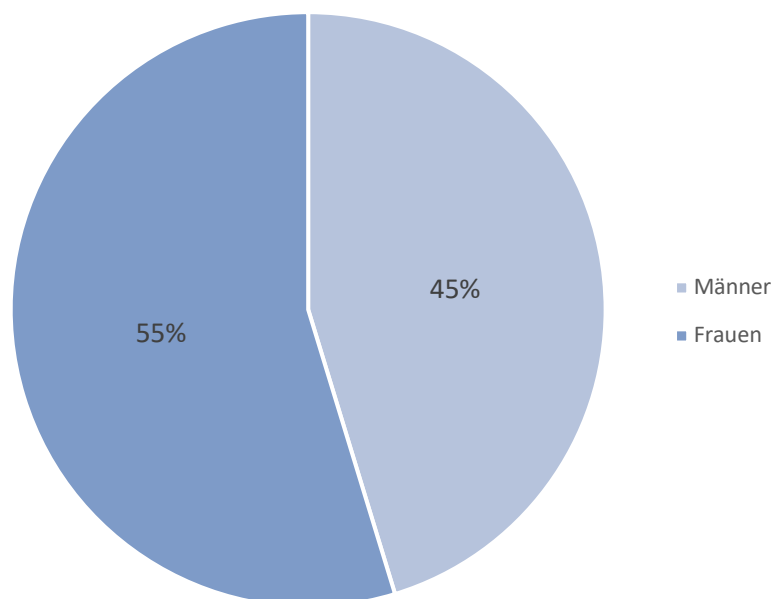


Abbildung 4.1: Geschlechterverteilung

### 4.1.2 Altersverteilung

Das durchschnittliche Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Extraktion betrug 54 Jahre bei einer Altersverteilung von 23 bis 79 Jahren.

### 4.1.3 Kontroll-und Testgruppe

Von den 53 extrahierten Zähnen zählten 31 Zähne zu der Testgruppe und 22 Zähne zu der Kontrollgruppe.

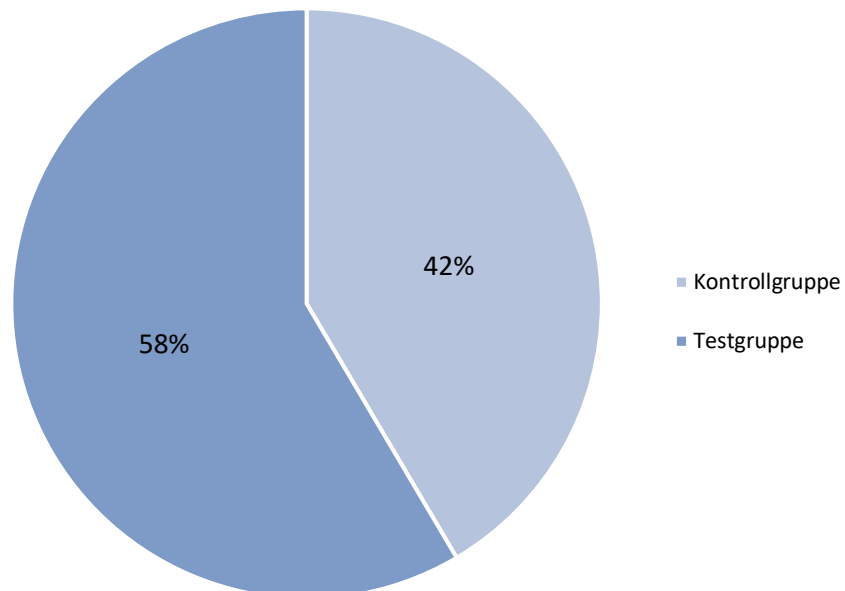


Abbildung 4.2: Kontroll- und Testgruppe

### 4.1.4 Lokalisation

Bezüglich der Lokalisation wurden ausschließlich Implantate im Seitenzahnbereich des Oberkiefers inseriert. Der Seitenzahnbereich umfasst die vorderen Backenzähne (Dentes praemolaris) und die hinteren Backenzähne (Dentes molaris). Von 53 Implantaten wurden 23 in Regio 14-17 und 30 Implantate in Regio 24-27 implantiert.

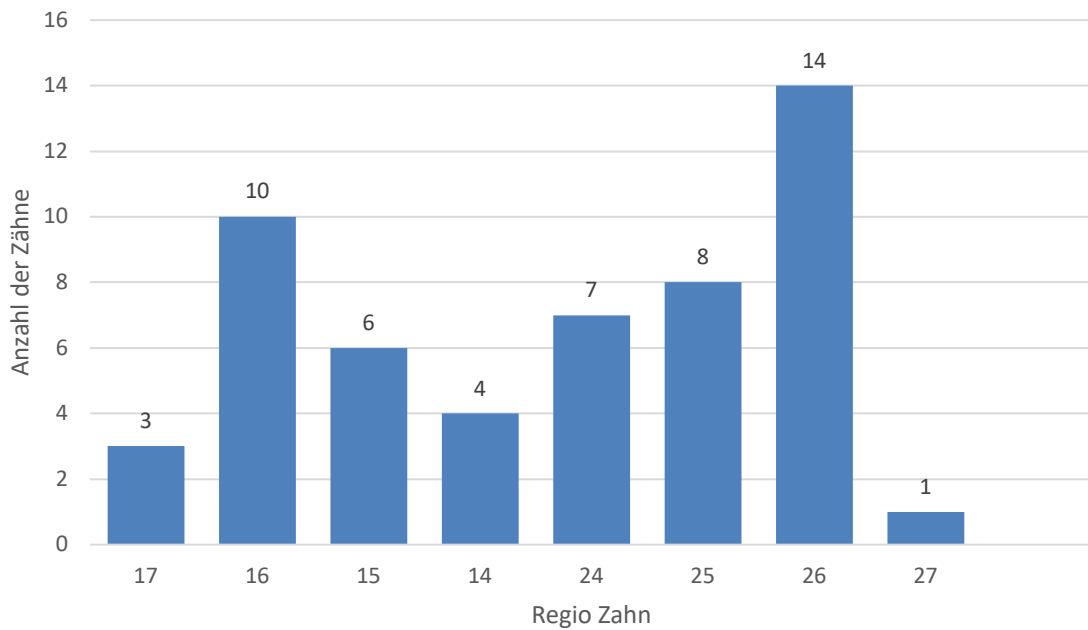


Abbildung 4.3: Lokalisation

#### 4.1.5 Sinusbodenelevation

Insgesamt wurden 11 Sinusbodenelevationen durchgeführt. In der Kontrollgruppe wurden 4 Sinusbodenelevationen durchgeführt, während in der Studiengruppe 7 Sinusbodenelevationen durchgeführt wurden. Insgesamt wurden 10 interne Sinusbodenelevationen und 1 externe Sinusbodenelevation durchgeführt. Die einzige externe Sinusbodenelevation wurde in der Kontrollgruppe durchgeführt.

In der Testgruppe wurden weniger Sinusbodenelevationen durchgeführt als in der Kontrollgruppe. Dieser Unterschied erwies sich allerdings als statistisch nicht signifikant, wodurch kein Unterschied zwischen den Gruppen in der Notwendigkeit einer Sinusbodenelevation gezeigt wurde ( $p=0,168$ ).

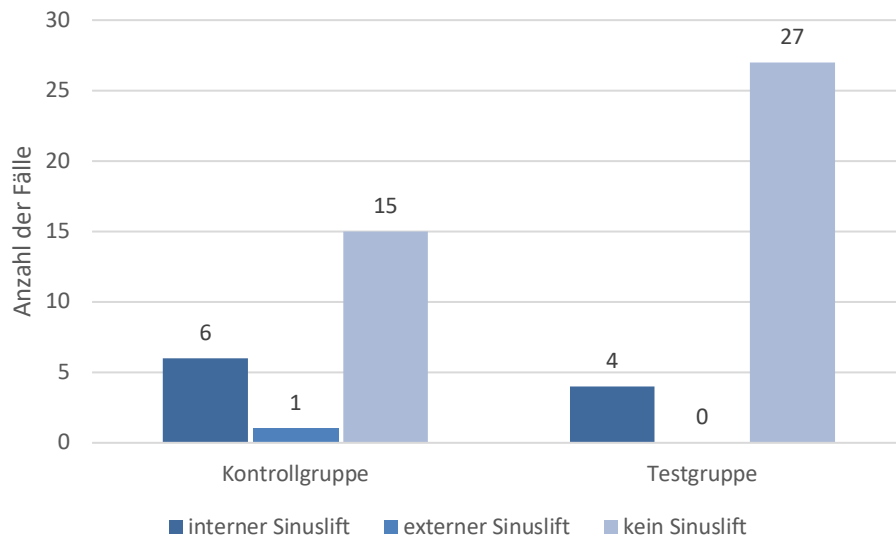


Abbildung 4.4: Notwendige Sinusbodenelevationen

#### 4.1.6 Implantatdurchmesser

Das Straumann® BLX-Implantat wird in den Durchmessern 3,5 mm, 3,75 mm, 4,0 mm und 4,5 mm hergestellt. Ein Implantat hatten einen Durchmesser von 3,5 mm, 26 Implantate einen Durchmesser von 3,75 mm, 9 Implantate einen Durchmesser von 4 mm und 17 Implantate einen Durchmesser von 4,5 mm.

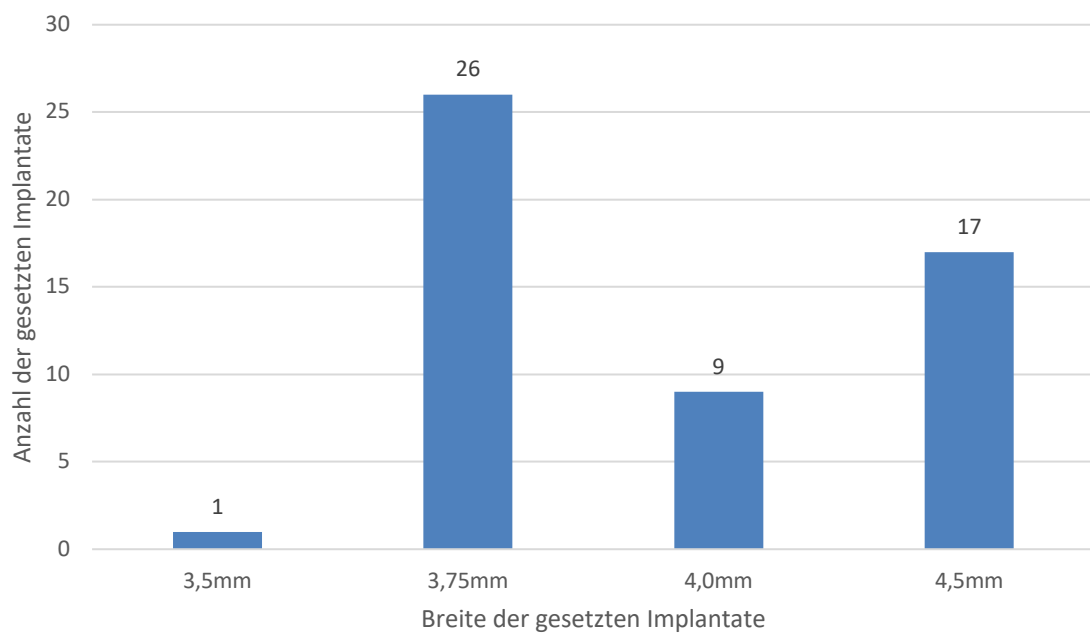


Abbildung 4.5: Implantatdurchmesser

#### 4.1.7 Implantatlänge

Das Straumann® BLX-Implantat wird in den Längen 6 mm, 8 mm, 10 mm und 12 mm hergestellt. Drei Implantate hatten eine Länge von 6 mm, 26 Implantate eine Länge von 8mm, 22 Implantate eine Länge von 10 mm und 2 Implantat eine Länge von 12 mm.

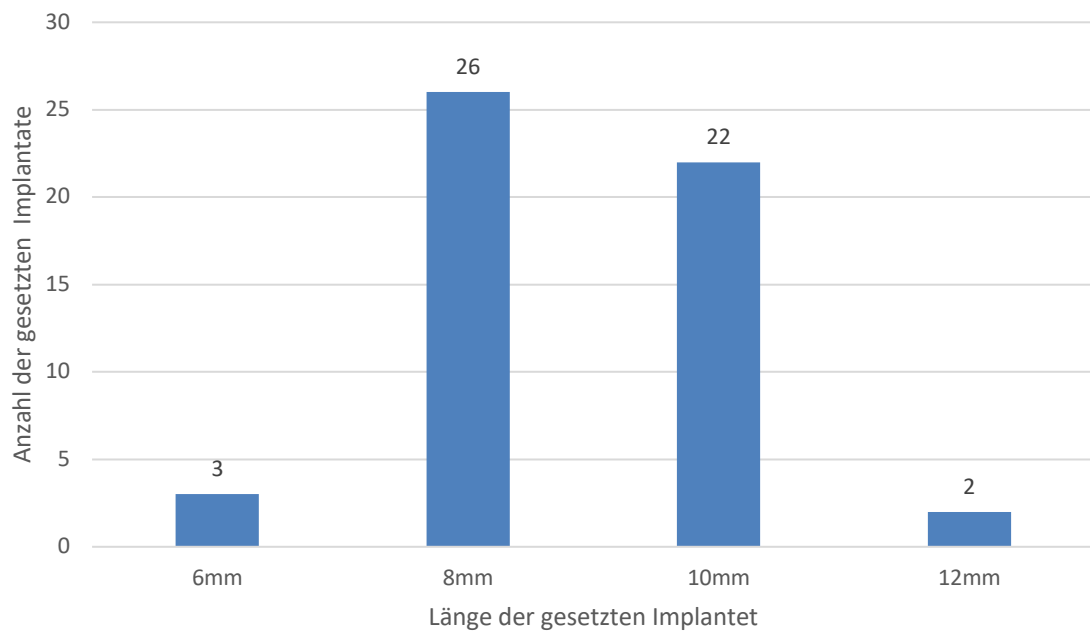


Abbildung 4.6: Implantatlänge

#### 4.1.8 Implantatüberleben

Die Überlebensrate der Implantate betrug in der Kontrollgruppe 100 %, während sie in der Testgruppe bei 96,77 % lag. Es ging ein Implantat während des Studienverlaufs verloren und musste explantiert werden.

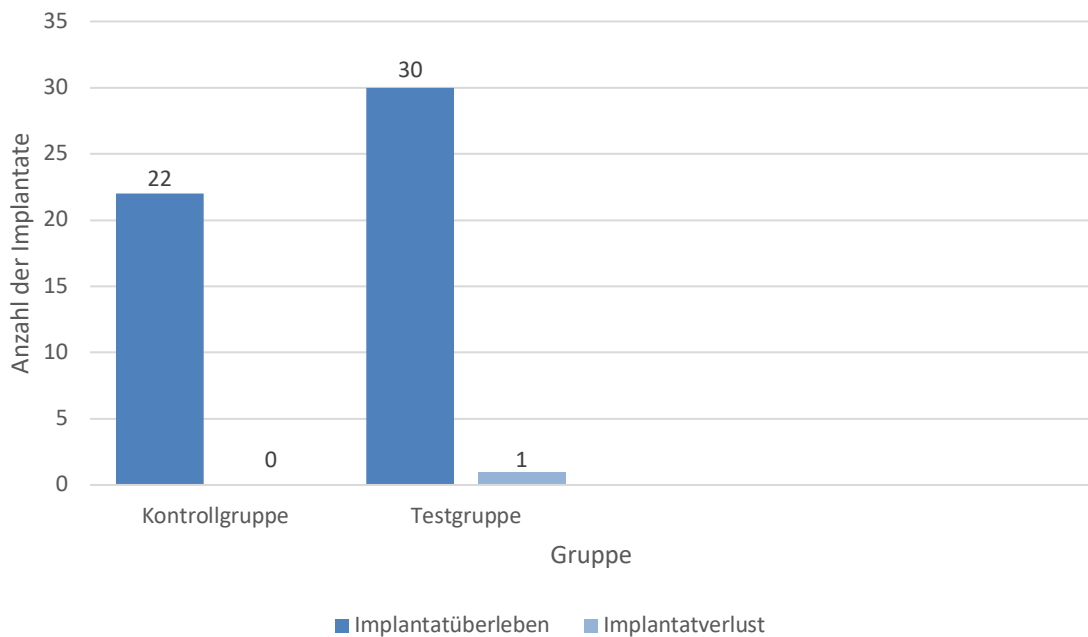


Abbildung 4.7: Implantatüberleben

#### 4.1.9 Erfolgskriterien nach *Buser*

Nach den Kriterien von *Buser et al.* (108) konnte für die Implantate in der Kontrollgruppe eine Erfolgsrate von 100 % festgestellt werden. In der Testgruppe hingegen waren es 96,77 %.

#### 4.2 Radiologische Analyse

In der Kontrollgruppe lag der Mittelwert der röntgenologisch gemessenen Knochenhöhe in (mesial und distal) präoperativ vor Zahnextraktion bei  $11,13 \pm 2,12$  mm, während er postoperativ nach der Implantation bei  $11,3 \pm 2,17$  mm lag. Demge-

genüber lag der Mittelwert in der Testgruppe präoperativ bei  $11,78 \pm 3,09$  mm und postoperativ bei  $11,92 \pm 2,79$  mm.

Diese Analyse umfasst nicht die Extraktionsbereiche, bei denen vor Implantation eine Sinusbodenelevation notwendig war. Somit bezieht sich die Analyse auf 15 Extraktionsbereiche aus der Kontrollgruppe und 27 Extraktionsbereiche aus der Testgruppe. Statistisch konnte hierbei allerdings kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (95%-KI: -1,01 und 1,08,  $p = 0,951$ ).

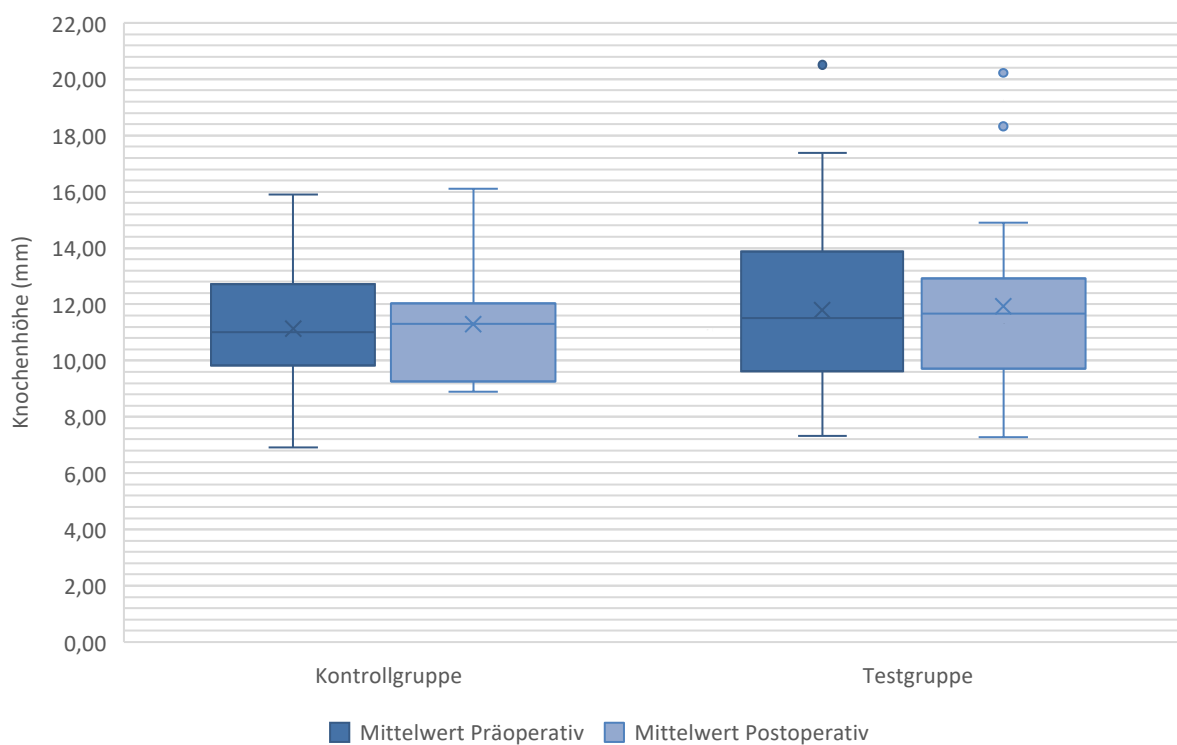


Abbildung 4.8: Prä- und postoperative Mittelwerte

### 4.3 Fallbeispiele

#### 4.3.1 Frau H., 64 Jahre, Testgruppe

Ein gutes Beispiel des Behandlungsablaufes bot der Behandlungsverlauf der 64-jährigen Patientin Frau H.



Abbildung 4.9: Nicht erhaltungswürdiger Zahn 14

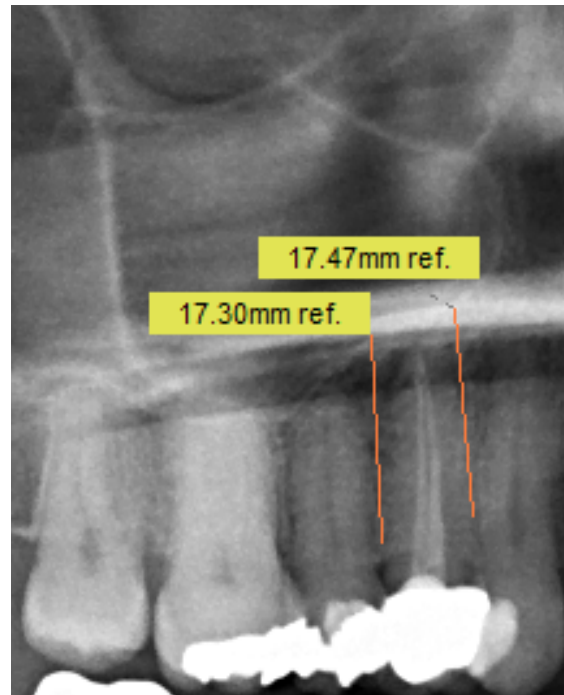


Abbildung 4.10: Die PSA der Patientin, bevor die Krone des Zahns 14 abgebrochen war, Messung der mesialen und distalen Knochenhöhe

Die Patientin stellte sich am 08.04.2021 in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Plastische Operationen – der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz im Rahmen der XenoFlex Studie vor. Der Zahn war aufgrund tiefer Zerstörung (Abbildung 4.8) nicht erhaltungswürdig und musste extrahiert werden. Präoperativ wurde die mesiale und distale Knochenhöhe auf dem OPG (Zahn noch mit vorhandener Krone) gemessen (Abbildung 4.9).



Abbildung 4.11: Zustand nach atraumatischer Zahnextraktion 14

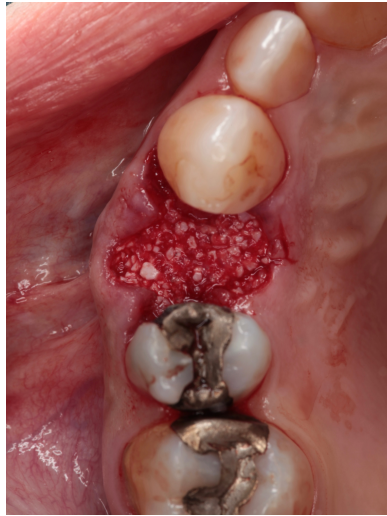


Abbildung 4.12: Auffüllen der Extraktionsalveole mit bovinem Knochenersatzmaterial



Abbildung 4.13: Anschließendes Einnähen einer Kollagenmatrix

Nach schonender Extraktion und Kürretage der Alveole (Abbildung 4.10) wurde das bovine Knochenersatzmaterial mithilfe eines Applikators direkt in die Alveole eingebracht (Abbildung 4.11), epikrestal leicht kondensiert und mit einer resorbierbaren Membran abgedeckt (Abbildung 4.12). Mithilfe von Adaptationsnähten mit nicht-resorbierbarem Nahtmaterial Ethilon™ (5-0, Ethicon®) wurden die Wundränder anschließend adaptiert.



Abbildung 4.14: Dreidimensionale Implantatplanung mittels DVT



Abbildung 4.15: klinische Situation ca. 6 Monate nach Zahnextraktion

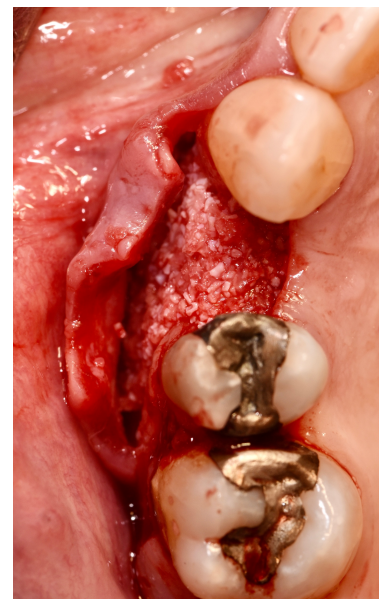


Abbildung 4.16: Intraoperative Situation nach Bildung eines Mukoperiostlappens

Es folgte die dreidimensionale Implantatplanung mittels DVT (Abbildung 4.13). Die klinischen Bilder zeigen den Zustand ca. 6 Monate postoperativ (Abbildung 4.14) unter Bildung eines Mukoperiostlappens (Abbildung 4.15).



Abbildung 4.17: Intraoperative Situation nach Implantatinsertion

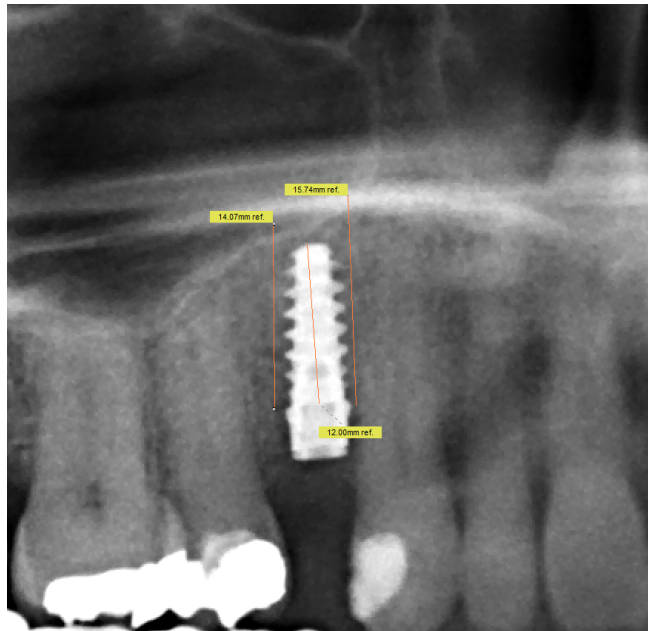


Abbildung 4.18: PSA Aufnahme nach Implantatinsertion und Messung der mesialen und distalen Knochenhöhe am Implantat

Es folgte die Implantatinsertion (Abbildung 4.17) und die anschließende röntgenologische Kontrolle unter Messung der mesial und distalen Knochenhöhe (Abbildung 4.18).



Abbildung 4.19: Prothetische Versorgung des Implantats regio 14, Ansicht von okklusal



Abbildung 4.20: Prothetische Versorgung des Implantats regio 14, Ansicht von vestibulär

Nach weiteren vier Monaten wurde das Implantat prothetisch versorgt (Abbildung 4.19 und 4.20).

Ein Jahr postoperativ erfolgte das Follow Up des versorgten Implantats. Die röntgenologische Betrachtung zeigte eine erfolgreiche Osseointegration. Auch die Patientenzufriedenheit war sehr hoch, sodass man von einer erfolgreichen Implantation sprechen kann.

#### 4.3.2 Frau R., 65 Jahre, Kontrollgruppe

Ein gutes Beispiel des Behandlungsablaufes einer Patientin aus der Kontrollgruppe bot der Behandlungsverlauf der 65-jährigen Patientin Frau R.



Abbildung 4.21: Klinische Situation des nicht erhaltungswürdigen Zahns 15

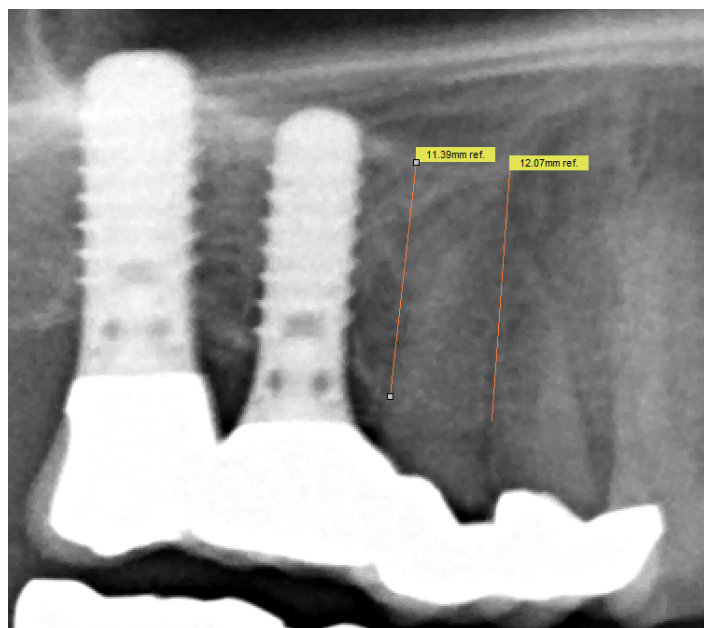


Abbildung 4.22: Die PSA des Patienten, bevor die Krone des Zahns 15 entfernt wurde, Messung der mesialen und distalen Knochenhöhe

Die Patientin stellte sich am 22.12.2021 in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Plastische Operationen – der Universitätsmedizin der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz im Rahmen der XenoFlex Studie vor. Der Zahn war aufgrund tiefer Zerstörung (Abbildung 4.18) nicht erhaltungswürdig und musste extrahiert werden. Perioperativ wurde auch bei dieser Patientin die mesiale und distale Knochenhöhe auf dem OPG (Zahn noch mit vorhandener Krone) gemessen (Abbildung 4.19).



Abbildung 4.23: Zustand nach atraumatischer Zahnextraktion



Abbildung 4.24: Adaptation der Wundränder ohne Einlage eines Knochenersatzmaterials

Nach schonender Extraktion und Kürettage der Alveole (Abbildung 4.20) wurden die Wundränder mithilfe von Adaptationsnähten mit nicht-resorbierbarem Nahtmaterial Ethilon™ (5-0, Ethicon®) adaptiert (Abbildung 4.21).



Abbildung 4.25: Dreidimensionale Implantatplanung mittels DVT



Abbildung 4.26: klinische Situation ca. 7 Monate nach Zahnextraktion



Abbildung 4.27: Intraoperative Situation nach Bildung eines Mukoperiostlappens

Es folgte die dreidimensionale Implantatplanung mittels DVT (Abbildung 4.22). Die klinischen Bilder zeigen den Zustand ca. 7 Monate postoperativ (Abbildung 4.23) unter Bildung eines Mukoperiostlappens (Abbildung 4.24).

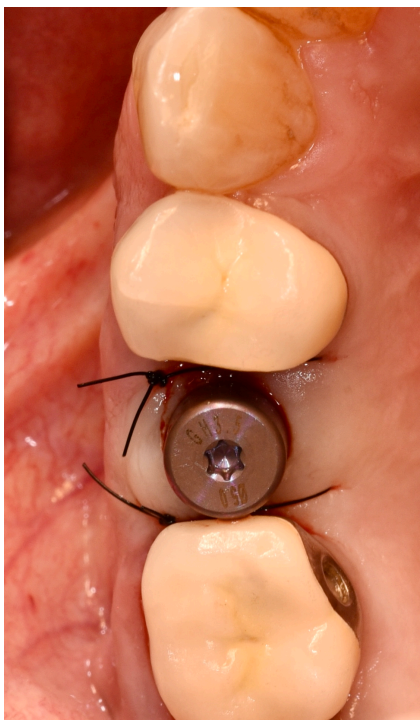


Abbildung 4.28: Intraoperative Situation nach Implantatinsertion und der Verwendung einer Einheitskappe

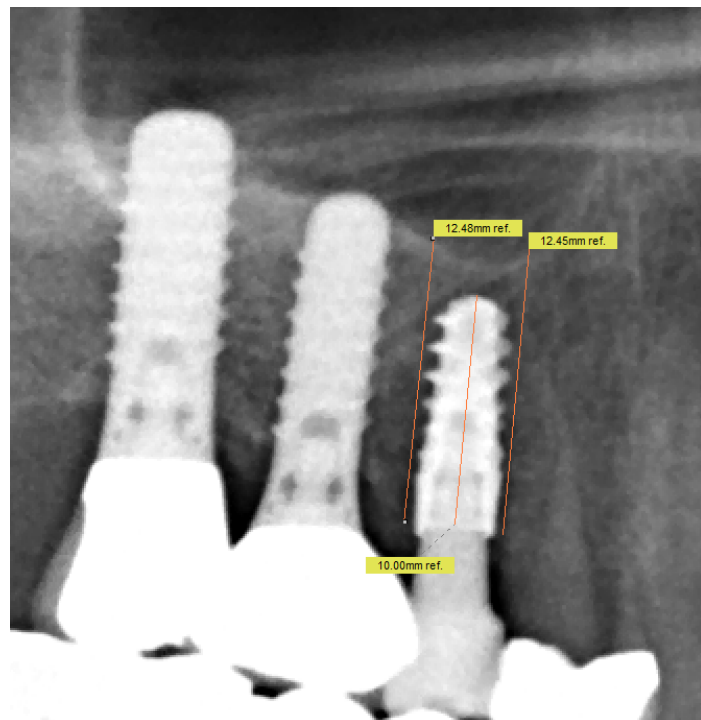


Abbildung 4.29: PSA Aufnahme nach Implantatinsertion und Messung der mesialen und distalen Knochenhöhe am Implantat

Anschließend erfolgte die Implantation (Abbildung 4.25) und die röntgenologische Kontrolle unter Messung der mesial und distalen Knochenhöhe (Abbildung 4.26). Nach weiteren vier Monaten wurde das Implantat prothetisch versorgt (Abbildung 4.30 und 4.31).



Abbildung 4.30: Prothetische Versorgung des Implantats regio 15, Ansicht von okklusal



Abbildung 4.31: Prothetische Versorgung des Implantats regio 15, Ansicht von vestibulär

Auch bei dieser Patientin erfolgte 1 Jahr postoperativ das Follow Up des versorgten Implantats. Die röntgenologische Betrachtung zeigte eine erfolgreiche Osseointegration und zusammen mit den guten klinischen Ergebnissen kann auch hier von einer erfolgreichen Implantation gesprochen werden.

## 5 Diskussion

Die Insertion von Implantaten und somit auch die prothetische Versorgung können durch den entstehenden dreidimensionalen Knochenverlust nach Zahnextraktion negativ beeinflusst werden (14). Dabei findet der Großteil der Hartgewebsatrophie in den ersten zwölf Wochen post-extractionem statt (18). Besonders im Seitenzahnbereich des Oberkiefers spielt der Pneumatisierungsprozess eine bedeutende Rolle beim Verlust der vertikalen Knochenhöhe (20, 22). Deshalb wurden schon früh Methoden entwickelt, um diesen Prozessen des Knochenverlustes besonders im Seitenzahnbereich des Oberkiefers entgegenwirken zu können. Neben der Möglichkeit der aufwändigen Sinusbodenelevation spielt die Alveolar Ridge Preservation eine immer bedeutendere Rolle.

Das primäre Ziel der Alveolar Ridge Preservation ist es folglich, die Kieferkammkontur zu erhalten und das Ausmaß des Verlustes des Kieferkammvolumens signifikant zu vermindern. All dies ist notwendig, um die achsengerechte Insertion von Dentalimplantaten in dieser Region zu ermöglichen und eine funktionell-ästhetische prothetische Arbeit gewährleisten zu können, ohne dass weitere Verfahren wie eine Sinusbodenaugmentation von Notwendigkeit wären. Metaanalysen konnten aufzeigen, dass es eine Vielzahl von Methoden gibt, die die Resorptionsvorgänge und die Knochenbildung der Alveole beeinflussen können (110, 111).

Die prospektive Studie hatte die klinische und radiologische Beurteilung des Erhalts der knöchernen Alveole durch die ARP nach Zahnextraktion zum Ziel. Dabei wurden besonders die Veränderungen der knöchernen Verhältnisse beobachtet und beurteilt.

Für die vorliegende Studie wurden in der Abteilung für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie – Plastische Operationen – der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz zwischen dem 08.07.2021 und 22.01.2024 bei 40 Patienten 53 Implantate inseriert, wovon bei 31 Extraktionsalveolen nach Zahnextraktion bovines Knochenersatzmaterial (Straumann® XenoFlex)

---

mit einer resorbierbaren Membran (Jason® Membran) eingesetzt und bei 22 Extraktionsalveolen die Spontanheilung abgewartet wurde.

Um die vorliegenden Ergebnisse mit internationalen Daten vergleichen zu können, wurde eine Literaturrecherche bezüglich der Alveolar Ridge Preservation zur Kieferkammerhaltung und der Notwendigkeit einer Sinusbodenelevation im Vergleich zur Spontanheilung durchgeführt.

In den folgenden Abschnitten werden unsere Ergebnisse mit weiteren Studien verglichen, die sich mit dem Thema der Alveolar Ridge Preservation beschäftigt haben.

### **5.1 Knochenverlust und die Verwendung verschiedener Biomaterialien**

Um die Behandlungszeit für den Patienten zu verkürzen und den Aufwand zu minimieren, wurden in der Vergangenheit verschiedene Konzepte zur Behandlung der Extraktionsalveole vorgestellt. Knochenersatzmaterialien werden im Bereich der zahnärztlichen Chirurgie schon seit Jahren verwendet, um knöchernen Defekte zu rekonstruieren (2, 18).

So wurde neben der Verwendung von autologem Knochen auch resorbierbare und nicht resorbierbare Knochenersatzmaterialien verwendet, um die Extraktionsalveole aufzufüllen. Im Fokus stehen dabei vor allem xenogene und alloplastische Knochenersatzmaterialien.

Zur Deckung der Alveole reichen Methoden von der Verwendung resorbierbarer oder nicht resorbierbarer Membranen bis zur Verwendung von Gelatine-Vlies oder autologen Schleimhauttransplantaten (18, 23, 112-115).

In einer von *Hanser und Khoury* durchgeführten Studie wurde bei 49 Patienten die Extraktionsalveole mit autogenen Knochenspänen aufgefüllt und durch ein freies Gingiva- und Bindegewebestransplantat abgedeckt (116). In allen Fällen fehlte nach der Zahnextraktion etwa die Hälfte der bukkalen Alveolenwand. Am Tag der Implantation, 10-12 Wochen post extractionem, konnte kein Kollaps der Alveole festgestellt werden. Allerdings wurde bei 19 % der Extraktionsalveolen eine oberflächliche Resorption beobachtet, weshalb eine zusätzliche Kondem-

sation des Knochens in diesem Bereich notwendig war, um eine zufriedenstellende Primärstabilität zu erreichen (116). Die Studie konnte zeigen, dass das Management der Extraktionsalveole mit autogenen Hart- und Weichgewebetransplantaten eine Technik zur langfristigen Erhaltung des Alveolarkamms bietet. Allerdings muss beachtet werden, dass nur Extraktionsalveolen im Frontzahnbereich betrachtet wurden. Dabei konnten Studien zeigen, dass die knöchernen Resorptionsvorgänge im Frontzahnbereich deutlich geringer ausfallen als im Seitenzahnbereich (13, 117). Dies ist auch durch den fehlenden Pneumatisierungsprozess im Frontzahnbereich bedingt.

*Pickert et al.* konnten zeigen, dass in Abhängigkeit von den verwendeten Knochenersatzmaterialien unterschiedliche Erfolgsraten bei der Erhaltung der knöchernen Alveole erzielt wurden. Die Meta-Analyse ergab, dass die Verwendung von xenogenem Knochenersatzmaterial im Vergleich zu allogenen Knochenersatzmaterial zum einen zu einer deutlich geringeren Reduktion des Alveolarkamms sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Dimension führt und zum anderen eine deutlich geringere Resorptionsrate aufwies (115). Diese Erkenntnisse werden durch *De Risi et al.* bestätigt. Es konnte gezeigt werden, dass über 35 % des Transplantats sieben Monate nach der ARP an der transplantierten Stelle noch vorhanden waren. Außerdem zeigten die histologischen Daten, dass die mit xenogenem Knochenersatzmaterial transplantierten Bereiche den geringsten Prozentsatz an neu gebildetem Knochen aufwiesen (113). Dies wiederum konnte die radiologisch gemessene Dimensionsstabilität zur Erhaltung des Alveolarkamms erklären (113). Außerdem konnte gezeigt werden, dass die Dimensionsstabilität der Extraktionsalveole auf der bukkalen Seite deutlich konstanter war als auf der palatinalen Seite (115).

Mehrere Studien, die einen direkten Vergleich zwischen bovinem und allogenen Knochenersatzmaterial für die Ridge Preservation zogen, zeigten Vorteile des xenogenen Materials (115, 118), beziehungsweise keinen signifikanten Unterschied (113, 119).

Bereits 2011 wurde von *Hämmerle et al.* im Osteology Konsensbericht vorgeschlagen, Transplantatmaterialien mit einer geringen Resorptions- und Ersatz-

---

rate für die Alveolar Socket Preservation zu verwenden, um die Dimensionstabilität der knöchernen Alveole zu erhalten (60).

Auch die hier gezeigte Studie konnte die radiologische Dimensionsstabilität des xenogenen Knochenersatzmaterials bestätigen. Während der Mittelwert der mesial und distal gemessenen Knochenhöhe in der Testgruppe präoperativ vor Zahnextraktion bei  $11,78 \pm 3,09$  mm lag, konnte durch die Verwendung eines xenogenen Knochenersatzmaterials postoperativ nach Implantation ein Mittelwert von  $11,92 \pm 2,79$  mm erzielt werden.

Bei direkten Vergleichsstudien innerhalb der Materialgruppe der Knochenersatzmaterialien konnten innerhalb der xenogenen Gruppen keine herstellerabhängigen Unterschiede festgestellt werden (120). Bei den allogenen Knochenersatzmaterialien hingegen konnten Unterschiede in der Präparationsform nachgewiesen werden, wobei DFDBA als überlegenes Transplantat anerkannt wird (18, 119, 121).

In der klinischen Studie von *Schulz et al.* wurden die Volumenstabilität und die histologischen Erkenntnisse von bovinem Knochenersatzmaterial mit autologem Knochen verglichen. Die klinischen Ergebnisse zeigten, dass es keinen signifikanten Unterschied bei den verwendeten Knochentransplantaten gab. Obwohl beide Materialien für die ARP geeignet waren, konnten sie den Verlust an Volumen nicht vollständig verhindern (122).

In der vorliegenden Studie konnte durchschnittlich sowohl für die Testgruppe als auch für die Kontrollgruppe kein Knochenverlust festgestellt werden. Dabei zeigte die gemessene postoperative vertikale Höhe in der Testgruppe eine Zunahme um ca. 1,12 %, während die Kontrollgruppe eine Zunahme um ca. 1,3 % aufwies. Hierbei war kein statistisch signifikanter Unterschied erkennbar.

Die erhobenen Daten stehen im Einklang mit der von *Iorio-Siciliano et al.* durchgeführten Studie. Die Studie zeigte in einem ähnlichen Studiendesign, dass es keinen signifikanten Unterschied in dem horizontalen und vertikalen Knochenverlust zwischen der Test- und Kontrollgruppe gab. In der Studie wurden die Veränderungen der Kieferkammdimensionen sechs Monate nach der

Zahnextraktion und dem Einbringen von bovinem Knochenersatzmaterial mit 10 % Kollagen und einer Kollagenmembran im Vergleich zur Spontanheilung untersucht. Wie auch in der vorliegenden Studie, konnte beobachtet werden, dass es durch die freiliegende Kollagenmembran in der Mundhöhle zur Weichgewebsbildung ohne eine immunologische Reaktion gekommen war (123).

Im Gegensatz dazu konnte durch die von *Avila-Ortiz et al.* durchgeführte randomisierte Studie mit 53 Patienten gezeigt werden, dass alle knochenbezogenen Dimensionsveränderungen zugunsten der ARP ausfielen (124). Auch die Studie von *Cha et al.* konnte bestätigen, dass mithilfe der Alveolar Ridge Preservation eine signifikant größere Restknochenhöhe 6 Monate nach der Zahnextraktion erzielt werden konnte (20).

Außerdem konnte in einer Meta-Analyse von *Willenbacher et al.* festgestellt werden, dass durch die ARP im Vergleich zur Spontanheilung im Durchschnitt etwa 1,31-1,54 mm Knochenbreite und eine Knochenhöhe von 0,91-1,12 mm mehr erhalten werden konnte (58).

## 5.2 Vermeidung einer Sinusbodenelevation

Die Sinusbodenelevation bleibt eine der am häufigsten angewandten chirurgischen Techniken, um genügend Knochenhöhe für eine Implantation im Oberkiefer-Seitenzahnbereich zu schaffen (64).

Unsere Ergebnisse zeigen, dass in der Testgruppe, mit ARP, weniger Sinusbodenelevationen notwendig waren (4/31) als im Vergleich zur Kontrollgruppe, ohne ARP (7/22). Allerdings erwies sich der Unterschied als statistisch nicht signifikant ( $p=0,168$ ).

Unsere erzielten Ergebnisse stehen im Einklang zu den Daten von *Cha et al.*

In der Studie konnte mit einem ähnlichen Studiendesign mit 40 Patienten gezeigt werden, dass bei 100 % der Patienten in der Kontrollgruppe (ohne Augmentation) eine zusätzliche Sinusbodenelevation notwendig war, um die Implantate inserieren zu können. Bei der Testgruppe (ARP mit bovinem KEM und Membran) hingegen musste bei 42,9 % der Patienten eine zusätzliche Sinusbodenelevation durchgeführt werden. Somit konnte gezeigt werden, dass die

Alveolar Ridge Preservation einen Einfluss auf die Notwendigkeit einer Sinusbodenelevation hatte (20). Allerdings muss beachtet werden, dass nur Implantate mit einem Durchmesser von  $>4.5$  mm und einer Länge von  $>8$  mm inseriert wurden. Somit stellt sich die Frage, ob die Restknochenhöhe bei den Patienten der Kontrollgruppe für ein kürzeres Implantat ausreichend gewesen wäre. Die radiologisch gemessene Restknochenhöhe lag bei den Patienten der Kontrollgruppe im Durchschnitt allerdings bei 4.83 mm, was wiederum auch die Insertion von kurzen Implantaten stark beeinträchtigt hätte (20). Es ist dennoch anzumerken, dass in diesen Studien die Ergebnisse rein deskriptiv beschrieben wurden und keine signifikanten Unterschiede dargestellt worden sind.

Auch in einer retrospektiven Studie von *Lee et al.* konnte dargelegt werden, dass bei 15,8 % der Patienten, die keine ARP erhalten hatten, ein zusätzlicher Sinuslift notwendig war. Im Vergleich dazu musste bei der Gruppe mit ARP bei nur 6.5 % der Patienten ein zusätzlicher Sinuslift durchgeführt werden (125). Dieser Unterschied war dennoch nicht signifikant. Im Vergleich zu unserer Studie muss allerdings beachtet werden, dass parodontal vorgeschädigte Extraktionsalveolen untersucht wurden und dass unterschiedliche Knochenersatzmaterialien für die ARP verwendet wurden (125).

Diese Ergebnisse stehen in Kontroverse zu den Daten von *Park et al.* (126). In der retrospektiven Studie konnte gezeigt werden, dass es keinen signifikanten Unterschied bei der Notwendigkeit einer Sinusbodenelevation zwischen der Testgruppe mit Kieferkammerhaltungsmaßnahmen und der Kontrollgruppe mit Spontanheilung gab. Signifikant höher hingegen war der Anteil der durchgeführten lateralen Sinusbodenelevationen bei der Kontrollgruppe. Allerdings ist zu erwähnen, dass in der Studie verschiedene vertikale und horizontale Kieferkammerhaltungsmaßnahmen inkludiert wurden (126). Im Rahmen unserer Studie konnte allerdings in Bezug auf die verschiedenen Sinusbodenaugmentationsmöglichkeiten, in Abhängigkeit vom residualen Knochen, festgestellt werden, dass lediglich bei der Kontrollgruppe eine externe Sinusbodenelevation notwendig war. Diese invasive Operationstechnik konnte bei der Testgruppe vermieden werden.

### 5.3 Notwendigkeit weiterer Augmentationsverfahren

Idealerweise sollte eine Implantatinsertion nach einer Alveolar Ridge Preservation ohne weitere Augmentationsverfahren möglich sein.

Dies konnte durch unsere Studie allerdings nicht bestätigt werden, da weitere Augmentationen in Form von Sinusbodenelevationen in der Testgruppe notwendig waren, um Implantate zu inserieren. Diese Ergebnisse entsprechen denen der Studie von *Sandor et al. (127)*, in der gezeigt wurde, dass bei lediglich 17,6 % der mithilfe der ARP behandelten Alveolen eine Implantation ohne weitere Augmentation möglich war. Hierbei muss allerdings beachtet werden, dass es sich bei dem verwendeten KEM der ARP um Korallengranulat gehandelt hat und die Zähne durch Traumata verloren gingen, wodurch die Alveolenwände höchstwahrscheinlich nicht intakt und somit beschädigt waren.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass eine minimale Reduktion des Kieferkamms nur erreicht werden kann, wenn die ARP in Verbindung mit einer minimal traumatischen Zahnextraktion zu realisieren ist (23).

Des Weiteren lag das durchschnittliche Alter der Patienten bei 13,6 Jahren, und die Implantation fand erst statt, nachdem durch die kephalometrische Analyse das Ende des Skelettwachstums festgestellt worden war. Dadurch lag bei einigen Patienten ein sehr langer Zeitraum zwischen der ARP und der Implantation (127).

Dennoch konnte auch in der Studie von *Mardas et al.* gezeigt werden, dass die ARP nicht immer eine zusätzliche Knochenaugmentation für die Implantatinsertion verhindern kann (128).

Auf die Frage, in welchen Fällen die Alveolar Ridge Preservation einen Nutzen für den ausreichenden Erhalt des Hart- und Weichgewebes hat, könnte für die Prognose die von *Olsson et al.* beschriebenen Biotypen von großer Bedeutung sein (129, 130). Ein dünner Biotyp geht oft einher mit einem dünnen vestibulären Knochen, der infolge der Zahnextraktion schnell resorbiert wird (131). Bei einem dicken Biotyp hingegen würde die Resorption nach Zahnextraktion aufgrund des dicken vestibulären Knochens eine eher untergeordnete Rolle spielen (129, 130). Somit könnte die Bedeutsamkeit der ARP bei einem dünnen gingivalen Biotyp deutlich höher sein als bei einem dicken Biotyp. Allerdings konnte in einer systematischen Übersicht und Meta-Analyse von *Avila-Ortiz et*

*al.* herausgestellt werden, dass Kieferkammregionen mit einer bukkalen Knochenstärke von mehr als 1 mm bessere Ergebnisse hinsichtlich des horizontalen Kieferkammerhalts aufweisen konnten als Regionen mit einer dünneren bukkalen Wand (23). Dadurch bestätigt sich das Ergebnis von *Nevins et al.*, anhand dessen gezeigt werden konnte, dass die bukkale Knochenwand durch die ARP zwar nicht immer erhalten werden kann, sich jedoch das Volumen der Extraktionsalveole im Vergleich zur Spontanheilung deutlich weniger reduziert (132).

Zwar gibt es ein Klassifizierungssystem für Extraktionsalveolen nach Hart- und Weichgewebsdefiziten (133, 134), allerdings ist die daraus resultierende Durchführbarkeit einer Implantation nach ARP nicht untersucht worden (125). Daher ist es ratsam, in Zukunft die Knochenheilungsmuster, den Biotypen und die Größe der Extraktionsalveole genauer zu untersuchen, um die Notwendigkeit der ARP und der Erfolgsrate der darauffolgenden Implantation besser bestimmen zu können.

In der vorliegenden Studie waren sowohl in der Kontrollgruppe (31,82 %) als auch in der Testgruppe (12,9 %) weitere Augmentationen in Form einer Sinusbodenelevation notwendig. Dies entspricht weitestgehend den von *Barone et al.* berichteten Ergebnisse (135). Die Autoren berichteten, dass bei 42 % der Stellen, die spontan einheilten, eine zusätzliche Knochenaugmentation notwendig war, um die Implantate zu inserieren. Im Gegensatz dazu war es nur bei 7 % der Stellen notwendig, die mit kortikozellulärem Schweineknorpel aufgefüllt und einer Kollagenmembran abgedeckt wurden. Diese Beobachtungen lassen sich nicht vollständig erklären, wobei beachtet werden muss, dass bei einigen der extrahierten Zähne die Alveolenwände nicht intakt waren und Patienten ins Studienkollektiv eingeschlossen wurden, die eine traumatische Extraktion erlitten hatten (27,5 % in der Kontrollgruppe, 38 % in der transplantierten Gruppe) (135). Außerdem war Rauchen kein Ausschlusskriterium dieser Studie. Patienten, die weniger als 10 Zigaretten am Tag rauchten, wurden nur gebeten, dies vor und nach dem chirurgischen Eingriff zu unterbinden, was jedoch nicht überprüft werden konnte.

In einer von *Saldanha et al.* durchgeführten prospektiven Studie konnte gezeigt werden, dass das Rauchen die Dimensionsveränderungen und den Heilungsprozess der Extraktionsalveole negativ beeinflussen kann (136).

Auch das Implantatüberleben kann durch das Rauchen signifikant negativ beeinflusst werden (137). *Levin und Schwartz-Arad* konnten zeigen, dass der marginale Knochenverlust am Implantat bei Rauchern bis zu dreimal größer sein kann als bei Nichtrauchern (138). In einer von *Daftari et al.* durchgeführten Studie konnte außerdem dargelegt werden, dass das Rauchen die Revascularisierung von Knochentransplantaten hemmt (139), maßgeblich bedingt durch die vasokonstriktorische Wirkung auf die Arterien (140, 141). Daher wurden in der vorliegenden Studie Nichtraucher ausgewählt, um einen wesentlichen Faktor zu vermeiden, der die normale Einheilung des Knochentransplantats beeinträchtigen oder stören könnte. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Pneumatisierungsprozess im Seitenzahnbereich des Oberkiefers einen erheblichen Einfluss auf die Knochenresorption hat (2, 20, 21), wodurch der Vergleich zu Alveolen außerhalb dieses Bereichs nur mit Vorsicht herangezogen werden sollte.

Diese Ergebnisse machen deutlich, dass weitere Untersuchungen mit einer größeren Patientenpopulation erforderlich sind, um unsere Erkenntnisse zu untermauern und zu bestätigen, da die begrenzte Anzahl an Patienten in unserer Studie keine endgültigen, aussagekräftigen Schlussfolgerungen zulässt. Die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen ist besonders wichtig, wenn man die in unseren Ergebnissen beobachteten Trends bedenkt, die zwar hinweisend sind, aber für eine endgültige Bestätigung umfangreichere Daten erfordern. Darüber hinaus könnte die Diskrepanz zwischen den Ergebnissen unserer Studie und denen anderer Studien auf den unterschiedlichen Umfang der Patientenstichprobe zurückzuführen sein. Daher könnten Studien mit einer größeren Anzahl von Patienten nicht nur die von uns beobachteten Trends bestätigen, sondern auch einen Einblick in die vergleichbaren Ergebnisse vergleichbarer Studien geben.

## 5.4 Membranen

Die aktuelle wissenschaftliche Literatur bewertet die Verwendung einer Membran zur Abdeckung der Extraktionsalveole nach einer Zahnextraktion als äußerst hilfreich (18, 111).

In der vorliegenden Studie betrug die Einheilzeit nach der ARP und vor der Implantation im Durchschnitt 8 Monate, wobei der augmentierte Bereich mit einer resorbierbaren Perikardmembran (Jason® Membran) abgedeckt wurde. Neben den resorbierbaren Membranen werden auch nicht resorbierbare Membranen verwendet.

In einer prospektiven Studie untersuchten *Jung et al.* die röntgenologischen Ergebnisse von Implantaten nach einem Zeitraum von 12,5 Jahren, die unter der Verwendung von resorbierbaren (Kollagenmembranen) und nicht-resorbierbaren (e-PTFE) Membranen gesetzt wurden (142). Dabei konnte kein signifikanter Unterschied in Bezug auf das röntgenologisch bestimmte marginale Knochenniveau der Implantate zwischen den Gruppen festgestellt werden. Beide Verfahren wiesen hohe Implantatüberlebensraten auf.

Allerdings spielt die Notwendigkeit eines zweiten chirurgischen Eingriffs zur Entnahme der Membran als Barriere eine bedeutende Rolle (143). Der erneute Eingriff kann das regenerierte Gewebe verletzen und durch die Lappenpräparation zur krestalen Resorption des Alveolarknochens führen (143, 144). Außerdem wurde berichtet, dass bei den Stellen, die mit einer e-PTFE Membran behandelt wurden, in der frühen Heilungsphase oft Weichteilkomplikationen und Membranexpositionen auftraten (142, 145). Deshalb ist gegenwärtig der Wechsel von nicht resorbierbaren zu resorbierbaren Membranen ein bedeutender Trend der modernen GBR-Verfahren (146).

Für die bioresorbierbaren Membranen haben sich Kollagenmembranen gegenüber anderen synthetischen Materialien als vorteilhaft erwiesen, da Kollagen eine aktive Rolle bei der Blutgerinnung spielt, chemotaktisch für Fibroblasten wirkt und ein Hauptbestandteil des parodontalen Bindegewebes ist (144, 147, 148).

*Bornert et al.* verglichen den Abbau von Perikardmembranen im Vergleich zu Hautmembranen im Laufe der Zeit (59). Die Ergebnisse dieser Untersuchung

zeigten, dass der Abbau und die Biokompatibilität der Membrantypen ähnlich waren. Auch in der Barrierefunktion beider Membranen bestand kein signifikanter Unterschied. Diese blieben bis zu zwölf Wochen intakt und konnten somit das Einwachsen von unerwünschtem Bindegewebe in das darunterliegende Transplantat verhindern (59). Ähnliche Resultate konnten bei der von *Rothamel et al.* durchgeführten Studie erzielt werden (149). Bei der Studie wurde die Resorption einer Perikardmembran in einem Hundemodell untersucht. Dabei konnte eine Resorption der Membran innerhalb der ersten 12 Wochen beobachtet werden (149).

In einer an Ratten durchgeführten Studie von *Rothamel et al.* wurde der biologische Abbau von unterschiedlichen Kollagenmembranen histologisch untersucht (150). Dabei konnte gezeigt werden, dass die Perikardmembran bereits nach zwei Wochen vollständig vaskularisiert war und nach 24 Wochen vollständig zu Bindegewebe umstrukturiert wurde (150). In einer weiteren Studie von *Rothamel et al.* wurde das Verhalten von PDL-Fibroblasten und Osteoblasten-ähnlichen Zellen auf unterschiedliche Membranen untersucht (144). Dabei konnte gezeigt werden, dass die Perikardmembran das Attachement und die Proliferation von PDL-Fibroblasten und Osteoblasten fördern konnte (144).

## 5.5 Wundverschluss

Während einige Studien darauf hindeuten, dass die absichtliche Freilegung der nicht-resorbierbaren Membranen zu Infektionen und mangelnder Knochenbildung führen kann (151), zeigen neuere Studien, dass durch freiliegende biologisch abbaubare Membranen die Knochenregeneration der frischen Extraktionsalveole und die Weichgewebsbildung nicht negativ beeinflusst wird (135, 152). Auch in der vorliegenden Studie konnte bis zur Nachbeobachtungszeit von 6 Monaten eine neue Weichgewebsbildung ohne Anzeichen einer Entzündung oder einer immunologischen Reaktion beobachtet werden. Die Ergebnisse werden durch eine systematische Übersichtsarbeit von *Wang und Lang* bestätigt, in der gezeigt werden konnte, dass der primäre Wundverschluss und somit die Abdeckung der verwendeten Membran keine positive Auswirkung auf

den Erhalt des Alveolarknochens hatte (153). Auch die klinische Split-Mouth Studie von *Engler-Hamm et al.* zeigte, dass der Versuch, einen primären Wundverschluss zu erreichen, keinen zusätzlichen Nutzen für den Erhalt des Kieferkamms brachte (154). Diese Erkenntnis wird auch durch weitere Studien gestützt (135, 155).

## **5.6 Einfluss implantatspezifischer Parameter auf das Implantatüberleben**

### **5.6.1 Implantatlänge**

Die Gesamtüberlebensrate aller Implantate in beiden Gruppen betrug 98,12 %. Die Überlebensrate der Implantate mit einer Länge von 6 mm und 10 mm lagen jeweils nach 12 Monaten bei 100 %. Aufgrund des Verlusts eines Implantats in der Gruppe der 8 mm langen Implantate betrug die Überlebensrate an dieser Stelle 96,3 %.

Ähnliche Ergebnisse konnten bei der von *Sivolella et al.* (156) durchgeführten Studie erzielt werden. Bei dieser Studie wurden im Seitenzahnbereich nach Zahnextraktion xenogenes Knochenersatzmaterial in die Extraktionsalveole eingebracht, die knöchernen Veränderungen histologisch untersucht und nach der Einheilung Implantate inseriert. Hierbei betrug die Implantatüberlebensrate 97,5 % nach 24 Monaten (156). *Apostolopoulos und Darby* zeigten in einer retrospektiven Studie mit ähnlichem Studiendesign eine Implantatüberlebensrate von 100 % nach 31 Monaten (157). Allerdings muss beachtet werden, dass für die Kieferkammerhaltung zwar bovines Knochenersatzmaterial mit einer resorbierbaren Membran verwendet wurde, die meisten Implantate allerdings im Frontzahnbereich inseriert wurden (157). Auch weitere Studien bestätigen die hohen Implantatüberlebensraten verschiedener Implantatlängen nach einer ARP (128, 158-161). Ähnliche Überlebensraten werden in der Literatur für inserierte Implantate verschiedener Längen ( $\geq 6$  mm) in nicht augmentierten Bereichen erreicht (87).

Obwohl in der Vergangenheit kurzen Implantaten ( $\leq 6$  mm) Nachteile gegenüber Standardimplantaten nachgesagt wurden, in Bezug auf Vorhersagbarkeit der Überlebensraten (87) konnte dies im Rahmen unserer Studie aufgrund der ermittelten Überlebensraten nicht bestätigt werden. Allerdings ist zu beachten,

dass zu geringe Fallzahlen vorliegen (3 Patienten mit 6 mm langen Implantaten), um aussagekräftige Ergebnisse vorzuweisen.

Dennoch zeigen weitere Studien, dass ähnliche Überlebensraten mit kurzen Implantaten erreicht werden können (63, 90-93). Auch die von *Guljé et al.* durchgeführte Studie konnten zeigen, dass nach 5 Jahren die 6 mm langen Implantate ohne weitere Augmentation ähnliche Überlebensraten aufweisen konnten wie Implantate mit einer Länge von 11 mm in Kombination mit einem Sinuslift (162).

### 5.6.2 Implantatdurchmesser

Die Überlebensrate der Implantate mit den Durchmessern von 3,75 mm, 4 mm und 4,5 mm lagen alle bei 100 %. Bei der Gruppe der Implantate mit einem Durchmesser von 3,5 mm hingegen betrug die Überlebensrate 0 %. Dies ist allerdings darauf zurückzuführen, dass lediglich ein Implantat mit einem solchen Durchmesser implantiert wurde. Auch hier betrug die Gesamtüberlebensrate der Implantate beider Gruppen 98,12 %. Diese Überlebensraten decken sich mit denen der Literatur. *Al-Nawas et al.* (163) zeigten in ihrer Studie von 2012, dass der Implantatdurchmesser nach einer durchschnittlichen Liegedauer von 108 Monaten keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebensrate der Implantate hatte (163). Es ist allerdings zu erwähnen, dass nur Implantate mit einem Durchmesser von 3,5 mm und 4 mm untersucht wurden. Dennoch konnten diese Erkenntnis auch durch weitere Studien bestätigt werden (164, 165).

Wie auch die Länge scheint der Durchmesser der Implantate keinen bedeutenden Einfluss auf das Überleben der Implantate zu haben. Allerdings gilt es zu beachten, dass aufgrund des kurzen Beobachtungszeitraums und des geringen Patientenkollektivs der vorliegenden Studie nur schwer aussagekräftige Ergebnisse in Bezug auf die Implantatüberlebensraten möglich sind.

### 5.7 Parodontitis

Ob und in welchem Maße eine Parodontitis die ARP negativ beeinflussen kann, wurde in einer prospektiven Studie von *Wei et al.* untersucht (166). In der Stu-

die wurde die Anwendbarkeit einer ARP bei Extraktionsalveolen mit schwerer vorrangegangener Parodontitis im Vergleich zur Spontanheilung an 36 infizierten Oberkiefermolaren untersucht (166). Die Ergebnisse zeigten, dass die ARP auch bei parodontal vorgeschädigten Zähnen den Pneumatisierungsprozess der Kieferhöhle und die Resorptionsvorgänge des krestalen Knochens reduzieren konnte, wodurch der Kieferkamm in der vertikalen Dimension deutlich besser erhalten werden konnte als bei der Spontanheilung.

Auch in der von *Lee et al.* durchgeführten retrospektiven Studie konnte beobachtet werden, dass die Alveolar Ridge Preservation auch in parodontal vorgeschädigten Extraktionsalveolen zukünftige Knochenaugmentationen verhindern und die Insertion von Implantaten erleichtern kann (125).

In einer von *Kim et al.* (167) vorgestellten Studie wurde die Knochenneubildung und Dimensionsveränderung in Extraktionsalveolen mit vorangegangener Parodontitis unter Verwendung von xenogenem Knochenersatzmaterial und einer Kollagenmembran untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass auch in erkrankten Alveolen die Verwendung von xenogenem Knochenersatzmaterial die bukkalen Knochenresorptionsvorgänge kompensieren konnte.

Eine durch *Evian et al.* (168) durchgeführte retrospektive Studie allerdings hatte Komplikationen aufgezeigt, die bei der Implantatinsertion in parodontal vorgeschädigten Alveolen entstehen können. In der genannten Studie wurden die Patienten in zwei Gruppen aufgeteilt: diejenigen ohne parodontale Vorerkrankung, und diejenigen, die an Parodontalerkrankungen litten. Die Implantate wurden entweder sofort, oder nach einer gewissen Einheilphase inseriert. Dabei schien das Vorhandensein von Parodontalerkrankungen mit einer erhöhten Implantatverlustrate einherzugehen, wobei jedoch kein signifikanter Unterschied in Bezug auf den Zeitpunkt der Implantatinsertion festgestellt werden konnte (168). Diese Erkenntnis konnte durch weitere Studien bestätigt werden (169-171).

Es sind weitere Studien notwendig, um den Einfluss vorangegangener Parodontalerkrankungen sowohl auf die ARP als auch auf die Implantatinsertion zu untersuchen.

## 5.8 Implantatverlust

Bei einer dichten Knochenstruktur, wie sie beispielsweise im Unterkiefer vorzufinden ist, gelingt es gut, eine solide Primärstabilität der Implantate zu erreichen (172). Im Oberkiefer hingegen ist dies aufgrund der Knochenstruktur oft deutlich schwieriger (172-174). Hinzu kommt, dass das Erreichen einer ausreichenden Primärstabilität in qualitativ reduzierten Knochenlagern wie bei augmentierten Bereichen oft sehr schwierig sein kann (172). Die Regeneration des Augmentats wird üblicherweise ausschließlich radiologisch beurteilt, ohne verlässliche Rückschlüsse auf die Regeneration des Augmentats zu gewährleisten. Da sich die Beurteilung der Wundheilung nach augmentativen Verfahren oft auf die subjektive Einschätzung beschränkt, könnte dies häufig zu einer höheren Angabe von Misserfolgen führen (175, 176).

In der vorliegenden Studie kam es innerhalb der Testgruppe zu einem Implantatverlust. Es besteht die Möglichkeit, dass das Implantat aufgrund einer unzureichenden Primärstabilität, welche die erfolgreiche Osseointegration im frühen Stadium beeinträchtigt hat, verloren gegangen ist. Zudem könnte ein übermäßiger Einsatz von xenogenem Knochenersatzmaterial die Ursache für die unzureichende Osseointegration gewesen sein.

Den exakten Grund zu bestimmen, gestaltet sich jedoch als herausfordernd, da zahlreiche Faktoren für eine unzureichende Osseointegration eines Implantats verantwortlich sein können (177, 178).

## 5.9 Erfolgskriterien nach *Buser*

Nach den Kriterien von *Buser et al.* (108) wurde in unserer Studie eine Gesamterfolgsrate von 98,11 % erreicht. Während in der Testgruppe eine Erfolgsrate von 96,77 % erreicht wurde, waren es in der Kontrollgruppe 100 %.

Die vorliegenden Ergebnisse der Gruppen harmonisieren mit den Erkenntnissen weiterer Studien. In einer Studie von *Eghbali et al.* konnte für Implantate,

die in zuvor augmentierten Bereichen (ARP) inseriert wurden, Erfolgsraten von 96,88 % ermittelt werden (179).

Auch die Ergebnisse der Kontrollgruppe entsprechen denen weiterer Studien. So wurde in einer Studie von *Al-Nawas et al.* (7) aus dem Jahr 2011 bei 233 Implantaten, die ohne Augmentationsverfahren inseriert wurden, eine klinische Erfolgsrate von 96 % (*Buser et al.*) ermittelt (7). *Gokcen-Rohlig et al.* kamen in einer retrospektiven Studie zu ähnlichen Ergebnissen. Dabei wurden nach den Kriterien von *Buser et al.* für 146 Implantate eine kumulative 5-Jahres-Erfolgsrate von 97,8 % für Unterkieferimplantate und 90,9 % für Oberkieferimplantate erzielt (180).

Die vorliegenden Ergebnisse verdeutlichen, dass die Erfolgsraten in verschiedenen Studien teilweise variieren. Dies ist einerseits auf unterschiedliche Kriterien und Definitionen für den Erfolgsbegriff zurückzuführen, aber andererseits sind bei der Datenerhebung diverse Fehlerquellen präsent. Außerdem kommt es nicht selten vor, dass einzelne Erfolgskriterien ausgelassen werden müssen. Trotz der Einschränkungen sind die Resultate unserer Studie vergleichbar mit denen anderer Untersuchungen.

## 5.10 Alternativen

### 5.10.1 Sofortimplantation

Eine bereits erwähnte Alternative zur Alveolar Ridge Preservation mit anschließender Implantatinserterion ist die Sofortimplantation nach Zahnextraktion.

Die Annahme, dass die Knochenresorptionsvorgänge durch eine Sofortimplantation verhindert werden könnten, wurde allerdings in einer Tierstudie bereits 2005 widerlegt (181).

*Canellas et al.* (182) konnten zeigen, dass bei der Sofortimplantation ein erhöhter Implantatverlust von 3 % zu verzeichnen war. Dennoch zeigte die Analyse bessere Ergebnisse bei Sofortimplantation im Frontzahnbereich, während durch die ARP und Implantatinserterion im Seitenzahnbereich bessere Ergebnisse erzielt werden konnte (182). Auch die Studie von *Mareque et al.* konnte be-

stätigen, dass das Implantatversagen bei der Sofortimplantation signifikant höher war als bei der Gruppe der ARP (7,32 % vs. 1,89 %) (183).

Dennoch haben einige Studien bereits gezeigt, dass durch die Sofortimplantation auch ähnliche Erfolgsraten wie bei der Spätimplantation erreicht werden können.

So konnte in einer von *Schiegnitz et al.* (184) durchgeführten Studie gezeigt werden, dass der Zeitpunkt der Implantation keinen signifikanten Einfluss auf das Überleben von 197 untersuchten Implantaten hatte. Ebenfalls verglich eine kürzlich veröffentlichte systematische Übersichtsarbeit von *Patel et al.* (185) das Überleben von Implantaten nach sofortiger und verzögerter Insertion. Dabei zeigte sich für 341 Implantate, die sofort nach Zahnextraktion implantiert wurden, im Vergleich zu 359 spätinserierten Implantaten kein signifikant feststellbarer Unterschied in Bezug auf die Überlebensrate (185).

Obwohl die Sofortimplantation viele Vorteile bietet, darunter die Verringerung der Anzahl an chirurgischen Eingriffen, der Schmerzen und der Morbidität, bleibt es ein komplexer chirurgischer Eingriff, der nur im Idealfall und bei genügend Knochenangebot durchgeführt werden sollte. In Fällen, in denen die Primärstabilität nicht angestrebt werden kann, werden deshalb weitere Verfahren wie der ARP empfohlen (183).

### **5.10.2 Ultrakurze Implantate (<6mm)**

Aufgrund der Tatsache, dass häufig nicht genügend vertikale Höhe für die Implantatinsertion zur Verfügung steht, stellen ultrakurze Implantate eine Alternative zu herkömmlichen Knochenaugmentationen, wie der Sinusbodenelevation, dar (186, 187). Bereits veröffentlichte Studien suggerieren, dass die Implantatüberlebensraten ultrakurzer Implantate denen herkömmlicher Implantaten (>6 mm) entsprechen können (186, 188).

In einer von *Ravidà et al.* vorgestellten Metaanalyse wurden die Überlebensraten von 793 ultrakurzen und 820 herkömmlichen Implantate miteinander verglichen. Dabei konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Zu dieser Erkenntnis kam auch die Studie von *Bolle et al.* (189). Dabei wurde bei 40 Patienten untersucht, ob 4 mm kurze Implantate eine Alternative

---

zur Augmentation im Seitenzahnbereich sein können. Während in der einen Gruppe 4 mm kurze Implantate inseriert wurden, wurde in der anderen Gruppe Implantate mit einer Länge von mindestens 10mm in augmentierten Knochen inseriert (189). Auch hier konnte kein signifikanter Unterschied in der Überlebensrate der Implantate festgestellt werden, sodass ein Jahr nach der Belastung 4 mm kurze Implantate ähnliche Ergebnisse erzielen konnten wie längere Implantate (189). Dennoch ist zu betonen, dass aufgrund der begrenzten Anzahl an Probanden diese Schlussfolgerung keine eindeutig verlässlichen Rückschlüsse auf das Thema zulässt.

Somit bedarf es weiterer Studien mit längerem Beobachtungs- und Belastungszeitraum, da es wenig Langzeitstudien mit hohen Patientenzahlen gibt. Das Auftreten von periimplantären Komplikationen stellt nach wie vor ein kritisches Problem bei ultrakurzen Implantaten dar, insbesondere bei Patienten, die bereits unter einer Vorgeschichte von Parodontitis leiden (186).

## 6 Schlussfolgerung

Die vorangegangene Hypothese, dass die Alveolar Ridge Preservation im Oberkiefer-Seitenzahnbereich dazu beitragen kann, eine Sinusbodenelevation zu verhindern, konnte in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. Dennoch ist anzumerken, dass in der Testgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe zum einen weniger Sinusbodenelevationen notwendig waren und zum anderen keine externe Sinusbodenelevation erforderlich war.

Obwohl der Knochenverlust nach der Zahnextraktion oft erhebliche Auswirkungen auf die vertikale Knochenhöhe haben kann, konnte in unserer vorliegenden Studie kein signifikanter Unterschied in der prä- und postoperativen Knochenhöhe festgestellt werden. Dieser Unterschied erwies sich auch zwischen den Studienteilnehmern der Test- und Kontrollgruppe als nicht signifikant.

Für ein besseres Verständnis der Auswirkungen einer Alveolar Ridge Preservation auf die Notwendigkeit weiterer augmentativer Verfahren und den Erhalt der knöchernen Strukturen sind daher weitere Untersuchungen erforderlich. In zukünftigen Untersuchungen könnten vertiefte Analysen unter Berücksichtigung individueller Patientencharakteristika dazu beitragen, ein detailliertes Verständnis der Auswirkungen der Alveolar Ridge Preservation auf den Erhalt der knöchernen Strukturen zu gewinnen. Diese Erkenntnisse sind entscheidend für die Entwicklung präziserer Empfehlungen für die klinische Praxis im Bereich der zahnärztlichen Implantologie.

## 7 Zusammenfassung

### Einleitung

Die Atrophie des Alveolarkamms im Oberkiefer-Seitenzahnbereich nach Zahnextraktion stellt eine komplexe Problematik für die Implantation dar. Augmentationsverfahren wie die Sinusbodenelevation sind notwendig, um ausreichendes Knochenvolumen für die Implantation zu schaffen. Diese Studie untersucht, ob die gezielte Erhaltung der Alveole mittels bovinem Knochenersatzmaterial und porciner Kollagenmembran die Notwendigkeit einer Sinusbodenelevation im Vergleich zur natürlichen Wundheilung nach Zahnextraktion verringert.

### Material und Methode

Die 40 Patienten, bei denen insgesamt 53 Extraktionen erforderlich waren, wurden einer der folgenden Gruppen zugeteilt: Testgruppe (n=31 Alveolen) mit bovinem Knochenersatzmaterial (Straumann® XenoFlex) und einer porcinen Kollagenmembran (Jason® membrane) oder Kontrollgruppe (n=22 Alveolen) mit Spontanheilung der Alveole. Nach ca. 6 Monaten wurde eine digitale Volumetomographie zur Implantatplanung durchgeführt.

### Ergebnisse

Bei 7 Patienten aus der Kontrollgruppe (n=22 Alveolen) wurden Sinusbodenelevationen durchgeführt, während in der Testgruppe (n=31 Alveolen) nur 4 Sinusbodenelevationen notwendig waren, was auf einen höheren Bedarf in der Kontrollgruppe hinweist, der jedoch statistisch nicht signifikant erscheint ( $p=0,168$ ). In der Kontrollgruppe lag der Mittelwert der röntgenologisch gemessenen Knochenhöhe (mesial und distal) präoperativ vor der Zahnextraktion bei  $11,13 \pm 2,12$  mm, während er postoperativ nach der Implantation bei  $11,3 \pm 2,17$  mm lag. Im Gegensatz dazu betrug der Mittelwert in der Testgruppe präoperativ  $11,78 \pm 3,09$  mm und postoperativ  $11,92 \pm 2,79$  mm. Die statistische Analyse ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen (odds ratio 0,32; 95 % KI: 0,08 und 1,26;  $p=0,951$ ). Die Implantatüberlebensrate in der Kontrollgruppe lag bei 100 %, während sie in der Testgruppe 96,77 % betrug.

**Schlussfolgerung**

Innerhalb der Grenzen dieser Studie scheint die Verwendung von bovinem Knochenersatzmaterial und einer porcinen resorbierbaren Membran nach Zahnextraktion im Seitenzahnbereich des Oberkiefers die Notwendigkeit einer Sinusaugmentation nicht zu reduzieren. Dennoch konnte durch die ARP in der Testgruppe auf eine externe Sinusbodenelevation im Vergleich zur Kontrollgruppe verzichtet werden.

Die Veränderung der röntgenologisch gemessenen Knochenhöhe prä- und postoperativ wies zwischen der Test- und Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede auf.

## Introduction

In cases of atrophy in the maxillary posterior region after tooth extraction, characterized by reduced vertical bone volume, implant placement becomes challenging. Augmentation procedures like sinus lifts are often needed to address insufficient bone volume. The study aims to explore if alveolar ridge preservation, using bovine bone substitute and a porcine collagen membrane, significantly decreases the need for sinus lifts compared to natural wound healing after tooth extraction.

## Materials and method

The 40 patients, who required a total of 53 extractions were assigned to one of the following groups: Test group (n=31 extracted sites) with bovine bone substitute material (Straumann® XenoFlex) and a porcine collagen membrane (Jason® membrane) or control group (n= 22 extracted sites) with spontaneous healing of the socket. After 6-month, digital volume tomography was performed for implant planning.

## Results

For 7 patients from the control group (n=22 extracted sockets) sinus lift augmentations were performed while only 4 sinus lift procedures were performed in the test group (n=31 extracted sockets), indicating a higher need for sinus augmentation procedures, however not statistically different (p=.169). In the control group, the mean value of the radiographically measured bone height (mesial and distal) was  $11,13 \pm 2,12$  mm preoperatively before tooth extraction, while it was  $11,3 \pm 2,17$  mm postoperatively after implant placement. In contrast, the mean value in the test group was  $11,78 \pm 3,09$  mm preoperatively and  $11,92 \pm 2,79$  mm postoperatively. Statistical analysis revealed no significant difference between the two groups (odds ratio 0.32; 95 % CI: 0.08, 1.26; p=.951). The implant survival rate in the control group was 100 %, compared to 96.77% in the test group.

## Conclusion

Within the limits of this study, the use of bovine bone substitute and a porcine resorbable membrane after tooth extraction in the posterior maxilla does not appear to reduce the need for sinus augmentation. Nevertheless, the ARP in the test group made external sinus floor elevation unnecessary compared to

the control group. The change in radiographically measured bone height pre- and postoperatively showed no significant difference between the test group and the control group.

## 8 Literaturverzeichnis

1. Elakkiya S, Ramesh AS, Prabhu K. Systematic analysis on the efficacy of bone enhancement methods used for success in dental implants. *J Indian Prosthodont Soc.* 2017;17(3):219-25.
2. Khoury F. *Augmentative Verfahren in der Implantologie.* Berlin u.a.2009.
3. Albrektsson T, Zarb GA. Current interpretations of the osseointegrated response: clinical significance. *Int J Prosthodont.* 1993;6(2):95-105.
4. Bosshardt DD, Chappuis V, Buser D. Osseointegration of titanium, titanium alloy and zirconia dental implants: current knowledge and open questions. *Periodontol 2000.* 2017;73(1):22-40.
5. Schimmel M, Srinivasan M, McKenna G, Muller F. Effect of advanced age and/or systemic medical conditions on dental implant survival: A systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2018;29 Suppl 16:311-30.
6. Nystrom 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;38(2):111-6.
7. Al-Nawas B, Kammerer PW, Morbach T, Ophoven F, Wagner W. Retrospective clinical evaluation of an internal tube-in-tube dental implant after 4 years, with special emphasis on peri-implant bone resorption. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2011;26(6):1309-16.
8. Weibrich G, Buch RS, Wegener J, Wagner W. Five-year prospective follow-up report of the Astra tech standard dental implant in clinical treatment. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2001;16(4):557-62.
9. Elo JA, Herford AS, Boyne PJ. Implant success in distracted bone versus autogenous bone-grafted sites. *J Oral Implantol.* 2009;35(4):181-4.
10. Krebs M, Schmenger K, Neumann K, Weigl P, Moser W, Nentwig GH. Long-term evaluation of ANKYLOS(R) dental implants, part i: 20-year life table analysis of a longitudinal study of more than 12,500 implants. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17 Suppl 1:e275-86.
11. Buser D, Janner SF, Wittneben JG, Bragger U, Ramseier CA, Salvi GE. 10-year survival and success rates of 511 titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface: a retrospective study in 303 partially edentulous patients. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14(6):839-51.
12. Khoury F, Hanser T. Three-Dimensional Vertical Alveolar Ridge Augmentation in the Posterior Maxilla: A 10-year Clinical Study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2019;34(2):471-80.
13. Araujo MG, Silva CO, Misawa M, Sukekava F. Alveolar socket healing: what can we learn? *Periodontol 2000.* 2015;68(1):122-34.
14. Horvath A, Mardas N, Mezzomo LA, Needleman IG, Donos N. Alveolar ridge preservation. A systematic review. *Clin Oral Investig.* 2013;17(2):341-63.
15. Beck TM, Mealey BL. Histologic analysis of healing after tooth extraction with ridge preservation using mineralized human bone allograft. *J Periodontol.* 2010;81(12):1765-72.
16. Schropp L, Wenzel A, Kostopoulos L, Karring T. Bone healing and soft tissue contour changes following single-tooth extraction: a clinical and radiographic 12-month prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2003;23(4):313-23.

17. Tan WL, Wong TL, Wong MC, Lang NP. A systematic review of post-extractonal alveolar hard and soft tissue dimensional changes in humans. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23 Suppl 5:1-21.
18. Kalsi AS, Kalsi JS, Bassi S. Alveolar ridge preservation: why, when and how. *Br Dent J.* 2019;227(4):264-74.
19. Barone A, Aldini NN, Fini M, Giardino R, Calvo Guirado JL, Covani U. Xenograft versus extraction alone for ridge preservation after tooth removal: a clinical and histomorphometric study. *J Periodontol.* 2008;79(8):1370-7.
20. Cha JK, Song YW, Park SH, Jung RE, Jung UW, Thoma DS. Alveolar ridge preservation in the posterior maxilla reduces vertical dimensional change: A randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res.* 2019;30(6):515-23.
21. Sharan A, Madjar D. Maxillary sinus pneumatization following extractions: a radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2008;23(1):48-56.
22. Wehrbein H, Diedrich P. [Progressive pneumatization of the basal maxillary sinus after extraction and space closure]. *Fortschr Kieferorthop.* 1992;53(2):77-83.
23. Avila-Ortiz G, Chambrone L, Vignoletti F. Effect of alveolar ridge preservation interventions following tooth extraction: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol.* 2019;46 Suppl 21:195-223.
24. Tatum H, Jr. Maxillary and sinus implant reconstructions. *Dent Clin North Am.* 1986;30(2):207-29.
25. Aparicio C, Perales P, Rangert B. Tilted implants as an alternative to maxillary sinus grafting: a clinical, radiologic, and periotest study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2001;3(1):39-49.
26. Levi I, Halperin-Sternfeld M, Horwitz J, Zigdon-Giladi H, Machtei EE. Dimensional changes of the maxillary sinus following tooth extraction in the posterior maxilla with and without socket preservation. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2017;19(5):952-8.
27. Iorio-Siciliano V, Blasi A, Nicolo M, Iorio-Siciliano A, Riccitiello F, Ramaglia L. Clinical Outcomes of Socket Preservation Using Bovine-Derived Xenograft Collagen and Collagen Membrane Post-Tooth Extraction: A 6-Month Randomized Controlled Clinical Trial. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2017;37(5):e290-e6.
28. Sbordone C, Toti P, Martuscelli R, Guidetti F, Ramaglia L, Sbordone L. Retrospective volume analysis of bone remodeling after tooth extraction with and without deproteinized bovine bone mineral insertion. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27(9):1152-9.
29. Al-Dajani M. Recent Trends in Sinus Lift Surgery and Their Clinical Implications. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2016;18(1):204-12.
30. Khoury F. Augmentation of the sinus floor with mandibular bone block and simultaneous implantation: a 6-year clinical investigation. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1999;14(4):557-64.
31. Stern A, Green J. Sinus lift procedures: an overview of current techniques. *Dent Clin North Am.* 2012;56(1):219-33, x.
32. Summers RB. A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique. *Compendium.* 1994;15(2):152, 4-6, 8 passim; quiz 62.
33. Danesh-Sani SA, Loomer PM, Wallace SS. A comprehensive clinical review of maxillary sinus floor elevation: anatomy, techniques, biomaterials and complications. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2016;54(7):724-30.

34. Testori T, Weinstein T, Taschieri S, Wallace SS. Risk factors in lateral window sinus elevation surgery. *Periodontol* 2000. 2019;81(1):91-123.
35. Bodic F, Hamel L, Lerouxel E, Basle MF, Chappard D. Bone loss and teeth. *Joint Bone Spine*. 2005;72(3):215-21.
36. Fanghanel J, Proff P, Dietze S, Bayerlein T, Mack F, Gedrange T. The morphological and clinical relevance of mandibular and maxillary bone structures for implantation. *Folia Morphol (Warsz)*. 2006;65(1):49-53.
37. Araujo MG, Lindhe J. Dimensional ridge alterations following tooth extraction. An experimental study in the dog. *J Clin Periodontol*. 2005;32(2):212-8.
38. Cardaropoli G, Araujo M, Lindhe J. Dynamics of bone tissue formation in tooth extraction sites. An experimental study in dogs. *J Clin Periodontol*. 2003;30(9):809-18.
39. Sathyendra V, Darowish M. Basic science of bone healing. *Hand Clin*. 2013;29(4):473-81.
40. Claes LE, Heigele CA. Magnitudes of local stress and strain along bony surfaces predict the course and type of fracture healing. *J Biomech*. 1999;32(3):255-66.
41. McKibbin B. The biology of fracture healing in long bones. *J Bone Joint Surg Br*. 1978;60-B(2):150-62.
42. Johner R. [Dependence of bone healing on defect size]. *Helv Chir Acta*. 1972;39(1):409-11.
43. Zhao R, Yang R, Cooper PR, Khurshid Z, Shavandi A, Ratnayake J. Bone Grafts and Substitutes in Dentistry: A Review of Current Trends and Developments. *Molecules*. 2021;26(10).
44. Chavda S, Levin L. Human Studies of Vertical and Horizontal Alveolar Ridge Augmentation Comparing Different Types of Bone Graft Materials: A Systematic Review. *J Oral Implantol*. 2018;44(1):74-84.
45. Albrektsson T, Johansson C. Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *Eur Spine J*. 2001;10 Suppl 2:S96-101.
46. Nasr HF, Aichelmann-Reidy ME, Yukna RA. Bone and bone substitutes. *Periodontol* 2000. 1999;19:74-86.
47. 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.
48. Stumbras A, Kuliesius P, Januzis G, Juodzbaly G. Alveolar Ridge Preservation after Tooth Extraction Using Different Bone Graft Materials and Autologous Platelet Concentrates: a Systematic Review. *J Oral Maxillofac Res*. 2019;10(1):e2.
49. Kammerer PW, Schiegnitz E, Alshihri A, Draenert FG, Wagner W. Modification of xenogenic bone substitute materials--effects on the early healing cascade in vitro. *Clin Oral Implants Res*. 2014;25(7):852-8.
50. Branemark PI, Lindstrom J, Hallen O, Breine U, Jeppson PH, Ohman A. Reconstruction of the defective mandible. *Scand J Plast Reconstr Surg*. 1975;9(2):116-28.
51. Sbordone C, Toti P, Guidetti F, Califano L, Bufo P, Sbordone L. Volume changes of autogenous bone after sinus lifting and grafting procedures: a 6-year computerized tomographic follow-up. *J Craniomaxillofac Surg*. 2013;41(3):235-41.
52. Deluiz D, Oliveira L, Fletcher P, Pires FR, Nunes MA, Tinoco EM. Fresh-Frozen Bone Allografts in Maxillary Alveolar Augmentation: Analysis of

- Complications, Adverse Outcomes, and Implant Survival. *J Periodontol.* 2016;87(11):1261-7.
53. Committee on Research S, Therapy of the American Academy of P. Tissue banking of bone allografts used in periodontal regeneration. *J Periodontol.* 2001;72(6):834-8.
54. Fukuba S, Okada M, Nohara K, Iwata T. Alloplastic Bone Substitutes for Periodontal and Bone Regeneration in Dentistry: Current Status and Prospects. *Materials (Basel).* 2021;14(5).
55. Scarano A, Degidi M, Perrotti V, Piattelli A, Iezzi G. Sinus augmentation with phycogene hydroxyapatite: histological and histomorphometrical results after 6 months in humans. A case series. *Oral Maxillofac Surg.* 2012;16(1):41-5.
56. Ozkan Y, Akoglu B, Kulak-Ozkan Y. Maxillary sinus floor augmentation using bovine bone grafts with simultaneous implant placement: a 5-year prospective follow-up study. *Implant Dent.* 2011;20(6):455-9.
57. Traini T, Valentini P, Iezzi G, Piattelli A. A histologic and histomorphometric evaluation of anorganic bovine bone retrieved 9 years after a sinus augmentation procedure. *J Periodontol.* 2007;78(5):955-61.
58. Willenbacher M, Al-Nawas B, Berres M, Kammerer PW, Schiegnitz E. The Effects of Alveolar Ridge Preservation: A Meta-Analysis. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2016;18(6):1248-68.
59. Bornert F, Herber V, Sandgren R, Witek L, Coelho PG, Pippenger BE, et al. Comparative barrier membrane degradation over time: Pericardium versus dermal membranes. *Clin Exp Dent Res.* 2021;7(5):711-8.
60. Hammerle CH, Araujo MG, Simion M, Osteology Consensus G. Evidence-based knowledge on the biology and treatment of extraction sockets. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23 Suppl 5:80-2.
61. Lambrecht JT. *Zahnärztliche Operationen.* Berlin 2011.
62. Lie SAN, Claessen R, Leung CAW, Merten HA, Kessler P. Non-grafted versus grafted sinus lift procedures for implantation in the atrophic maxilla: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2022;51(1):122-32.
63. Papaspyridakos P, De Souza A, Vazouras K, Gholami H, Pagni S, Weber HP. Survival rates of short dental implants ( $\leq 6$  mm) compared with implants longer than 6 mm in posterior jaw areas: A meta-analysis. *Clin Oral Implants Res.* 2018;29 Suppl 16:8-20.
64. Schiegnitz E, Kammerer PW, Sagheb K, Wendt AJ, Pabst A, Al-Nawas B, et al. Impact of maxillary sinus augmentation on oral health-related quality of life. *Int J Implant Dent.* 2017;3(1):10.
65. van den Bergh JP, ten Bruggenkate CM, Disch FJ, Tuinzing DB. Anatomical aspects of sinus floor elevations. *Clin Oral Implants Res.* 2000;11(3):256-65.
66. Zijdeveld SA, van den Bergh JP, Schulten EA, ten Bruggenkate CM. Anatomical and surgical findings and complications in 100 consecutive maxillary sinus floor elevation procedures. *J Oral Maxillofac Surg.* 2008;66(7):1426-38.
67. Boyne PJ, James RA. Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone. *J Oral Surg.* 1980;38(8):613-6.
68. Park WB, Han JY, Kang P, Momen-Heravi F. The clinical and radiographic outcomes of Schneiderian membrane perforation without repair in sinus elevation surgery. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2019;21(5):931-7.

69. Shiffler K, Lee D, Aghaloo T, Moy PK, Pi-Anfruns J. Sinus membrane perforations and the incidence of complications: a retrospective study from a residency program. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2015;120(1):10-4.
70. Oh E, Kraut RA. Effect of sinus membrane perforation on dental implant integration: a retrospective study on 128 patients. *Implant Dent.* 2011;20(1):13-9.
71. Nolan PJ, Freeman K, Kraut RA. Correlation between Schneiderian membrane perforation and sinus lift graft outcome: a retrospective evaluation of 359 augmented sinus. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72(1):47-52.
72. Pikos MA. Maxillary sinus membrane repair: report of a technique for large perforations. *Implant Dent.* 1999;8(1):29-34.
73. Becker ST, Terheyden H, Steinriede A, Behrens E, Springer I, Wiltfang J. Prospective observation of 41 perforations of the Schneiderian membrane during sinus floor elevation. *Clin Oral Implants Res.* 2008;19(12):1285-9.
74. Sonick MK, Hwang D, Ma R. An Atraumatic Approach to Internal Sinus Lifting: The Motorized Expansion Drill Technique. *Compend Contin Educ Dent.* 2020;41(6):331-5.
75. Wallace SS, Mazor Z, Froum SJ, Cho SC, Tarnow DP. Schneiderian membrane perforation rate during sinus elevation using piezosurgery: clinical results of 100 consecutive cases. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2007;27(5):413-9.
76. Wallace SS, Froum SJ. Effect of maxillary sinus augmentation on the survival of endosseous dental implants. A systematic review. *Ann Periodontol.* 2003;8(1):328-43.
77. Wessing B, Lettner S, Zechner W. Guided Bone Regeneration with Collagen Membranes and Particulate Graft Materials: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2018;33(1):87-100.
78. Hurley LA, Stinchfield FE, Bassett AL, Lyon WH. The role of soft tissues in osteogenesis. An experimental study of canine spine fusions. *J Bone Joint Surg Am.* 1959;41-A:1243-54.
79. Karring T, Nyman S, Lindhe J. Healing following implantation of periodontitis affected roots into bone tissue. *J Clin Periodontol.* 1980;7(2):96-105.
80. Hammerle CH, Jung RE. Bone augmentation by means of barrier membranes. *Periodontol 2000.* 2003;33:36-53.
81. Elgali I, Omar O, Dahlin C, Thomsen P. Guided bone regeneration: materials and biological mechanisms revisited. *Eur J Oral Sci.* 2017;125(5):315-37.
82. Lundgren D, Sennerby L, Falk H, Friberg B, Nyman S. The use of a new bioresorbable barrier for guided bone regeneration in connection with implant installation. Case reports. *Clin Oral Implants Res.* 1994;5(3):177-84.
83. Patino MG, Neiders ME, Andreana S, Noble B, Cohen RE. Collagen as an implantable material in medicine and dentistry. *J Oral Implantol.* 2002;28(5):220-5.
84. Gottlow J. Guided Tissue Regeneration Using Bioresorbable and Non-Resorbable Devices: Initial Healing and Long-Term Results. *J Periodontol.* 1993;64 Suppl 11S:1157-65.
85. Gastaldi G, Felice P, Pistilli R, Barausse C, Trullenque-Eriksson A, Esposito M. Short implants as an alternative to crestal sinus lift: a 3-year

- multicentre randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol.* 2017;10(4):391-400.
86. Strietzel FP, Reichart PA. Oral rehabilitation using Camlog screw-cylinder implants with a particle-blasted and acid-etched microstructured surface. Results from a prospective study with special consideration of short implants. *Clin Oral Implants Res.* 2007;18(5):591-600.
87. 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 Suppl 16:69-77.
88. Bahat O. Treatment planning and placement of implants in the posterior maxillae: report of 732 consecutive Nobelpharma implants. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1993;8(2):151-61.
89. Rossi F, Botticelli D, Cesaretti G, De Santis E, Storelli S, Lang NP. Use of short implants (6 mm) in a single-tooth replacement: a 5-year follow-up prospective randomized controlled multicenter clinical study. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27(4):458-64.
90. Sahrman P, Naenni N, Jung RE, Held U, Truninger T, Hammerle CH, et al. Success of 6-mm Implants with Single-Tooth Restorations: A 3-year Randomized Controlled Clinical Trial. *J Dent Res.* 2016;95(6):623-8.
91. Malmstrom H, Gupta B, Ghanem A, Cacciato R, Ren Y, Romanos GE. Success rate of short dental implants supporting single crowns and fixed bridges. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27(9):1093-8.
92. Atieh MA, Zadeh H, Stanford CM, Cooper LF. Survival of short dental implants for treatment of posterior partial edentulism: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2012;27(6):1323-31.
93. Nisand D, Picard N, Rocchietta I. Short implants compared to implants in vertically augmented bone: a systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26 Suppl 11:170-9.
94. Carosi P, Lorenzi C, Lio F, Laureti M, Ferrigno N, Arcuri C. Short implants ( $\leq 6$ mm) as an alternative treatment option to maxillary sinus lift. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2021;50(11):1502-10.
95. Mehta SP, Sutariya PV, Pathan MR, Upadhyay HH, Patel SR, Kantharia NDG. Clinical success between tilted and axial implants in edentulous maxilla: A systematic review and meta-analysis. *J Indian Prosthodont Soc.* 2021;21(3):217-28.
96. Bahat O. Osseointegrated implants in the maxillary tuberosity: report on 45 consecutive patients. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1992;7(4):459-67.
97. Branemark PI, Grondahl K, Ohrenell LO, Nilsson P, Petruson B, Svensson B, et al. Zygoma fixture in the management of advanced atrophy of the maxilla: technique and long-term results. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 2004;38(2):70-85.
98. Balshi TJ, Wolfinger GJ, Balshi SF, 2nd. Analysis of 356 pterygomaxillary implants in edentulous arches for fixed prosthesis anchorage. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1999;14(3):398-406.
99. Menini M, Signori A, Tealdo T, Bevilacqua M, Pera F, Ravera G, et al. Tilted implants in the immediate loading rehabilitation of the maxilla: a systematic review. *J Dent Res.* 2012;91(9):821-7.
100. Malo P, de Araujo Nobre M, Lopes A, Rodrigues R. Preliminary report on the outcome of tilted implants with longer lengths (20-25 mm) in low-density

- bone: one-year follow-up of a prospective cohort study. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2015;17 Suppl 1:e134-42.
101. Aparicio C, Manresa C, Francisco K, Claros P, Alandez J, Gonzalez-Martin O, et al. Zygomatic implants: indications, techniques and outcomes, and the zygomatic success code. *Periodontol 2000.* 2014;66(1):41-58.
102. Agliardi EL, Panigatti S, Romeo D, Sacchi L, Gherlone E. Clinical outcomes and biological and mechanical complications of immediate fixed prostheses supported by zygomatic implants: A retrospective analysis from a prospective clinical study with up to 11 years of follow-up. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2021;23(4):612-24.
103. Koeck B, Wagner W, Ackermann KL. *Implantologie. Praxis der Zahnheilkunde / begr von D Haunfelder Hrsg von H-H Horch 2. Aufl. ed. München u.a.2004.*
104. Kullman L, Al-Asfour A, Zetterqvist L, Andersson L. Comparison of radiographic bone height assessments in panoramic and intraoral radiographs of implant patients. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2007;22(1):96-100.
105. Ivanauskaitė D, Lindh C, Rangne K, Rohlin M. Comparison between Scanora panoramic radiography and bitewing radiography in the assessment of marginal bone tissue. *Stomatologija.* 2006;8(1):9-15.
106. Zechner W, Watzak G, Gahleitner A, Busenlechner D, Tepper G, Watzek G. Rotational panoramic versus intraoral rectangular radiographs for evaluation of peri-implant bone loss in the anterior atrophic mandible. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2003;18(6):873-8.
107. Buch RS, Weibrich G, Wagner W. [Criteria of success in implantology]. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 2003;7(1):42-6.
108. Buser D, Weber HP, Lang NP. Tissue integration of non-submerged implants. 1-year results of a prospective study with 100 ITI hollow-cylinder and hollow-screw implants. *Clin Oral Implants Res.* 1990;1(1):33-40.
109. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1986;1(1):11-25.
110. Avila-Ortiz G, Rodriguez JC, Rudek I, Benavides E, Rios H, Wang HL. Effectiveness of three different alveolar ridge preservation techniques: a pilot randomized controlled trial. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2014;34(4):509-21.
111. Avila-Ortiz G, Elangovan S, Kramer KW, Blanchette D, Dawson DV. Effect of alveolar ridge preservation after tooth extraction: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res.* 2014;93(10):950-8.
112. Araujo M, Linder E, Lindhe J. Effect of a xenograft on early bone formation in extraction sockets: an experimental study in dog. *Clin Oral Implants Res.* 2009;20(1):1-6.
113. De Risi V, Clementini M, Vittorini G, Mannocci A, De Sanctis M. Alveolar ridge preservation techniques: a systematic review and meta-analysis of histological and histomorphometrical data. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26(1):50-68.
114. Chang PC, Chang HC, Lin TC, Tai WC. Preclinical alveolar ridge preservation using small-sized particles of bone replacement graft in combination with a gelatin cryogel scaffold. *J Periodontol.* 2018;89(10):1221-9.
115. Pickert FN, Spalthoff S, Gellrich NC, Blaya Tarraga JA. Cone-beam computed tomographic evaluation of dimensional hard tissue changes following alveolar ridge preservation techniques of different bone substitutes: a

- systematic review and meta-analysis. *J Periodontal Implant Sci.* 2022;52(1):3-27.
116. Hanser T, Khoury F. Extraction site management in the esthetic zone using autogenous hard and soft tissue grafts: a 5-year consecutive clinical study. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2014;34(3):305-12.
117. Pietrokovski J, Massler M. Alveolar ridge resorption following tooth extraction. *J Prosthet Dent.* 1967;17(1):21-7.
118. Scheyer ET, Heard R, Janakievski J, Mandelaris G, Nevins ML, Pickering SR, et al. A randomized, controlled, multicentre clinical trial of post-extraction alveolar ridge preservation. *J Clin Periodontol.* 2016;43(12):1188-99.
119. Sadeghi R, Babaei M, Miremadi SA, Abbas FM. A randomized controlled evaluation of alveolar ridge preservation following tooth extraction using deproteinized bovine bone mineral and demineralized freeze-dried bone allograft. *Dent Res J (Isfahan).* 2016;13(2):151-9.
120. Barone A, Todisco M, Ludovichetti M, Gualini F, Aggstaller H, Torres-Lagares D, et al. A prospective, randomized, controlled, multicenter evaluation of extraction socket preservation comparing two bovine xenografts: clinical and histologic outcomes. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2013;33(6):795-802.
121. Wood RA, Mealey BL. Histologic comparison of healing after tooth extraction with ridge preservation using mineralized versus demineralized freeze-dried bone allograft. *J Periodontol.* 2012;83(3):329-36.
122. Schulz MC, Kallweit MB, Kallweit S, Koch R, Lauer G, Mai R, et al. Autogenous bone and a bovine bone substitute for ridge preservation: preliminary clinical and histologic findings. *Aust Dent J.* 2016;61(1):62-70.
123. Iorio-Siciliano V, Ramaglia L, Blasi A, Bucci P, Nuzzolo P, Riccitiello F, et al. Dimensional changes following alveolar ridge preservation in the posterior area using bovine-derived xenografts and collagen membrane compared to spontaneous healing: a 6-month randomized controlled clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2020;24(2):1013-23.
124. Avila-Ortiz G, Gubler M, Romero-Bustillos M, Nicholas CL, Zimmerman MB, Barwacz CA. Efficacy of Alveolar Ridge Preservation: A Randomized Controlled Trial. *J Dent Res.* 2020;99(4):402-9.
125. Lee J, Yun J, Kim JJ, Koo KT, Seol YJ, Lee YM. Retrospective study of alveolar ridge preservation compared with no alveolar ridge preservation in periodontally compromised extraction sockets. *Int J Implant Dent.* 2021;7(1):23.
126. Park SH, Song YW, Sanz-Martin I, Cha JK, Lee JS, Jung UW. Clinical benefits of ridge preservation for implant placement compared to natural healing in maxillary teeth: A retrospective study. *J Clin Periodontol.* 2020;47(3):382-91.
127. Sandor GK, Kainulainen VT, Queiroz JO, Carmichael RP, Oikarinen KS. Preservation of ridge dimensions following grafting with coral granules of 48 post-traumatic and post-extraction dento-alveolar defects. *Dent Traumatol.* 2003;19(4):221-7.
128. Mardas N, Trullenque-Eriksson A, MacBeth N, Petrie A, Donos N. Does ridge preservation following tooth extraction improve implant treatment outcomes: a systematic review: Group 4: Therapeutic concepts & methods. *Clin Oral Implants Res.* 2015;26 Suppl 11:180-201.
129. Olsson M, Lindhe J. Periodontal characteristics in individuals with varying form of the upper central incisors. *J Clin Periodontol.* 1991;18(1):78-82.

- 
130. Olsson M, Lindhe J, Marinello CP. On the relationship between crown form and clinical features of the gingiva in adolescents. *J Clin Periodontol.* 1993;20(8):570-7.
131. Anegundi RV, Shenoy SB, Punj A. Gingival biotype as an indicator for the buccal bone thickness - a systematic review of the literature. *Evid Based Dent.* 2021.
132. Nevins M, Camelo M, De Paoli S, Friedland B, Schenk RK, Parma-Benfenati S, et al. A study of the fate of the buccal wall of extraction sockets of teeth with prominent roots. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2006;26(1):19-29.
133. Juodzbaly G, Stumbras A, Goyushov S, Duruel O, Tozum TF. Morphological Classification of Extraction Sockets and Clinical Decision Tree for Socket Preservation/Augmentation after Tooth Extraction: a Systematic Review. *J Oral Maxillofac Res.* 2019;10(3):e3.
134. Elian N, Cho SC, Froum S, Smith RB, Tarnow DP. A simplified socket classification and repair technique. *Pract Proced Aesthet Dent.* 2007;19(2):99-104; quiz 6.
135. Barone A, Ricci M, Tonelli P, Santini S, Covani U. Tissue changes of extraction sockets in humans: a comparison of spontaneous healing vs. ridge preservation with secondary soft tissue healing. *Clin Oral Implants Res.* 2013;24(11):1231-7.
136. Saldanha JB, Casati MZ, Neto FH, Sallum EA, Nociti FH, Jr. Smoking may affect the alveolar process dimensions and radiographic bone density in maxillary extraction sites: a prospective study in humans. *J Oral Maxillofac Surg.* 2006;64(9):1359-65.
137. Naseri R, Yaghini J, Feizi A. Levels of smoking and dental implants failure: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol.* 2020;47(4):518-28.
138. Levin L, Schwartz-Arad D. The effect of cigarette smoking on dental implants and related surgery. *Implant Dent.* 2005;14(4):357-61.
139. Daftari TK, Whitesides TE, Jr., Heller JG, Goodrich AC, McCarey BE, Hutton WC. Nicotine on the revascularization of bone graft. An experimental study in rabbits. *Spine (Phila Pa 1976).* 1994;19(8):904-11.
140. Bain CA, Moy PK. The association between the failure of dental implants and cigarette smoking. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1993;8(6):609-15.
141. Silverstein P. Smoking and wound healing. *Am J Med.* 1992;93(1A):22S-4S.
142. Jung RE, Fenner N, Hammerle CH, Zitzmann NU. Long-term outcome of implants placed with guided bone regeneration (GBR) using resorbable and non-resorbable membranes after 12-14 years. *Clin Oral Implants Res.* 2013;24(10):1065-73.
143. Pihlstrom BL, McHugh RB, Oliphant TH, Ortiz-Campos C. Comparison of surgical and nonsurgical treatment of periodontal disease. A review of current studies and additional results after 6 1/2 years. *J Clin Periodontol.* 1983;10(5):524-41.
144. Rothamel D, Schwarz F, Sculean A, Herten M, Scherbaum W, Becker J. Biocompatibility of various collagen membranes in cultures of human PDL fibroblasts and human osteoblast-like cells. *Clin Oral Implants Res.* 2004;15(4):443-9.

145. Zitzmann NU, Naef R, Scharer P. Resorbable versus nonresorbable membranes in combination with Bio-Oss for guided bone regeneration. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1997;12(6):844-52.
146. Sheikh Z, Qureshi J, Alshahrani AM, Nassar H, Ikeda Y, Glogauer M, et al. Collagen based barrier membranes for periodontal guided bone regeneration applications. *Odontology.* 2017;105(1):1-12.
147. Postlethwaite AE, Seyer JM, Kang AH. Chemotactic attraction of human fibroblasts to type I, II, and III collagens and collagen-derived peptides. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 1978;75(2):871-5.
148. Yaffe A, Ehrlich J, Shoshan S. Restoration of periodontal attachment employing enriched collagen solution in the dog. *J Periodontol.* 1984;55(11):623-8.
149. Rothamel D, Schwarz F, Fienitz T, Smeets R, Dreiseidler T, Ritter L, et al. Biocompatibility and biodegradation of a native porcine pericardium membrane: results of in vitro and in vivo examinations. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2012;27(1):146-54.
150. Rothamel D, Schwarz F, Sager M, Herten M, Sculean A, Becker J. Biodegradation of differently cross-linked collagen membranes: an experimental study in the rat. *Clin Oral Implants Res.* 2005;16(3):369-78.
151. Verardi S, Simion M. Management of the exposure of e-PTFE membranes in guided bone regeneration. *Pract Proced Aesthet Dent.* 2007;19(2):111-7.
152. Cardaropoli D, Cardaropoli G. Preservation of the postextraction alveolar ridge: a clinical and histologic study. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2008;28(5):469-77.
153. Wang RE, Lang NP. Ridge preservation after tooth extraction. *Clin Oral Implants Res.* 2012;23 Suppl 6:147-56.
154. Engler-Hamm D, Cheung WS, Yen A, Stark PC, Griffin T. Ridge preservation using a composite bone graft and a bioabsorbable membrane with and without primary wound closure: a comparative clinical trial. *J Periodontol.* 2011;82(3):377-87.
155. Lim HC, Shin HS, Cho IW, Koo KT, Park JC. Ridge preservation in molar extraction sites with an open-healing approach: A randomized controlled clinical trial. *J Clin Periodontol.* 2019;46(11):1144-54.
156. Sivolella S, Botticelli D, Prasad S, Ricci S, Bressan E, Prasad H. Evaluation and comparison of histologic changes and implant survival in extraction sites immediately grafted with two different xenografts: A randomized clinical pilot study. *Clin Oral Implants Res.* 2020;31(9):825-35.
157. Apostolopoulos P, Darby I. Retrospective success and survival rates of dental implants placed after a ridge preservation procedure. *Clin Oral Implants Res.* 2017;28(4):461-8.
158. Crespi R, Toti P, Covani U, Crespi G, Brevi B, Menchini-Fabris GB. Bone Assessment in Grafted and Ungrafted Sockets After Dental Implant Placement: A 10-year Follow-up Study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2020;35(3):576-84.
159. Crespi R, Cappare P, Gherlone E. Dental implants placed in extraction sites grafted with different bone substitutes: radiographic evaluation at 24 months. *J Periodontol.* 2009;80(10):1616-21.
160. Marconcini S, Giammarinaro E, Derchi G, Alfonsi F, Covani U, Barone A. Clinical outcomes of implants placed in ridge-preserved versus nonpreserved sites: A 4-year randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2018;20(6):906-14.

161. Barone A, Orlando B, Cingano L, Marconcini S, Derchi G, Covani U. A randomized clinical trial to evaluate and compare implants placed in augmented versus non-augmented extraction sockets: 3-year results. *J Periodontol.* 2012;83(7):836-46.
162. Gulje FL, Raghoobar GM, Vissink A, Meijer HJA. Single crowns in the resorbed posterior maxilla supported by either 11-mm implants combined with sinus floor elevation or 6-mm implants: A 5-year randomised controlled trial. *Int J Oral Implantol (Berl).* 2019;12(3):315-26.
163. Al-Nawas B, Kammerer PW, Morbach T, Ladwein C, Wegener J, Wagner W. Ten-year retrospective follow-up study of the TiOblast dental implant. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2012;14(1):127-34.
164. Javed F, Romanos GE. Role of implant diameter on long-term survival of dental implants placed in posterior maxilla: a systematic review. *Clin Oral Investig.* 2015;19(1):1-10.
165. Wadhwa P, Kim SK, Kim HJ, Lim HK, Jia Q, Jiang HB, et al. A Six-Year Prospective Comparative Study of Wide and Standard Diameter Implants in the Maxillary and Mandibular Posterior Area. *Medicina (Kaunas).* 2021;57(10).
166. Wei Y, Xu T, Zhao L, Hu W, Chung KH. Ridge preservation in maxillary molar extraction sites with severe periodontitis: a prospective observational clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2022;26(3):2391-9.
167. Kim JJ, Schwarz F, Song HY, Choi Y, Kang KR, Koo KT. Ridge preservation of extraction sockets with chronic pathology using Bio-Oss((R)) Collagen with or without collagen membrane: an experimental study in dogs. *Clin Oral Implants Res.* 2017;28(6):727-33.
168. Evian CI, Emling R, Rosenberg ES, Waasdorp JA, Halpern W, Shah S, et al. Retrospective analysis of implant survival and the influence of periodontal disease and immediate placement on long-term results. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2004;19(3):393-8.
169. Rocuzzo A, Imber JC, Marruganti C, Salvi GE, Ramieri G, Rocuzzo M. Clinical outcomes of dental implants in patients with and without history of periodontitis: A 20-year prospective study. *J Clin Periodontol.* 2022;49(12):1346-56.
170. Matarasso S, Rasperini G, Iorio Siciliano V, Salvi GE, Lang NP, Aglietta M. A 10-year retrospective analysis of radiographic bone-level changes of implants supporting single-unit crowns in periodontally compromised vs. periodontally healthy patients. *Clin Oral Implants Res.* 2010;21(9):898-903.
171. Safii SH, Palmer RM, Wilson RF. Risk of implant failure and marginal bone loss in subjects with a history of periodontitis: a systematic review and meta-analysis. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2010;12(3):165-74.
172. Farre-Pages N, Auge-Castro ML, Alaejos-Algarra F, Mareque-Bueno J, Ferres-Padro E, Hernandez-Alfaro F. Relation between bone density and primary implant stability. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2011;16(1):e62-7.
173. Molly L. Bone density and primary stability in implant therapy. *Clin Oral Implants Res.* 2006;17 Suppl 2:124-35.
174. Martinez H, Davarpanah M, Missika P, Celletti R, Lazzara R. Optimal implant stabilization in low density bone. *Clin Oral Implants Res.* 2001;12(5):423-32.
175. Yang Y, Hu H, Zeng M, Chu H, Gan Z, Duan J, et al. The survival rates and risk factors of implants in the early stage: a retrospective study. *BMC Oral Health.* 2021;21(1):293.

- 
176. Chatzopoulos GS, Wolff LF. Dental implant failure and bone augmentation: A retrospective study. *J Clin Exp Dent*. 2023;15(3):e195-e204.
177. Esposito M, Hirsch JM, Lekholm U, Thomsen P. Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants. (I). Success criteria and epidemiology. *Eur J Oral Sci*. 1998;106(1):527-51.
178. Esposito M, Hirsch JM, Lekholm U, Thomsen P. Biological factors contributing to failures of osseointegrated oral implants. (II). Etiopathogenesis. *Eur J Oral Sci*. 1998;106(3):721-64.
179. Eghbali A, Seyssens L, De Bruyckere T, Younes F, Cleymaet R, Cosyn J. A 5-year prospective study on the clinical and aesthetic outcomes of alveolar ridge preservation and connective tissue graft at the buccal aspect of single implants. *J Clin Periodontol*. 2018;45(12):1475-84.
180. Gokcen-Rohlig B, Yaltirik M, Ozer S, Tuncer ED, Evlioglu G. Survival and Success of ITI Implants and Prostheses: Retrospective Study of Cases with 5-Year Follow-Up. *Eur J Dent*. 2009;3(1):42-9.
181. Araujo MG, Sukekava F, Wennstrom JL, Lindhe J. Ridge alterations following implant placement in fresh extraction sockets: an experimental study in the dog. *J Clin Periodontol*. 2005;32(6):645-52.
182. Canellas J, Medeiros PJD, Figueredo C, Fischer RG, Ritto FG. Which is the best choice after tooth extraction, immediate implant placement or delayed placement with alveolar ridge preservation? A systematic review and meta-analysis. *J Craniomaxillofac Surg*. 2019;47(11):1793-802.
183. Mareque S, Castelo-Baz P, Lopez-Malla J, Blanco J, Nart J, Valles C. Clinical and esthetic outcomes of immediate implant placement compared to alveolar ridge preservation: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*. 2021;25(8):4735-48.
184. Schiegnitz E, Al-Nawas B, Tegner A, Sagheb K, Berres M, Kammerer PW, et al. Clinical and Radiological Long-Term Outcome of a Tapered Implant System with Special Emphasis on the Influence of Augmentation Procedures. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2016;18(4):810-20.
185. Patel R, Ucer C, Wright S, Khan RS. Differences in Dental Implant Survival between Immediate vs. Delayed Placement: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Dent J (Basel)*. 2023;11(9).
186. Lombardo G, Signoriello A, Pardo A, Serpa Romero XZ, Vila Sierra LA, Arevalo Tovar L, et al. Short and ultra-short (<6-mm) locking-taper implants supporting single crowns in posterior areas (part II): A 5-year retrospective study on periodontally healthy patients and patients with a history of periodontitis. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2022;24(4):455-67.
187. Yan Q, Wu X, Su M, Hua F, Shi B. Short implants (<=6 mm) versus longer implants with sinus floor elevation in atrophic posterior maxilla: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2019;9(10):e029826.
188. Ravida A, Wang IC, Barootchi S, Askar H, Tavelli L, Gargallo-Albiol J, et al. Meta-analysis of randomized clinical trials comparing clinical and patient-reported outcomes between extra-short (<=6 mm) and longer (>=10 mm) implants. *J Clin Periodontol*. 2019;46(1):118-42.
189. Bolle C, Felice P, Barausse C, Pistilli V, Trullenque-Eriksson A, Esposito M. 4 mm long vs longer implants in augmented bone in posterior atrophic jaws: 1-year post-loading results from a multicentre randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol*. 2018;11(1):31-47.

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Zustand des Alveolarfortsatzes 8 Wochen nach Zahnextraktion mit vollständiger Resorption der bukkalen Alveolenwand (Khoury et al., 2009, S.11) (2).....	5
Abbildung 2.2: Einteilung der Transplantatmaterialien nach ihren Eigenschaften (Khoury et al., 2009, S.12) (2).....	12
Abbildung 2.3: Situation der Extraktionsalveole mit Implantat a) ohne und b) mit Auffüllung der Extraktionsalveole (Lambrech et al., 2008, S.318) (61).....	14
Abbildung 2.4: Prinzip der krestalen Sinusbodenaugmentation unter Verwendung von Knochenkondensatoren zum Anheben des Kieferhöhlenbodens, Quelle: Dentsply Sirona, Broschüre.....	17
Abbildung 2.5: Schematische Darstellung der laterale Sinusbodenaugmentation mit Einlagerung von Augmentationsmaterialien und sofortiger Implantatinserktion, Quelle: Dentsply Sirona, Broschüre.....	18
Abbildung 2.6: Laterale Sinusbodenaugmentation mit Einlagerung von Augmentationsmaterialien, Quelle: eigene Darstellung.....	18
Abbildung 2.7: Schematische Darstellung der membrangeschützten gesteuerten Knochenregeneration (GBR). Durch die Verwendung von Knochenersatzmaterial und einer Membran kann zusätzliches Volumen gewonnen werden (Lambrech et al., 2008, S.317) (61).....	20
Abbildung 2.8: Durch die Membran können die schnell wachsenden Fibroblasten nicht in den Knochendefekt eindringen sodass die langsam wachsenden Osteoblasten I neuen Knochen bilden können (Lambrech et al., 2008, S.313) (61).....	21
Abbildung 4.1: Geschlechterverteilung.....	33
Abbildung 4.2: Kontroll- und Testgruppe.....	34
Abbildung 4.3: Lokalisation.....	35
Abbildung 4.4: Notwendige Sinusbodenelevationen.....	36
Abbildung 4.5: Implantatdurchmesser.....	36
Abbildung 4.6: Implantatlänge.....	37
Abbildung 4.7: Implantatüberleben.....	38

---

Abbildung 4.8: Prä- und postoperative Mittelwerte .....	39
Abbildung 4.9: Nicht erhaltungswürdiger Zahn 14 .....	40
Abbildung 4.10: Die PSA der Patientin, bevor die Krone des Zahns 14 abgebrochen war, Messung der mesialen und distalen Knochenhöhe .....	40
Abbildung 4.11: Zustand nach atraumatischer Zahnextraktion 14 .....	41
Abbildung 4.12: Auffüllen der Extraktionsalveole mit bovinem Knochenersatzmaterial .....	41
Abbildung 4.13: Anschließendes Einnähen einer Kollagenmatrix .....	41
Abbildung 4.14: Dreidimensionale Implantatplanung mittels DVT .....	41
Abbildung 4.15: klinische Situation ca. 6 Monate nach Zahnextraktion .....	41
Abbildung 4.16: Intraoperative Situation nach Bildung eines Mukoperiostlappens .....	41
Abbildung 4.17: Intraoperative Situation nach Implantatinsertion.....	42
Abbildung 4.18: PSA Aufnahme nach Implantatinsertion und Messung der mesialen und distalen Knochenhöhe am Implantat .....	42
Abbildung 4.19: Prothetische Versorgung des Implantats regio 14, Ansicht von okklusal.....	42
Abbildung 4.20: Prothetische Versorgung des Implantats regio 14, Ansicht von vestibulär .....	42
Abbildung 4.21: Klinische Situation des nicht erhaltungswürdigen Zahns 15...43	
Abbildung 4.22: Die PSA des Patienten, bevor die Krone des Zahns 15 entfernt wurde, Messung der mesialen und distalen Knochenhöhe .....	43
Abbildung 4.23: Zustand nach atraumatischer Zahnextraktion.....	44
Abbildung 4.24: Adaptation der Wundränder ohne Einlage eines Knochenersatzmaterials .....	44
Abbildung 4.25: Dreidimensionale Implantatplanung mittels DVT .....	45
Abbildung 4.26: klinische Situation ca. 7 Monate nach Zahnextraktion .....	45
Abbildung 4.27: Intraoperative Situation nach Bildung eines Mukoperioslappens .....	45
Abbildung 4.28: Intraoperative Situation nach Implantatinsertion und der Ver- wendung einer Einheilkappe .....	45
Abbildung 4.29: PSA Aufnahme nach Implantatinsertion und Messung der mesialen und distalen Knochenhöhe am Implantat .....	45

---

Abbildung 4.30: Prothetische Versorgung des Implantats regio 15, Ansicht von okklusal.....	46
Abbildung 4.31: Prothetische Versorgung des Implantats regio 15, Ansicht von vestibulär .....	46

## **10 Anhang**

### **10.1 Erklärung und Interessenskonflikt**

Ich, Elias Jean-Jacques Khoury, erkläre hiermit, dass die vorgelegte Dissertation von mir selbstständig, ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel, angefertigt wurde. Alle von mir benutzten Veröffentlichungen, ungedruckten Materialien, sonstige Hilfsmittel sowie Textstellen, die ich wörtlich oder inhaltlich aus gedruckten oder ungedruckten Arbeiten übernommen habe, habe ich als solche gekennzeichnet und mit den erforderlichen bibliographischen Angaben nachgewiesen. Unterstützungsleistungen, die ich von anderen Personen erhalten habe, wurden in der Dissertationsschrift als solche benannt.

Die Dissertation wurde bei keiner anderen Fakultät oder einem anderen Fachbereich vorgelegt, weder im In- noch im Ausland.

Überdies bin ich nicht im Besitz eines anderen Doktorgrades.

Ich habe bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet.

Mir ist bekannt, dass die Zulassung zur Promotion zu versagen ist, wenn die Unterlagen unvollständig oder die Angaben unrichtig sind. Ich bin darüber informiert, dass ich zur Führung des Dokortitels erst mit Aushändigung der Promotionsurkunde berechtigt bin.

Ich erkläre, dass ich keinen Interessenkonflikt habe.

## 10.2 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Dr. Eik Schiegnitz für die Überlassung des Themas und seine wertvolle Unterstützung während meiner Forschungsarbeit. Seine Anmerkungen, Ideen und Motivationen haben maßgeblich dazu beigetragen, diese Arbeit zu formen und erfolgreich abzuschließen.

Ich möchte ebenfalls den Mitarbeitern der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universitätsmedizin Mainz danken, die bei der Betreuung und den Nachuntersuchungen der Patienten tatkräftig unterstützt haben.

Selbstverständlich gebührt auch den Patienten, die an dieser Studie teilgenommen haben, mein aufrichtiger Dank.

Für die Betreuung bei der Auswertung der statistischen Daten bedanke ich mich beim Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik der Universitätsmedizin Mainz.

Abschließend gebührt mein Dank meinen Eltern, meinen Geschwistern und Larissa, die mich während der Zeit stets großartig unterstützten und motivierten. Ohne sie hätte ich diese Arbeit nicht vollenden können.

Big times ahead

### 10.3 Lebenslauf

#### Persönliche Daten

Name	Elias Khoury
Geburtsdatum	05.12.1998
Geburtsort	Münster
Staatsangehörigkeit	deutsch
Familienstand	ledig

#### Berufliche Tätigkeit

07/2023-12/2023	Assistenz Zahnarzt der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Mainz
seit 02/2024	Assistenz Zahnarzt der Zahnklinik Schloss Schellenstein, Olsberg
seit 10/2021	Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie - plastische Operationen in Mainz

#### Universitäre Ausbildung

07/2023	Zahnärztliche Prüfung
seit 10/2021	Doktorand der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie-plastische Operationen in Mainz
09/2020	Zahnärztliche Vorprüfung
03/2019	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
2018-2023	Studium der Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Schulbildung

2017

Allgemeine Hochschulreife

2007-2016

St. Ursula Gymnasium, Neheim

2004-2009

St. Michael Grundschule, Neheim