

**Externer Sinuslift mit intraoperativ gewonnenem  
autologem Knochen und A-PRF, eine prospektive Studie**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades einer  
Doktorin der Zahnmedizin (Dr. med. dent.)

an der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von

Isabel Nixdorf, geb. Schneider

aus

Siegen

2025

Betreuer:in / Gutachter:in der Dissertation: PD Dr. Dr. Anders Henningsen

Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Dr. Ralf Smeets

Vorsitz der Prüfungskommission: Prof. Dr. Dr. Ralf Smeets

Mitglied der Prüfungskommission: Prof. Dr. Florian Barvencik

Mitglied der Prüfungskommission: Prof. Dr. Dr. Thomas Beikler

Datum der mündlichen Prüfung: 15.06.2026

# Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG .....	1
1.1	Atrophie.....	1
1.2	Knochengewebe .....	2
1.2.1	Knochenheilung.....	3
1.3	Dentale Implantate.....	4
1.3.1	Ablauf der Osseointegration .....	4
1.3.2	Implantatsysteme .....	5
1.4	Knochenaugmentation .....	5
1.4.1	Autologer Knochen .....	6
1.4.2	Allogener Knochen .....	6
1.4.3	Xenogenes Knochenersatzmaterial.....	7
1.4.4	Alloplastisches Knochenersatzmaterial .....	8
1.5	Externer Sinuslift.....	9
1.5.1	Anatomie, Physiologie und Funktion der Sinus maxillae .....	9
1.5.2	Operationstechnik des externen Sinuslift .....	11
1.5.3	Operationstechniken für den Zugang zur Kieferhöhle .....	12
1.5.4	Einsatz von Knochenersatzmaterial beim externen Sinuslift.....	12
1.5.5	Die Rolle der Schneiderschen Membran.....	13
1.5.6	Komplikationen beim externen Sinuslift.....	13
1.6	Platelet Rich Fibrin.....	14
1.7	Messung von Implantatstabilität.....	15
1.7.1	Insertions-Torque .....	15
1.7.2	Periotest .....	15
1.7.3	Resonanzfrequenzanalyse .....	16
1.8	Pink Esthetic Score.....	17
1.9	Zielsetzung, Fragestellung, Hypothesen.....	18
2	MATERIAL UND METHODEN .....	19
2.1	Patientenkollektiv .....	19
2.2	Ein- und Ausschlusskriterien.....	19
2.3	Dokumentation.....	20

2.4	Ethikvotum .....	20
2.5	Therapiekonzept .....	20
2.5.1	Präoperatives Management .....	20
2.5.2	Präoperative Planung .....	20
2.5.3	Sinusaugmentation und Implantation .....	21
2.5.4	Freilegung.....	30
2.5.5	Prothetische Weiterversorgung .....	30
2.5.6	Recall.....	31
2.6	Datenauswertung.....	31
2.6.1	Röntgenologische Datenerhebung .....	31
2.6.2	Knochenhöhe .....	32
2.6.3	Resonanzfrequenzanalyse .....	34
2.6.4	Pink Esthetic Score .....	34
2.6.5	Hygieneindizes .....	34
2.6.6	Fragebögen .....	36
2.7	Erfolgskriterien.....	36
2.8	Prothetische Komplikationen .....	37
2.9	Chirurgische Komplikationen .....	38
2.10	Statistische Datenauswertung .....	38
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>40</b>
3.1	Patientenkollektiv .....	40
3.1.1	Patientendropouts .....	40
3.1.2	Finale Patientenzahl und Untersuchungszeitraum .....	40
3.1.3	Alters- und Geschlechtsverteilung.....	40
3.2	Deskriptive Statistik.....	40
3.2.1	Residualknochenhöhe .....	40
3.2.2	Implantatbezogene Daten .....	41
3.2.3	Implantationsregionen und -anzahl .....	41
3.2.4	Bukkopalatale Distanz des Sinus maxillaris und Anwesenheit von Nachbarzähnen oder Implantaten.....	42
3.2.5	Chirurgische Besonderheiten und Perforationen der Schneiderschen Membran .....	43
3.2.6	Resonanzfrequenzanalyse .....	44
3.2.7	Insertions-Torque .....	46
3.2.8	Zeitspanne bis zur Versorgung.....	48
3.3	Art der Versorgung.....	48

3.3.1	Prothetische Komplikationen .....	49
3.3.2	Nachbeobachtungszeitraum .....	49
3.4	Hygieneindizes.....	50
3.4.1	PSI.....	50
3.4.2	API.....	51
3.4.3	PBI.....	51
3.4.4	Sondierungstiefen und BOP .....	52
3.5	Pink Esthetic Score.....	52
3.6	Fragebogen.....	54
3.6.1	Fragebogen 1 .....	54
3.6.2	Fragebogen 2 .....	55
3.7	Analyse der apikalen und krestalen Knochenverhältnisse.....	56
3.7.1	Analyse des apikalen Knochenzugewinns .....	57
3.7.2	Analyse der krestalen Knochenverhältnisse.....	58
3.8	Analyse der Resonanzfrequenzanalyse .....	59
3.9	Analyse der Hygieneindices.....	60
3.10	Erfolgsstatistik nach Misch.....	60
3.11	Analytische Statistik .....	61
3.12	Überlebensstatistik.....	63
3.13	Signifikanztests .....	63
3.13.1	Statistische Untersuchung beeinflussender Parameter auf den apikalen Knochenzugewinn .....	63
3.13.2	Statistische Untersuchung beeinflussender Parameter auf den krestalen Knochenabbau .....	64
3.13.3	Einfluss patientenbezogener Parameter auf den initialen und finalen ISQ .....	64
3.13.4	Einfluss patientenbezogene Parameter auf den Insertions-Torque .....	65
3.14	Einfluss der Hygieneindizes und der klinischen Parameter auf den krestalen Knochenverlust .....	66
3.14.1	API.....	66
3.14.2	PBI.....	66
3.14.3	Sondierungstiefen.....	66
3.14.4	PSI.....	66
3.14.5	Blutung auf Sondierung .....	66

3.15	Korrelationsanalyse der Fragebögen.....	66
4	DISKUSSION.....	68
4.1	Limitationen.....	69
4.2	Apikaler Knochenzugewinn.....	70
4.2.1	Apikaler Knochenzugewinn in Abhängigkeit von Residualknochen und Augmentationsmaterial.....	70
4.2.2	Apikaler Knochenzugewinn in Abhängigkeit vom der bukkopalatinalen Distanz und der Anwesenheit von Nachbarzähnen.....	72
4.2.3	Apikaler Knochenzugewinn in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Region.....	74
4.2.4	Apikaler Knochenzugewinn in Abhängigkeit von intraoperativen Komplikationen ....	74
4.3	Krestaler Knochenabbau .....	76
4.3.1	Periimplantärer Knochenabbau in Abhängigkeit von Residualknochen Alter, Geschlecht und Region .....	77
4.3.2	Periimplantärer Knochenabbau in Abhängigkeit von prothetischer Versorgung und Befestigungsart.....	77
4.4	Resonanzfrequenzanalyse .....	77
4.5	Insertions-Torque.....	79
4.6	Überlebens- und Erfolgsraten .....	81
4.7	Misserfolgsanalyse .....	82
4.8	Hygieneindizes und klinische Parameter des periimplantären Zustands.....	83
4.9	Pink Esthetic Score.....	86
4.10	Fragebögen.....	89
4.11	Schlussfolgerung .....	92
5	ZUSAMMENFASSUNG/ABSTRACT.....	93
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	98
7	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	111
8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	113
9	TABELLENVERZEICHNIS .....	115

10	ERKLÄRUNG DES EIGENANTEILS .....	116
11	ANHANG .....	117
11.1	Fragebogen 1.....	117
11.2	Fragebogen 2.....	118
12	EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG .....	120
13	DANKSAGUNG .....	121

Das in dieser Arbeit gewählte generische Maskulinum bezieht sich zugleich auf die männliche, die weibliche und andere Geschlechteridentitäten.

# 1 Einleitung

## 1.1 Atrophie

Der Begriff „Atrophie“ beschreibt den allgemeinen Schwund von Gewebe (Schmidt, 1937). Nach Zahnverlust kommt es zu Resorptionsprozessen der Alveolarfortsätze (Bodic et al., 2005, Chanavaz, 1990). Dabei sind die Resorptionsraten in den ersten drei Monaten nach Zahnverlust am größten. Nach 6 Monaten beginnt es sich zu stabilisieren und die Resorptionsprozesse verlangsamen sich (Atwood, 1962). Im Oberkiefer führen diese bei zunehmendem Zahnverlust zu einer zentripetalen Resorption, da die vestibuläre Kortikalis dünner ist als die palatinale. Im Unterkiefer führt es zu einer zentrifugalen Resorption (Neukam et al., 2007). Mögliche Gründe für die zunehmende Atrophie der Kieferkämme sind die Inaktivität des knöchernen Gewebes, schleimhautgetragene, mechanisch traumatisierende Prothesen sowie übergeordnete Einflussfaktoren wie Geschlecht und Alter (Mercier and Lafontant, 1979, Reich et al., 2011). Durch eine zunehmende Pneumatisierung der Kieferhöhle wird dieser Effekt besonders im Oberkiefer verstärkt (Sharan and Madjar, 2008). Zur Klassifizierung der Resorptionsgrade und des quantitativen Knochenangebotes haben Lekholm und Zarb eine Einteilung der Atrophiegrade im Ober- und Unterkiefer vorgenommen (Tabelle 1). Sie beschreibt die Vorgänge der Resorption in Abhängigkeit der Lokalisation und des Zeitpunktes nach Entfernung der Zähne in 6 Klassen (Lekholm and Zarb, 1985). Eine qualitative Einteilung der Knochenqualität wurde durch Misch vorgenommen (Tabelle 2). Dabei wird der Knochen in 4 Klassen eingeteilt von D1 „fast ausschließlich homogene Kompakta“ bis hin zu D4 „dünne Kompakta/weitmaschige Spongiosa“ (Misch, 1990).

Tabelle 1: Klassifikation des Resorptionsgrades nach Lekholm und Zarb (1985)

Resorptionsklasse	Resorptionsstadium
A	fast vollständiger Alveolarkamm
B	geringfügige Resorption
C	fortgeschrittene Resorption bis zum Basalbogen
D	beginnende Resorption des Basalbogens
E	extreme Resorption des Basalbogens

Tabelle 2: Definition der Knochenqualität nach Misch (1990)

Einteilung	Knochenqualität	Vorkommen	Bohrgefühl
D1	dicht kortikal	Frontzahnbereich (FZB) des atrophierten zahnlosen Unterkiefer (UK)	Bohren in Eichenholz oder Ahornholz
D2	porös kortikal und dicht trabekulär	Frontzahnbereich und Seitenzahnbereich (SZB) im UK, FZB im Oberkiefer (OK)	Bohren in Kiefernholz oder Fichtenholz
D3	porös kortikal, (dünn) fein trabekulär	FZB und SZB im OK, SZB im UK	Bohren in Basalholz
D4	fein trabekulär	Tuberbereich	Bohren in Styropor

## 1.2 Knochengewebe

Knochengewebe ist von einer äußeren Haut, dem Periost, umgeben. Diese ist gut vaskularisiert und sensibel innerviert. Makroskopisch kann man das Gewebe in Kompakta, als feste knöcherne Außenschale, und Spongiosa, als in Bälkchen angeordneten Knochen im Innenraum, unterteilen. Dort befindet sich auch das Knochenmark mit den blutbildenden Zellen (Aumüller et al., 2007). Mikroskopisch besteht Knochen aus unterschiedlichen Zelltypen und der extrazellulären Matrix (auch Osteoid). Die Zelltypen unterscheidet man in mesenchymale Stammzellen, Osteoblasten, Osteozyten und Osteoklasten. Mesenchymale Stammzellen befinden sich im Periost oder Endost (Innenhaut) und können sich bei bestimmten Signalen zu Osteoblasten differenzieren (Grigoriadis et al., 1988, Boivin and Meunier, 2002). Osteoblasten produzieren das Osteoid und organisieren die organische extrazelluläre Knochenmatrix (Damoulis and Hauschka, 1997). Sie sind für Auf- und Umbau des Knochens zuständig (Boivin and Meunier, 2002). Wenn sie sich mit Osteoid ringsum einmauern, entwickeln sie sich zu Osteozyten. Osteozyten sind vollständig von extrazellulärer Matrix umschlossen (Currey, 2003). Sie stehen in Verbindung mit benachbarten Osteozyten und regulieren die Aktivität der Osteoblasten und Osteoklasten (Mullender et al., 1996, Bonewald, 2007). Zuletzt gibt es die Osteoklasten, die durch die Fusion von Monozyten entstehen. Ihre Funktion ist der Ab- und Umbau des Knochens (Florencio-Silva et al., 2015). Die extrazelluläre Matrix besteht zu 70 % aus anorganischer Substanz, die Hydroxylapatit ähnelt, zu 10 % aus Wasser und zu 20 % aus organischer Matrix. Diese setzt sich aus Proteoglykanen und Glykoproteinen wie Osteocalzin, Osteonektin und Osteopontin sowie aus Kollagenfasern des Typs I zusammen. Diese spielen eine große Rolle in der Stabilität des Knochens (Deutzmann and Bruckner, 2014). Ein weiterer wichtiger Bestandteil ist die Gruppe der Signalmoleküle, zum Beispiel das Bone Morphogenetic Protein (BMP) (Yong-Tao et al., 2007).

Osteoblasten und Osteoklasten stehen über Signalwege in Verbindung. Werden Osteoklasten aktiv und resorbieren Knochen, liegen Moleküle der extrazellulären Matrix wie BMP frei. BMP aktiviert Osteoblasten und führt gleichzeitig zur Differenzierung von mesenchymalen Stammzellen in Osteoblasten. So erfolgt ein abgestimmter Ab- und Umbauprozess des Knochens, der auch Remodelling genannt wird (Raggatt and Partridge, 2010).

Man unterteilt Knochen in Geflecht- und Lamellenknochen, wobei Geflechtknochen auch als primärer Knochen bezeichnet wird. Er ist unregelmäßig aufgebaut, weniger mineralisiert und enthält relativ viele Knochenzellen. Aus Geflechtknochen wird Lamellenknochen (sekundärer Knochen) gebildet. Dieser ist strukturiert in sogenannten Havers-Systemen, bei denen sich die Strukturen parallel und konzentrisch um einen Osteozyt anordnen. Der Knochen ist stärker mineralisiert und gut vaskularisiert durch die Anordnung der Blutgefäße in den Havers-Systemen (Kühnel, 2014).

### 1.2.1 Knochenheilung

#### 1.2.1.1 Primäre Frakturheilung

Von der direkten Knochenheilung spricht man, wenn es zur Knochenbruchheilung ohne Kallusbildung kommt (Marsell and Einhorn, 2011). Voraussetzung ist ein direkter bis geringer Kontakt der Frakturrenden sowie Rigidität (Sathyendra and Darowish, 2013). Die Heilung geht aus dem Periost und Endost sowie den bestehenden Havers'schen Systemen hervor (McKibbin, 1978). Nach der Fraktur folgt eine Einblutung, bei der Entzündungsmediatoren freigesetzt werden. Diese wiederum aktivieren Progenitorzellen, die in Osteoblasten, Osteoklasten und Endothelzellen differenzieren (Tsiridis et al., 2007, Shapiro, 2008). Daraus entstehen sogenannte „Cutting Cones“, die an der Spitze aus resorbierenden Osteoklasten bestehen, und im Innern Gefäße, Nerven, Progenitorzellen und Osteoblasten enthalten, die in den geschaffenen Hohlraum neues Osteoid abgeben (Shapiro, 2008).

#### 1.2.1.2 Sekundäre Frakturheilung

Indirekte Knochenheilung läuft in mehreren Phasen ab und tritt dann auf, wenn die Frakturspalten nicht aneinander liegen oder eine mechanische Instabilität vorliegt (Sathyendra and Darowish, 2013). In der ersten Phase kommt es zur Einblutung und Ausbildung eines Hämatoms. Die dadurch zahlreich vorhandenen Entzündungszellen und Wachstumsfaktoren bestimmen die darauffolgende inflammatorische Phase. Wie bei der primären Frakturheilung werden dadurch mesenchymale Stammzellen aus Knochenmark, Peri- und Endost rekrutiert und differenziert (Colnot, 2009). Anschließend bildet sich in der reparativen Phase in der ersten bis zweiten Woche nach Fraktur

bindegewebiger und knorpeliger weicher Kallus aus (Claes et al., 2002). Durch die so erreichte Stabilität, können Blutgefäße besser in den Frakturspalt einwachsen (Glowacki, 1998). Osteoklasten und Osteoblasten resorbieren anschließend den weichen Kallus und ersetzen ihn durch Geflechtknochen (Mackie et al., 2008). Dieser kann bereits wieder physiologischen Belastungen standhalten und wird durch Remodelling zu Lamellenknochen umgebaut (Cottrell et al., 2016).

### 1.3 Dentale Implantate

Verloren gegangene Zähne zu ersetzen ist seit langer Zeit ein Wunsch der menschlichen Zivilisation, wie zum Beispiel ein in Honduras gefundener Schädel mit einem implantierten schwarzen Stein als Zahnersatz zeigte. Im 19. Jahrhundert wurden verschiedene Ansätze weiterverfolgt bis der Amerikaner H.J. Greenfield im Jahr 1913 ein in-vivo eingebrachtes Implantat aus Platin-Iridium röntgenologisch darstellen konnte (Weigl et al., 2008). In den 50er Jahren beschäftigte sich schließlich der Orthopäde Per-Ingvar Brånemark mit der Blutzirkulation im knöchernen Gewebe. Dazu verwendete er Titansonden in Versuchstieren. Er stellte fest, dass diese Sonden nach einiger Zeit fest im Knochen eingewachsen waren. Er verfolgte diese Zufallsentdeckung weiter und konnte so die ersten Titanimplantate der modernen dentalen Implantologie setzen und erfolgreich versorgen. Er untermauerte seine Entdeckung durch wissenschaftliche Arbeiten und definierte den Begriff der Osseointegration (Albrektsson et al., 1981). Der Begriff beschreibt den direkten Kontakt zwischen vitalem Knochen und der Implantatoberfläche in Abwesenheit von Weichgewebe und das Fortbestehen dieser Verbindung bei Belastung. Eine direkte chemische Verbindung liegt nicht vor (Branemark et al., 1985). Man spricht auch von einer funktionellen Ankylose (Lambrecht, 2008).

#### 1.3.1 Ablauf der Osseointegration

Ein wichtiger Bestandteil der Implantation ist das Schaffen eines kongruenten Implantatlagers. Ziel ist dabei zunächst eine möglichst gute Passung und Immobilität des Implantates im Knochen. Man spricht von der Primärstabilität. Dabei werden direkte Kontaktstellen zwischen Implantat und Knochen hergestellt, aber auch Bereiche in denen sich ein Hämatom ausbildet (Branemark et al., 1985). Nun beginnt die Heilungsphase, die der primären und teilweise sekundären Knochenheilung entspricht in Abhängigkeit von Knochenqualität und -quantität, sowie der Implantate. Bei einer Distanzosteogenese beträgt die Knochenneubildungsrate 0,6-1  $\mu\text{m}/\text{Tag}$ . Die Kontaktosteogenese läuft hierbei schneller mit rund 30-50  $\mu\text{m}/\text{Tag}$  ab (Gutwald et al.,

2010). Ziel der Implantatbettbohrung im Knochen ist daher das Erreichen einer adäquaten Primärstabilität, um eine schnelle und vorhersagbare Einheilung möglich zu machen (Righeso et al., 2016). Nach erfolgreicher Osseointegration ist das Implantat eingeeilt und hat die sogenannte Sekundärstabilität erreicht. Histologisch kann man dabei den sogenannten „Bone-to-implant-contact“ (BIC) untersuchen, da nicht die gesamte Oberfläche des Implantates nach abgeschlossener Osseointegration knöchern bedeckt ist, sondern auch kavernöse Bereiche vorhanden sind (Bernhardt et al., 2012).

### 1.3.2 Implantatsysteme

Implantate kann man anhand der Unterschiede in Makro- und Mikrostruktur einteilen.

Die heute gängigen Implantate sind in folgenden Gruppen wiederzufinden: parallelwandige (zylindrische), konische und wurzelförmige Implantate (Gutwald et al., 2010). Dabei kann das Gewinde unterschiedlich stark ausgeprägt sein. Von einem progressivem Gewinde spricht man, wenn die Fläche der Gewindeflanken nach koronal steigt und dementsprechend zu einer Kondensation und Klemmpassung im knöchernen Lager führt (Grössner-Schreiber and Terheyden, 2004). Mikroskopisch können die Implantate durch additive (z.B. mit Heißplasma behandelt und/oder subtraktive Techniken (sandgestrahlt oder säuregeätzt) bearbeitet sein (Bressan et al., 2013). Verwendete Materialien sind aktuell maßgeblich Titan, das unterschiedlich modifiziert sein kann, wie z.B. durch eine Fluorid- oder Phosphatanreicherung an der Oberfläche. Zirkonoxidkeramik ist ein mittlerweile alternatives Material für dentale Implantate (Ogle, 2015, Jiang et al., 2020).

## 1.4 Knochenaugmentation

Seit der breiten Einführung von dentalen Implantaten in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts haben sie sich zu einem Standardverfahren für die Versorgung des Lückengebiss oder des zahnlosen Kiefers zur Verankerung von Zahnersatz entwickelt. Fortgeschrittene knöcherne Atrophie des Alveolarkamms nach Zahnentfernung kann hierbei die Versorgung von Patienten mit dentalen Implantaten erschweren, weswegen verschiedene Techniken zur knöchernen Rekonstruktion des Kieferkamms entwickelt wurden. Man strebt somit an, eine Implantation und prothetische Rehabilitation auch in schwierigen Ausgangslagen zu ermöglichen. Ein mögliches Hilfsmittel dazu sind Knochenersatzmaterialien (KEM).

Sie sollen ein Grundgerüst für die Rekonstruktion von knöchernem Gewebe herstellen. Dafür schaffen sie durch eine Porenstruktur Leitbahnen für die einwachsenden Gefäße

und knöchernen Zellen. Weitere Anforderungen sind eine gute Biokompatibilität, intraoperative Verformbarkeit, ausreichende Standzeit und Stabilität im Gewebe, Verfügbarkeit und möglichst geringe Kosten. KEM dürfen weder teratogen, kanzerogen oder immunogen sein (Smeets et al., 2017, Schnürer et al., 2003).

Man kann anhand unterschiedlicher Eigenschaften charakterisieren, wie sie sich auf eine Knochenneubildung auswirken. Unter Osteoinduktion versteht man den Mechanismus, ausgelöst von Knochen oder Knochenersatzmaterial, in dem mesenchymale Stammzellen durch Signalmoleküle aktiviert werden und sich in knochenbildende Osteoblasten umwandeln (Albrektsson and Johansson, 2001). Osteokonduktion beschreibt appositionelles Wachstum von Knochen an einer Oberfläche, wobei dass das KEM als Leitstruktur für die knöcherne Regeneration dienen kann (Weber, 2019). Einige KEM können mit der Zeit durch eigenen Knochen ersetzt werden. Diesen Vorgang nennt man Osteogenese (Kauffmann and Müller-Busch, 2023).

Augmentationsmaterialien unterteilt man in verschiedene Gruppen.

### 1.4.1 Autologer Knochen

Autologer Knochen sind Transplantate, die dem Patienten selbst entnommen und wieder eingesetzt werden. Dies kann je nach Verfügbarkeit und benötigtem Umfang im Operationsgebiet oder an einer anderen Stelle sein. Ein Infektionsrisiko kann daher ausgeschlossen werden. Autologem Knochen werden die Eigenschaften osteoinduktiv und konduktiv zugeschrieben. Eine Osteogenese findet ebenfalls statt. Wissenschaftlich gilt er bis heute als Goldstandart und zeigt eine sehr gute Einheilung (Fretwurst et al., 2015). Nachteilig sind mögliche Entnahmemorbiditäten wie Wundheilungsstörungen und Sensibilitätsstörungen (Grob, 1989). Außerdem ist eine zu erwartende Schrumpfung des Transplantates zu beachten (Wiltfang et al., 2005).

### 1.4.2 Allogener Knochen

Allogener Knochen ist Spenderknochen derselben Spezies, der bei einem anderen Patienten verwendet wird. Er kann aus Lebendspenderknochen oder post mortal entnommen sein. Im weiteren Verarbeitungsweg können zum einen die mineralischen Bestandteile und auch die infektiösen und möglicherweise allergenen Anteile entfernt werden (Kauffmann and Müller-Busch, 2023). Zur Aufbereitung gibt es je nach Land unterschiedliche Gesetze. In Deutschland müssen die Präparate nach EU Richtlinie 2004/23/EG, 2006/ 17/EG und 2006/86/EG verarbeitet sein (Katthagen et al., 2008, Smeets et al., 2017). Im Deutschen Arzneimittelgesetz (AMG) ist die Aufarbeitung

dementsprechend durch die Paragraphen §20b,c und 21a festgelegt. §20b AMG regelt die Erlaubnis zur Entnahme von menschlichem Gewebe und Laboruntersuchungen. §20c AMG beschreibt die gesetzlichen Regelungen bezüglich der Erlaubnis zur Be- und Weiterverarbeitung, Konservierung, sowie Lagerung und der Abgabe von Gewebe. §21a AMG beschreibt schließlich die gesetzlichen Regelungen der Gewebezubereitungen, wodurch das entnommene Gewebe einen Arzneimittelcharakter erhält. Im Gegensatz dazu ist das Transplantationsgesetz (TPG) zu nennen, dass die Entnahme und Spende von unverarbeiteten Organen und Geweben regelt. Das Infektionsrisiko und die Abstoßungsreaktionen kann durch die oben beschriebene Verarbeitung des Spenderknochens auf ein Minimum reduziert werden. In anderen Ländern können auch nicht prozessierte Knochentransplantate verwendet werden, diese sind aber mit den hier zugelassenen Präparaten nicht vergleichbar. Vorteile der allogenen Transplantate sind eine nahezu unbegrenzte Verfügbarkeit, wegfallende Entnahmemorbidität und gutes Remodelling (Nissan et al., 2012). Nachteile sind das theoretische Risiko einer Immunreaktion auf verbliebene Spenderzellen nach Prozessierung der Gewebespenden (Fretwurst et al., 2014). Weitere Nachteile sind verlängerte Einheilzeit und geringerer Anteil an vitalem Knochengewebe im Vergleich zu autologen Knochen, vor allem bei der Verwendung von allogenen kortikalen Blöcken im Vergleich zu autologen kortikospongiösen Blöcken (Spin-Neto et al., 2015). Schließlich besteht das Restrisiko einer Infektionsübertragung im Gegensatz zu autologem Knochen (Smeets et al., 2017).

#### 1.4.3 Xenogenes Knochenersatzmaterial

Xenogenes Knochenersatzmaterial wird einer anderen Art entnommen und beim Menschen eingesetzt. In der Regel kann es vom Rind (boviner Ursprung) oder vom Schwein (porciner Ursprung) stammen. Die Präparate werden stark prozessiert, um Abstoßreaktionen und Infektionen auszuschließen, sodass ein Produkt aus Hydroxylapatit entsteht. Es weist eine hohe Porosität auf und soll eine hohe Resorptionsstabilität besitzen. Die Grundstruktur des spongiösen Knochens mit den interkonnektierenden Poren bleibt bestehen und kann so zur Osteokonduktion führen. Aufgrund unterschiedlicher Verarbeitungswege gibt es eine große Vielzahl an Produkten, die sich zum Beispiel in Größe und Porengröße unterscheiden. Auch hier ist das theoretische Risiko eine Kreuzinfektion nicht auszuschließen (Smeets et al., 2018).

#### 1.4.4 Alloplastisches Knochenersatzmaterial

Alloplastische Knochenersatzmaterialien werden künstlich hergestellt. Dazu gehört die Gruppe des synthetisch erzeugten Hydroxylapatit, der Tricalciumphosphate, der biphasischen Keramiken sowie des Calciumphosphatzementes und weiterer Materialien. Auch sie sind osteokonduktiv durch eine vorhandene, künstlich erzeugte poröse Struktur. Vorteil hier ist das Ausschließen eines Infektionsrisiko sowie die unbegrenzte Verfügbarkeit. Nachteilig zu nennen ist das laut Literatur geringe Remodellingpotenzial (Schnürer et al., 2003).

## 1.5 Externer Sinuslift

### 1.5.1 Anatomie, Physiologie und Funktion der Sinus maxillae

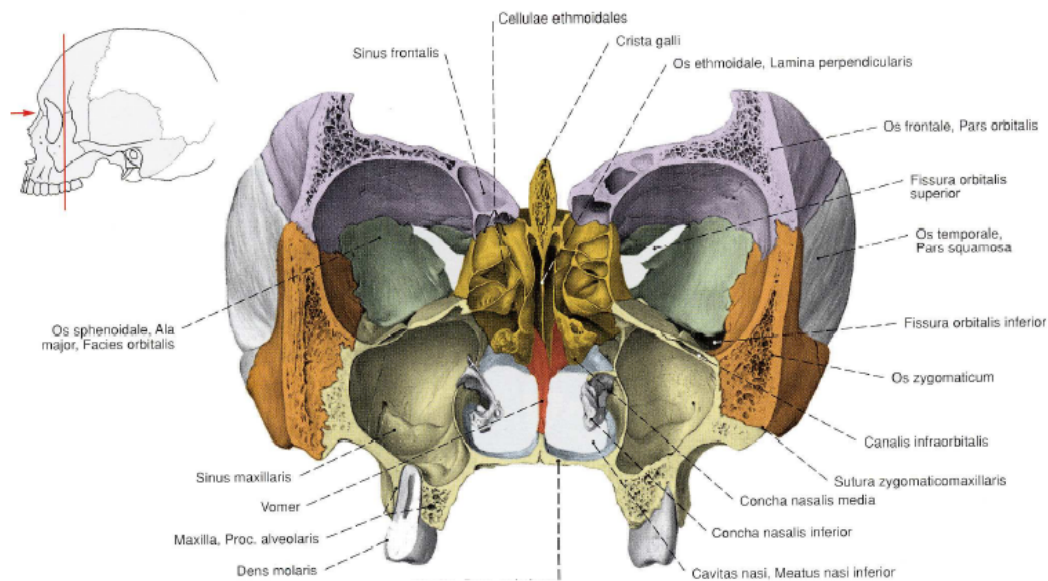


Abbildung 1: Frontale Ansicht auf die Sinus maxillares, Alveolarfortsatz, Nase und Orbita (Putz and Papst, 2000)

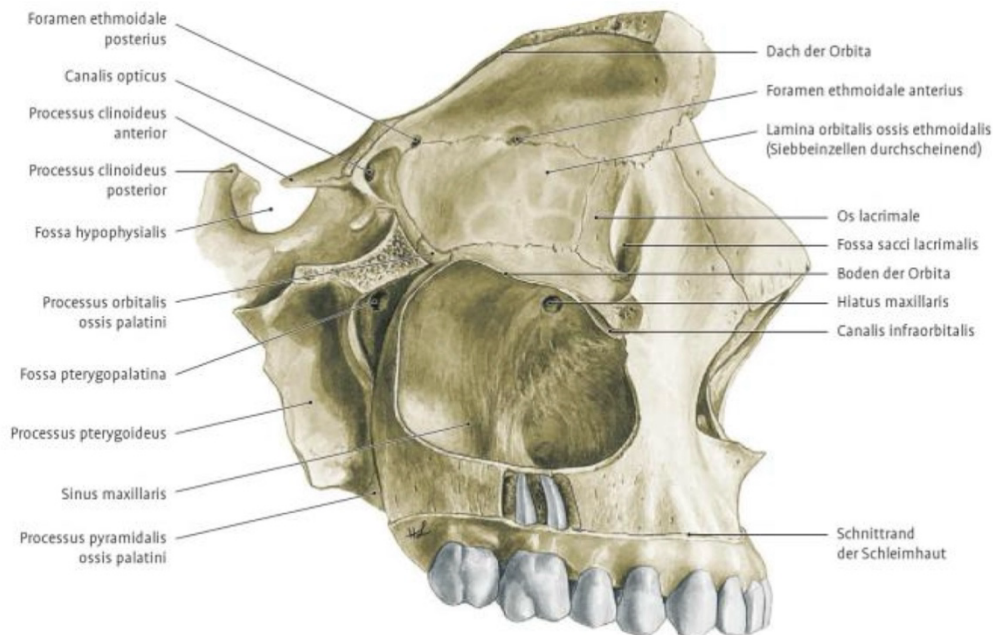


Abbildung 2: Laterale Ansicht auf die mediale Wand der Kiefer- und Augenhöhle (Waldeyer, 2003)

Die Nase mit den dazugehörigen Nebenhöhlen gehört zu den oberen luftleitenden Atemwegen. Sie sorgt neben dem Anwärmen und Anfeuchten der Atemluft der Immunabwehr, indem Bakterien und Schadstoffe gebunden werden. Weiterhin dient die Nase mit der Riechschleimhaut der Erkennung von Gerüchen und Pheromonen. Die Nasennebenhöhlen bilden Resonanzräume bei der Sprachbildung, vor allem bei den

Lauten „m“ und „n“ und verringern das Gewicht der beteiligten Knochen. Abschließend ist die Funktion aber bis heute nicht geklärt (Keir, 2009). Nasennebenhöhlen sind mit dem Nasenraum verbundene, mit Schleimhaut ausgekleidete, luftgefüllte Hohlräume. Neben den paarig angelegten Sinus maxillares, ethmoidales und frontalis gibt es die unpaaren Sinus sphenoidales (Aumüller et al., 2007, Schünke et al., 2022). Der Sinus maxillaris ist die größte Nebenhöhle. Er liegt im Os maxillare. Kranial begrenzt die Orbita den Sinus, nach anterior und lateral die faziale bzw. laterale Wand der Maxilla, nach kaudal der harte Gaumen und der Alveolarfortsatz mit den Wurzeln der Oberkiefermolaren und -prämolaren. Medial grenzt der Sinus an die Nasenhöhle, im Bereich der unteren und mittleren Concha nasalis (Schünke et al., 2022). Abbildung 1 zeigte eine frontale Ansicht auf die Kieferhöhlen und umliegende knöchernen Strukturen, Abbildung 2 zeigt eine laterale Ansicht auf die rechte Kieferhöhle. Arteriell versorgt werden sie durch die Aa. ethmoidale aus der A. ophthalmica, die der A. carotis interna entspringt, sowie durch die A. infraorbitalis und A. alveolaris superior posterior aus der A. maxillaris. Letztere bilden in der Regel Anastomosen, die intra- oder extraossär der Kieferhöhlenwand liegen können (Testori et al., 2019). Sensibel innerviert ist die Kieferhöhle durch den N. infraorbitalis aus dem N. maxillaris, sowie den Nn. Alveolares aus dem N. maxillaris (Götz et al., 2015). Eine anatomische Varianz sind die sogenannten knöchernen Underwoodsepten, die sowohl in sagittaler als auch transversaler Richtung vorliegen können (Underwood, 1910).

Die Öffnungsstelle zum mittleren Nasengang (Hiatus semilunaris) liegt kranio-medial. Dies kann zu Problemen führen, da ein Abfluss von entzündlichem Sekret nur in Seitenlage erfolgen kann. Der tiefste Stelle befindet sich im Bereich des ersten oberen Molaren (Gutwald et al., 2010). Die Kieferhöhlenschleimhaut (auch Schneidersche Membran genannt) ist circa 1 mm dick (Monje et al., 2016). Sie besteht aus mehrreihigem Flimmerepithel, das Becherzellen und Schleimdrüsen enthält und einer Bindegewebsschicht, die fest mit dem Periost verbunden ist. Die Zilien schlagen synchronisiert spiral- bis sternförmig Richtung Ostium naturale mit einer Transportgeschwindigkeit von 6 mm/min entgegen der Schwerkraft (Messerklinger, 1967). Dabei transportieren sie das durch Becherzellen und Schleimdrüsen gebildete Sekret. Dieses unterteilt man in Solschicht, in die die Zilien hereinragen, und Gelschicht, die oben aufgelagert ist (Dawirs and Haßfeld, 2016). Weiterhin ist bekannt, dass eine Pneumatisierung der Kieferhöhle kontinuierlich fortschreitet, besonders nach Zahntfernung im Molarenbereich (Lee et al., 2014). Die akute Sinusitis maxillaris wird am häufigsten ausgelöst durch eine virale Infektion des oberen Respirationstraktes, wenn es durch Anschwellen der Schleimhäute zu einer Verlegung des Ostium naturale kommt. Außerdem kann es durch die Toxine zu einem verlangsamten Schlag der Zilien kommen. Weitere Auslöser für eine Sinusitis können allergische Rhinitiden, dentogene

Infektionen, traumatische Verletzungen der Kieferhöhle durch Extraktion von Zähnen oder schweren Kopfverletzungen sein. Weitere Pathologien der Kieferhöhle sind die chronische Sinusitis, sowie Zysten dentogenen Ursprungs, Retentionszysten, Pseudozysten, Okklusionszysten und Mukozelen. Tumore der Kieferhöhle sind vor allem Plattenepithelkarzinome, können aber auch dem Drüsengewebe entspringen (Gutwald et al., 2010).

### 1.5.2 Operationstechnik des externen Sinuslift

Eine verlässliche Möglichkeit der knöchernen Rekonstruktion im Seitenzahnggebiet des Oberkiefers ist der sogenannte „externe Sinuslift“, welcher in den 1980er Jahren erstmals publiziert wurde und bis heute in verschiedenen Variationen angewendet wird (James and Boyne, 1980). Allen externen Verfahren ist gemein, dass zunächst ein operativer Zugang zur Kieferhöhle gelegt wird, indem ein Knochenfenster präpariert wird. Danach wird die Membran des Sinus maxillaris vom Knochen gelöst und angehoben. Anschließend wird der so entstandene Hohlraum in der Regel mit Füllmaterial korrespondierend zur gewünschten späteren Länge des Implantats aufgefüllt. Nach einer Einheilphase des Materials können nach entsprechender Röntgendiagnostik Implantate geplant werden. Je nach vorhandener Restknochenhöhe ist es auch möglich, Implantate simultan zum Sinuslift zu setzen. Man unterscheidet hier zwischen einzeitigem und zweizeitigem Vorgehen (Esposito et al., 2009). Die notwendige Restknochenhöhe für das einzeitige Verfahren liegt bei 3-4 mm, kann aber auch geringer sein, wenn eine ausreichende Primärstabilität erzielt werden kann (Felice et al., 2014). Der Sinus bietet aufgrund seiner anatomischen Form einen wannenförmigen knöchernen Hohlraum, der keinen Weichgewebs- oder Muskelzügen ausgesetzt ist. Das sind gute Voraussetzungen für die Ossifikation. Außerdem zeigte sich je geringer die bucco-orale Distanz des Sinus im augmentierten Bereich ist, desto größer ist der Anteil an neu gebildetem knöchernen Gewebe (Avila et al., 2010).

Vom externen Sinuslift ist das Verfahren des internen Sinuslifts nach Summers abzugrenzen, bei dem kein seitliches Knochenfenster zur Kieferhöhle präpariert wird, sondern vom Kieferkamm aus bei der Implantation der Kieferhöhlenboden mit einem Osteotom nach oben eleviert wird (Summers, 1994). Allerdings wird diese Operationstechnik in der Literatur in der Regel nur für klinische Fälle mit mindestens 5 mm vertikaler Restknochenhöhe als klinisch sicher empfohlen (Del Fabbro et al., 2012, Zitzmann and Schärer, 1998). In diesem Indikationsbereich gilt das interne Verfahren als bewährte Technik zum Erreichen von langfristigen und stabilen Ergebnissen (Zill et al., 2016).

### 1.5.3 Operationstechniken für den Zugang zur Kieferhöhle

Die Präparation des Knochenfensters zur Kieferhöhle kann durch unterschiedliche Techniken erfolgen. Zum einen können rotierende Instrumente (z.B. Rosenbohrer oder Diamantkugeln) verwendet werden, mit denen durch hochoberflächiges Arbeiten unter Wasserkühlung der Knochen entfernt wird. Dieser lässt sich z.B. mit sogenannten Knochenfallen zur späteren Verwendung sammeln. Als Alternative ist es möglich mit piezoelektrischen Instrumenten einen Zugang zur Kieferhöhle zu präparieren, welches sich als komplikationsreduzierteres Verfahren dargestellt hat (Wallace et al., 2007). Eine weitere Möglichkeit, einen Zugang zur Kieferhöhle zu präparieren, ist die manuelle Entfernung der lateralen Kieferhöhlenwand mit einem Knochenschaber (sog. *Bone Scraper*). Dabei wird der abgetragene Knochen gesammelt und kann anschließend als autologes Augmentationsmaterial verwendet werden (Chaushu et al., 2018, Caubet et al., 2011).

### 1.5.4 Einsatz von Knochenersatzmaterial beim externen Sinuslift

Nachdem ursprünglich ausschließlich autologes Material zur Augmentation bei externen Sinuslifts verwendet wurde, wird heutzutage inzwischen in der überwiegenden Zahl der Fälle xenogenes, allogenes oder alloplastisches Knochenersatzmaterial verwendet, welches mit den im Material vorhandenen Poren als Leitstruktur für die Osteoneogenese dienen soll (Smeets et al., 2017), da es nicht so schnell wie autologes Material resorbiert wird. Allerdings zeigte sich, dass dieses Material über viele Jahre nicht resorbiert werden kann und so als Fremdkörper verbleibt, bzw. die vollständige Ossifikation mit vitalem Knochen und das Remodelling des um das Implantat liegende Knochengewebes verhindern kann (Ayna et al., 2015). Nachdem in einer Fallstudie 2013 durch Lundgren über die knöcherne Regeneration eines Defektes basal des Sinus maxillaris ohne den Einsatz von Knochenersatzmaterialien berichtet wurde (Lundgren et al., 2003), verifizierte er die These durch eine prospektive Studie. Er konnte zeigen, dass die Elevation der Schneiderschen Membran an sich und damit die alleinige Raumgewinnung und -stabilisierung ausreichend sein kann für die Gewinnung apikaler Knochenhöhe. Dabei wurde die Schneidersche Membran in einer kranialen Position fixiert und das Implantat auf die gewünschte Länge gesetzt. Nach einer Einheilphase von 6 Monaten konnte man im CT die Neubildung von Knochen belegen (Lundgren et al., 2004). Weitere Untersuchungen zeigten ebenfalls erfolgreiche Ergebnisse, unter anderem mit dem Einsatz von Gelatineschwämmchen. Dabei ging man ähnlich vor wie in der oben beschriebenen Technik. Allerdings wurde die Membran nicht positioniert und fixiert, sondern durch die Implantate und die eingebrachten Gelatineschwämmchen in Position

gehalten (Sohn et al., 2010). Auch diese Technik stellte sich als erfolgreich heraus. Eine weitere Möglichkeit wurde unter anderem durch Hatano und Sennerby beschrieben, die zunächst einen lateralen Knochendeckel mittels Piezochirurgie präparierten, der repositionierbar war und vorübergehend entfernt wurde (Hatano et al., 2007). Im Anschluss erfolgte die Elevation der Membran mit anschließender Implantation. Danach wurde peripher gewonnenes venöses Eigenblut in den neu geschaffenen Hohlraum eingebracht und dieser mit dem Knochendeckel wieder verschlossen. Auch durch dieses Verfahren konnten erfolgreiche Ergebnisse erzielt werden (Moon et al., 2011, Hatano et al., 2007). Schließlich zeigten Metaanalysen, dass die Technik des knochenersatzmaterialfreien externen Sinuslift gleichwertig ist zu Sinusliftoperationen unter Verwendung von Ersatzmaterialien in den Punkten des radiologisch messbaren apikalen Zugewinns an neu gebildetem Knochen sowie des Langzeitüberleben der Implantate (Silva et al., 2016b, Dongo et al., 2018, Pinchasov and Juodzbals, 2014).

### 1.5.5 Die Rolle der Schneiderschen Membran

Grundlage für Ossifikation ist die oben beschriebene Anwesenheit von mesenchymalen Stammzellen, die sich zu Osteoblasten entwickeln können. Srouji et al. konnten dies durch Zellkulturen und histologische Untersuchungen zeigen und später auch in einem in-vivo Tierexperiment nachweisen (Srouji et al., 2009). Sie konnten zeigen, dass sich in den Zellen der Schneiderschen Membran BMP-2, Osteopontin, Osteonectin, und Osteocalcin befinden. Weitere Forschungsgruppen konnten diese Beobachtungen unterstützen. Dafür untersuchten und bestätigten sie mit in-vitro Untersuchungen von humanen Präparaten die Expression der alkalischen Phosphatase, sowie die Expression der BMP-2 und Osteopontin, Osteonectin und Osteocalcin (Berbéri et al., 2017, Kim et al., 2009). Schließlich postulierten Srouji et al. (2010), dass es durch die Progenitorzellen der Schneiderschen Membran und die Entstehung eines Blutkoagulums unter der Sinusmembran nach der Elevation die knöcherne Regeneration eingeleitet wird.

### 1.5.6 Komplikationen beim externen Sinuslift

Die häufigste Komplikation im Rahmen des externen Sinuslift ist die Perforation der Schneiderschen Membran. Dies kann zum Zeitpunkt der Lappenbildung, der Präparation des Knochenfensters, der Elevation der Membran und Platzierung des Aufbaumaterials sein. Einflussgrößen sind die Knochenstärke der lateralen Wand, die gewählte Zugangsmethode, die Dicke der Schneiderschen Membran, der Winkel, das Vorhandensein von Septen sowie starker Druck durch das Augmentat (Testori et al., 2019). Als kritisch gilt eine Kraft von 7,3 N/mm<sup>2</sup> (Pommer et al., 2009). Beim Einsatz von

rotierenden Instrumenten kommt es bei 28 % der Eingriffe zu einer Perforation (Testori et al., 2012). Beim Einsatz von piezochirurgischen Instrumenten bei circa jedem zehnten externen Sinuslift und beim Einsatz von Bone Scrapern durchschnittlich bei 6 % aller Eingriffe (Stacchi et al., 2017). Das Auftreten einer Perforation kann unter anderem zu einer postoperativen Sinusitis und Dislokation von Augmentationsmaterial in die Kieferhöhle führen. Eine weitere Einflussgröße ist die Residualknochenhöhe. Bei geringem Knochenangebot von 3 mm treten Perforation häufiger auf im Vergleich zu Patienten mit 6 mm Residualknochen (Ardekian et al., 2006). Schließlich erhöht Rauchen als weiterer Faktor das Risiko einer Perforation (Wang et al., 2023). Geeignete Methoden zum Verschließen der Perforation ist unter anderem das Anwenden einer langsam resorbierenden Kollagenmembran (de Almeida Ferreira et al., 2017). Ein erhöhtes Risiko eines Implantatverlust ließ sich hingegen nicht feststellen (Díaz-Olivares et al., 2021b). Durch Verletzung von arteriellen Gefäßen kann die Versorgung im OP-Gebiet eingeschränkt sein, welche aber für die Neubildung von Knochen wichtig ist (Testori et al., 2019). Daher ist es von starkem Interesse, die Anzahl solcher Komplikationen zu senken. Durch die Einführung der Piezochirurgie und Bone Scaper konnte die Anzahl an Komplikationen deutlich gesenkt werden (Galindo-Moreno et al., 2010, De Vicente et al., 2010).

## 1.6 Platelet Rich Fibrin

Platelet rich fibrin (PRF) ist ein autologes Thrombozyten-Fibrin-Konzentrat. Erste Anwendungen von thrombozytenreichem Plasma für die Chirurgie wurden bereits in den 1940er Jahren beschrieben (Kingsley, 1954, Young and Medawar, 1940). Daraus wurden regenerative Produkte wie Fibrinkleber entwickelt (Matras, 1982). Außerdem wurde aus autologem Plasma mittels der Zugabe von Rinderthrombin Fibrin hergestellt. Später integrierte man Thrombozyten (Alsousou et al., 2009). Man entwickelte für die Herstellung Zentrifugationsprotokolle und so das Platelet Rich Plasma (PRP), das klinische Anwendung in der Hart- und Weichgewebsrekonstruktion fand (Marx et al., 1998, Tischler, 2002). Aufgrund der aufwendigen Herstellung und dem Wunsch, weitere Zellen des Immunsystems zu integrieren, wurde das PRF entwickelt (Dohan et al., 2006a). Es wird innerhalb eines Zentrifugationsvorgangs ohne Zugabe von Antikoagulanzen hergestellt und kann, je nach klinischer Anwendung, fest oder flüssig sein. Makroskopisch besteht es aus dem roten Thrombus, dem „Buffy Coat“, sichtbar als mittlere Trennschicht und weißen Linien, bestehend aus Thrombozyten, sowie dem oben aufliegenden natürlich gebildeten Fibrin Clot (Dohan et al., 2006b). Er enthält Leukozyten sowie wundheilungsfördernde Signalmoleküle wie z.B. IL1, IL4, TNF- $\alpha$  und VEGF (Dohan Ehrenfest et al., 2010). PRF wird inzwischen in vielen Bereichen der

zahnärztlichen Chirurgie angewendet, wie z.B. der Wundversorgung nach Zahnextraktion, im Bereich der Parodontalchirurgie und im Rahmen von Knochenaugmentationen (Ghanaati et al., 2018, Smeets et al., 2015). Die Verwendung im externen Sinuslift wurde bereits in Kombination mit verschiedenen Biomaterialien untersucht. Es zeigten sich mögliche, positive Auswirkungen auf die Knochenbildung, unter anderem auf die Geschwindigkeit der Einheilung (Otero et al., 2022, Leighton et al., 2022). Eine abschließende Bewertung ist trotz großer Anzahl an Studien aufgrund fehlender Vergleichsmöglichkeiten durch unterschiedlichste Studiendesigns nicht möglich (Ghanaati and Al-Maawi, 2023).

## 1.7 Messung von Implantatstabilität

Um die Stabilität von Implantaten klinisch zu messen, gibt es verschiedene Methoden.

### 1.7.1 Insertions-Torque

Eine Methode ist die Messung des sogenannten Eindrehmoments oder Insertions-Torques. Mithilfe einer Drehmomentratsche oder einer integrierten Messung im Chirurgiemotor kann während der Implantation das Eindrehmoment und somit die Primärstabilität des Implantates gemessen werden. Dabei wird die Friktion zwischen Implantatoberfläche und Knochen metrisch beschrieben. Es wird die Einheit Newtoncentimeter (Ncm) verwendet. Die Werte befinden sich in der Regel zwischen 10-50 Ncm, in Abhängigkeit vom angewendeten Implantatsystem und der Implantatform sowie des angewendeten Bohrprotokolls (Righeso et al., 2016). Weiteres Messen oder Überprüfen des Drehmomentes (Extraktionstorque) nach Einheilen des Implantates ist nur in Tier- und Laborexperimenten durchführbar und vertretbar. Eine klinische Relevanz des Extraktions-Torques wurde darüber hinaus kritisch diskutiert (Al-Nawas et al., 2002).

### 1.7.2 Periotest

Als nicht invasive Messmethode von Implantaten wurde der Periotest (Periotest®, Siemens) eingesetzt. Dieses Verfahren wurde ursprünglich entwickelt zur Messung der Festigkeit von Zähnen (Schulte and Lukas, 1992). Ein elektrisch bewegter Stößel klopft auf das Untersuchungsobjekt, währenddessen die Abbremsgeschwindigkeit gemessen wird. Auf einer Skala von -8 (höchste Festigkeit) bis zu +50 (höchste Beweglichkeit) kann der Messwert interpretiert werden. Da Implantate starr im Knochen eingewachsen sind, zeigen sie grundsätzlich sehr niedrige Werte, solange keine Mobilität des Implantates vorliegt. Kritisch zu betrachten an dieser Methode ist, dass die Messwerte anwenderabhängig variieren können in Abhängigkeit des angelegten Winkel und eine

Messung nur in einer Richtung (vestibulär-oral) durchführbar ist (Satwalekar et al., 2015, Pinchasov and Juodzbaly, 2014).

### 1.7.3 Resonanzfrequenzanalyse

Aufgrund der oben genannten Fehlerquellen wurde als Alternative 1996 durch die Forschungsgruppe um Meredith die Resonanz Frequenz Analyse (RFA) entwickelt, die nach dem Prinzip der Eigenfrequenzmessung funktioniert (Meredith et al., 1996). Dabei wird die Rigidität der Implantat-Knochenoberfläche über die gesamte Länge und Breite des Implantates gemessen. In der heute angewendeten Form wird ein magnetischer Transducer (SmartPeg) in das Innengewinde des Implantates mit einem Eindrehmoment  $\geq 10$  Ncm eingedreht. Daraufhin wird der SmartPeg mit dem Implantat durch aufsteigende Frequenzen im Bereich von 3500-8500 kHz durch das Messinstrument (Osstell Beacon TM, Osstell, Göteborg, Sweden) in Schwingung gebracht und die Resonanzfrequenz ermittelt. Durch Umrechnung der Frequenzwerte in eine lineare Skala von 1 bis 100 kann der so genannte Implantat-Stabilitäts-Quotient (ISQ) abgelesen und interpretiert werden. Werte von  $< 60$  weisen auf eine niedrige Stabilität hin, Werte zwischen 60 und 70 auf eine mittlere Stabilität und Werte über 70 auf eine hohe Stabilität (Sennerby, 2013). Eine Messung erfolgt pro Implantat aus zwei Richtungen, bukkal-oral und mesio-distal. Messsonden für verschiedene Implantatsysteme, -größen und -durchmesser wurden entwickelt und kalibriert, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten (Sennerby and Meredith, 2008). Vorteil an dieser Methode ist, dass weitere Messungen im Verlauf des Einheilprozesses jederzeit vorgenommen werden können, vor allem bei einer sogenannten offenen Einheilung. Ansonsten kann eine Messung im Rahmen der Implantatfreilegung und vor prothetischer Belastung erfolgen, je nach klinischer Fragestellung des Anwenders. Es konnte gezeigt werden, dass die Resonanz-Frequenz-Analyse und der dazugehörige ISQ die Stabilität von verschiedenen Implantaten quantifizieren und qualitativ bewerten kann (Quesada-García et al., 2009). Im Rahmen eines weiteren Reviews wurden bereits unterschiedliche Einflussfaktoren auf den ISQ untersucht und diskutiert. Es zeigte sich, dass Einflussfaktoren wie Geschlecht, Implantatposition, Zeitpunkt der Implantation, Implantatform, Länge und Durchmesser, Oberfläche, BIC, Stärke der Kortikalis, Knochenqualität, Knochenaufbau, OP-Technik und weitere Faktoren Einfluss auf den ISQ haben können. Eine ausreichende Evidenz ist für eine abschließende Bewertung noch nicht vorhanden. Es wurde daher empfohlen, bei neuen Forschungsvorhaben alle gefundenen möglichen Einflussfaktoren mit einzubeziehen (Huang et al., 2020).

## 1.8 Pink Esthetic Score

Nach vielen Jahren erfolgreicher Implantologie hat sich der Begriff des implantologischen Erfolgs verändert. War in den Anfängen der Erfolg gleichzusetzen mit der Osseointegration des Implantates (Albrektsson et al., 1986), wurde dies im Laufe der Zeit angepasst mit dem Ziel möglichst natürliche, ästhetische Rekonstruktion zu erreichen (Belser et al., 2004). Weiterhin wurde die Implantatposition nicht mehr nur nach Knochenangebot, sondern als ideale Position für die natürliche Rekonstruktion bestimmt (Garber, 1995). Zunehmend wurde auch der Fokus auf das periimplantäre Weichgewebe gerückt. Um die Ästhetik des Weichgewebes zu quantifizieren und zu bewerten wurde der Pink Esthetic Score (PES) durch die Forschungsgruppe Fürhauser et al. (2005) im Jahr 2005 eingeführt und publiziert. Dafür werden Fotografien der Implantate mit der prothetischen Versorgung aufgenommen. Diese werden mit sieben verschiedenen Variablen bewertet. Jede dieser Variablen kann auf einer Skala von 0 bis 2 bewertet werden, wobei 0 der schlechteste Wert und 2 der beste Wert ist. In Bezug auf einen Referenzzahn (z.B. Nachbarzahn) werden die mesiale und distale Papille, Niveau des Weichgewebes, Form des Weichgewebes, das Defizit am Alveolarkamm, die Farbe und Struktur des Weichgewebes bewertet. Insgesamt kann so die maximale Punktzahl 14 erreicht werden. Eine genaue Aufstellung der Variablen ist in Tabelle 3 aufgeführt. Die Bewertung erfolgt durch unterschiedliche Untersucher. In Anwendung des PES konnte so bereits gezeigt werden, dass es nach Eingliederung der prothetischen Restauration zu Veränderungen der periimplantären Verhältnissen kommen kann (Lai et al., 2008).

Tabelle 3: Pink Esthetic Score übersetzt in Deutsch in Anlehnung an Fürhauser et al. (2005)

Variable	Beschreibung der Variable	0	1	2
Mesiale Papille	im Vergleich zum Referenzzahn	nicht vorhanden	unvollständig	vollständig
Distale Papille	im Vergleich zum Referenzzahn	nicht vorhanden	unvollständig	vollständig
Höhe des Gingivasaums	im Vergleich zum Referenzzahn	große Diskrepanz über 2 mm	kleine Diskrepanz zwischen 1 und 2 mm	keine Diskrepanz, unter 1 mm
Kontur des Weichgewebes	natürlich, dem Referenzzahn entsprechend	unnatürlich	etwas natürlich	natürlich
Alveolarkamm	Defekt des Alveolarkamms	offensichtlich	leicht	keiner
Farbe des Weichgewebes	im Vergleich zum Referenzzahn	offensichtlicher Unterschied	mittlere Unterschied	kein Unterschied
Textur (Oberfläche) des Weichgewebes	im Vergleich zum Referenzzahn	offensichtlicher Unterschied	mittlerer Unterschied	kein Unterschied

## 1.9 Zielsetzung, Fragestellung, Hypothesen

Ziel dieses prospektiven Forschungsvorhaben ist die Evaluierung der externen Sinuslifttechnik bei ausschließlicher Verwendung von intraoperativ gewonnenem Eigenknochen und A-PRF als Augmentationsmaterial. Es gilt herauszufinden, ob damit vorhersagbare und langfristig erfolgreiche Ergebnisse erzielt werden können. Klinischer Parameter zur Überprüfung des Erfolgs ist die Aufnahme des ISQ zum Zeitpunkt der Implantation und nach Einheilung, sowie röntgenologische Kontrollen zur Beurteilung des apikalen Knochengewinns. Es wird ein Nachbeobachtungszeitraum von 1 Jahr nach prothetischer Versorgung durchgeführt. Klinische Parameter zur Erfolgskontrolle zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung nach 1 Jahr sind der PES, Sondierungstiefen und Blutung auf Sondierung (BOP), sowie weitere röntgenologische Aufnahmen zur Beurteilung der knöchernen Verhältnisse.

Ziel ist es, mögliche Einflussgrößen auf den Erfolg zu ermitteln. Dabei wird unterschieden in unveränderbare Größen wie Alter, Geschlecht und Restknochenhöhe und veränderbare Größen wie Art des Implantates und verwendete prothetische Versorgungen. Zur Beurteilung der Langzeitstabilität werden Hygieneindices aufgenommen, um den Einfluss der individuellen Mundhygiene auf die implantäre Gesundheit zu evaluieren. Unter Beachtung der Ausschlusskriterien soll dieses Forschungsvorhaben dazu beitragen, den Erfolg von knochenersatzmaterialfreien externen Sinuslifts zu belegen und evidenzbasierte Empfehlungen für den Einsatz dieser Methode bieten. Langfristig könnte dadurch die Verwendung von KEM in dieser Indikation nicht mehr nötig sein, was zur Risikominimierung durch Auszuschließen des Risikos einer Übertragung von pathogenen Keimen oder Keimbestandteilen führen kann. Weiterhin wurde in diesem Forschungsvorhaben auch bei sehr geringer Residualknochenhöhen bis zu 1 mm einzeitig operiert. Es soll untersucht werden, ob auch in diesen Fällen eine ausreichende Zunahme apikalen Knochens zum gewünschten vorhersagbaren und langfristig erfolgreichen Erfolg führt.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Patientenkollektiv

Es wurden 20 Patienten mit insgesamt 28 Implantaten prospektiv untersucht, die aus dem Patientenstamm der Praxis Dentalmedizin Hamburg, Zahnarztpraxis und Oralchirurgie, Rutschbahn 41, 20146 Hamburg, rekrutiert wurden. Nach Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien (siehe 2.2 Ein- und Ausschlusskriterien) wurden die Patienten über die Studie aufgeklärt. Die Aufklärung wurde nach geltendem deutschem Recht durchgeführt. Die Aufklärung für die Maßnahmen im Rahmen der Studie (Nachkontrollen) und die Einwilligung in die Studie fand ebenfalls in der jeweils behandelnden Praxis mindestens 48h vor dem Eingriff statt. Die Aufklärung für den operativen Eingriff fand mindestens 24h vor dem Eingriff durch den/die Operateur/in PD Dr. Dr. Anders Henningsen und Dr. Catarina Victoria Zimmermann statt. Die Patienten konnten der wissenschaftlichen Nutzung ihrer Daten jederzeit widersprechen und auf eigenem Wunsch aus der Studie ausscheiden.

### 2.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Eingeschlossen wurden Patienten, die mindestens 18 Jahre alt waren und eine chirurgisch-prothetische Implantatlösung im Oberkiefer bei Einzelzahnücke oder Freundsituation mit vermindertem präoperativen Knochenangebot benötigten, so dass eine Implantation mit externer Sinusaugmentation notwendig war. Die Patienten mussten einwilligungsfähig sein im Sinne eines „informed consent“ und über ein ausreichendes vertikales Knochenangebot für eine primärstabile, einzeitige Implantation mit externem Sinuslift verfügen ( $\geq 1$  mm und  $\leq 7$  mm)

Ausschlusskriterien waren Patienten, die einen vorbestrahlten Knochen im Kieferbereich haben oder unter schweren systemischen Erkrankungen leiden, (z.B. nicht eingestellter Diabetes mellitus), sowie hämorrhagische Diathesen, starke Raucher, laufende und zurückliegende Bisphosphonattherapie, Immunkompromittierung, Incompliance und Schwangerschaft, eine akute und chronische nicht therapierte Sinusitis, sowie andere Pathologien des Sinus maxillaris.

## 2.3 Dokumentation

Die prospektiv erhobenen Befunde, Fragebögen und Patientenprotokolle sowie die radiologische und klinische Synopsis der Patienten wurden in einem separaten Studienordner pseudonymisiert gesammelt. Anschließend wurden die Daten pseudonymisiert mit Excel-Tabellen erfasst (Excel, Microsoft Office Version 16.66.1, Microsoft Corporation, Redmond, USA). Im Falle des Widerrufs der Einwilligungserklärung wurden die bereits erhobenen Daten vollständig gelöscht. Es hat kein Studienteilnehmer der Datennutzung widersprochen.

## 2.4 Ethikvotum

Dieses Forschungsvorhaben ist durch die zuständige Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg ethisch und fachrechtlich beraten worden. Ein positives Votum der Kommission erfolgte am 21.02.2022 unter der Bearbeitungsnummer 2021-10495-BO-ff.

## 2.5 Therapiekonzept

### 2.5.1 Präoperatives Management

Die allgemeine und spezielle Anamnese sowie der intraorale Befund wurden durch den Operateur/in PD Dr. Dr. Anders Henningsen und Dr. Catarina Victoria Zimmermann bei jedem Patienten erhoben und eine präoperative röntgenologische Diagnostik erstellt. Anschließend wurde die geplante Therapie mit den Patienten besprochen. Die operativen Maßnahmen (dentale Implantation und Sinusbodenelevation), der Ablauf, mögliche Komplikationen und Risiken wurden schriftlich mit standardisierten Bögen (Thieme Verlag, Z7 „Zahnwurzelimplantation“ und MKG14 „Aufbauende Kammplastik“) in der behandelnden Praxis durch den/die Operateur/in durchgeführt. Weiterhin wurde über die Behandlungsalternativen und über das postoperative Verhalten aufgeklärt. Die Zustimmung der Patienten zum geplanten Eingriff und in die Teilnahme an der Studie erfolgte per Unterschrift.

Präoperativ erhielten die Patienten eine Stunde vor dem Eingriff das Antibiotikum Amoxicillin / Clavulansäure (875 mg/ 125 mg). Bei Penicillinallergie wurde der Wirkstoff Clindamycin (600 mg) verabreicht.

### 2.5.2 Präoperative Planung

Im Rahmen der präoperativen Planung wurde eine Digitale Volumentomografie (DVT) von dem betreffenden Operationsgebiet angefertigt. Dabei wurden zylindrische

Aufnahmevolumen der Größe 40 x 40 mm bei einseitiger Operation oder 80 x 40 mm bei beidseitiger Operation gewählt. Verwendet wurde immer dasselbe Röntgengerät (Modell X550P-CT-EX2, Morita MFG Corp., Kyoto, Japan). Weiterhin wurden bereits vorhandene, aus anderer Indikation angefertigte, Panoramaschichtaufnahmen verwendet. Die Befundung erfolgte mit der Software iDixel (Morita MFG Corp., Kyoto, Japan) und wurde auf einem dafür zugelassenen und geprüften Befundungsmonitor (FlexScan EV2455, EIZO Corporation, Hakusan, Japan) durchgeführt. Das Knochenangebot wurde in der gewünschten Implantatposition ausgemessen und das Implantat in Form und Größe geplant. Dabei wurden Durchmesser von 4,3-5,0 mm im Molarenbereich und 3,8-4,3 mm im Prämolarenbereich angestrebt. Die gewünschte Länge betrug in der Regel 11 mm. Weiterhin wurde bestimmt, ob eine Implantation mit einem Implantat der Serie Camlog Conelog Screw Line (Camlog Biotechnologies AG, Basel, Schweiz) oder der Serie Camlog Conelog Progressive Line (Camlog Biotechnologies AG, Basel, Schweiz) erfolgt in Abhängigkeit vom vertikalen Knochenangebot, da die Serie der Progressive Line aufgrund des stärker ausgeprägten Gewindes bei geringer Knochenhöhe noch eine hohe Primärstabilität in den schulternahen 2 mm erzeugen kann. Weiterhin wurden in der DVT-Aufnahme die individuelle Anatomie der Kieferhöhle beurteilt und auf mögliche Komplikationen und Risiken, wie Septen oder intraossär verlaufende Gefäße im OP-Gebiet, sowie Pathologien der Kieferhöhle und der Schneiderschen Membran untersucht.

### 2.5.3 Sinusaugmentation und Implantation

Nach dem Spülen der Mundhöhle mit der Chlorhexidinlösung meridol med CHX 0,2 % (CP Gaba GmbH, Hamburg, Deutschland) zur intraoralen Keimreduktion wurde den Patienten über einen venösen Zugang in der Unterarmbeuge pro operierter Seite 20 ml Blut abgenommen. Dafür wurden zwei 10 ml A-PRF Zentrifugationsröhrchen (Process for PRF, Nizza, Frankreich) verwendet. Anschließend wurden die Röhrchen bei einer Umdrehungszahl von 1300 U/min (200g g-force) für 8 min in einer klinischen Zentrifuge weiterverarbeitet (Modell CD0412, Phoenix Instrument GmbH, Garbsen, Deutschland).

Die Operation wurde in allen Fällen unter Lokalanästhesie durch Articain mit Epinephrin 1:100.000 (Septodent GmbH, Niederkassel, Deutschland) als Infiltrationsanästhesie im geplanten Operationsbereich von vestibulär und palatinal durchgeführt. Das operative Vorgehen begann zunächst mit einer krestalen Inzision an der geplanten Implantatposition, sulkulärer Schnittführung an den Nachbarzähnen sowie mesiovestibulärer Entlastung am Nachbarzahn. Danach wurde ein Mukoperiostlappen nach vestibulär und palatinal gebildet und die laterale Wand der Kieferhöhle dargestellt. Anschließend wurde der Knochen der fazialen Kieferhöhlenwand manuell mittels des

Knochenschabers „Safescraper Twist“ Kortikalis-Knochensammler (Meta Technologies S.R.L., Reggio Emilia, Italien) abgeschabt, bis die Schneidersche Membran ausreichend dargestellt war (Durchmesser des Zugangs ca. 6-8 mm im Durchmesser). Konnte an dieser Stelle aufgrund einer dünnen Kortikalis nicht genug Knochen gesammelt werden, wurde zusätzlich über den gleichen Zugang im Bereich der Crista zygomaticoalveolaris des Oberkiefers Knochen mittels des Safescraper entnommen. Die Position des runden bis ovalen Fensters wurde so gewählt, dass in Richtung krestal eine Wand von mindestens 1 mm stehen blieb. Dies wurde berechnet mit der bekannten residualen Knochenhöhe. Im Anschluss wurde die Schneidersche Membran mit den Sinuselevatorien DO571R, DO573R, DX561R der Serie Ergoplant (Aesculap, Inc., Pennsylvania, USA) gelöst und eleviert, um einen Hohlraum darunter zu schaffen (Abbildungen 3-8).



Abbildung 3: Ausgangssituation 2. Quadrant

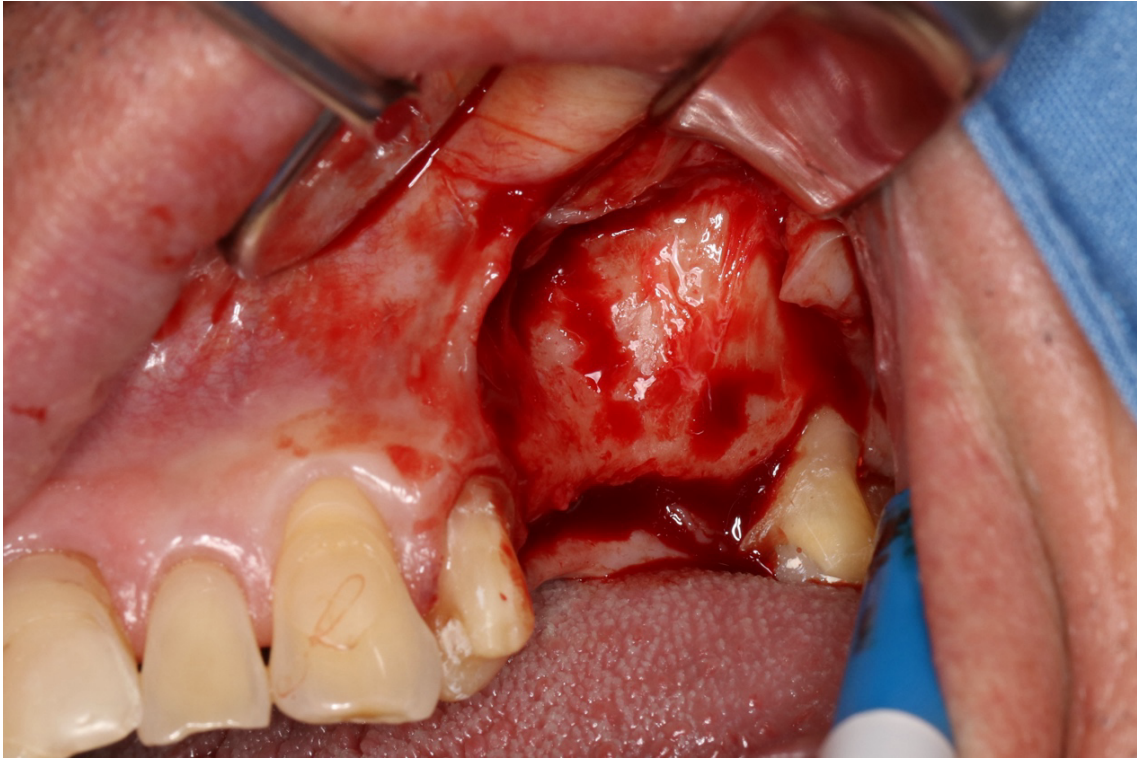


Abbildung 4: Darstellung der lateralen Kieferhöhlenwand und des krestalen Knochens

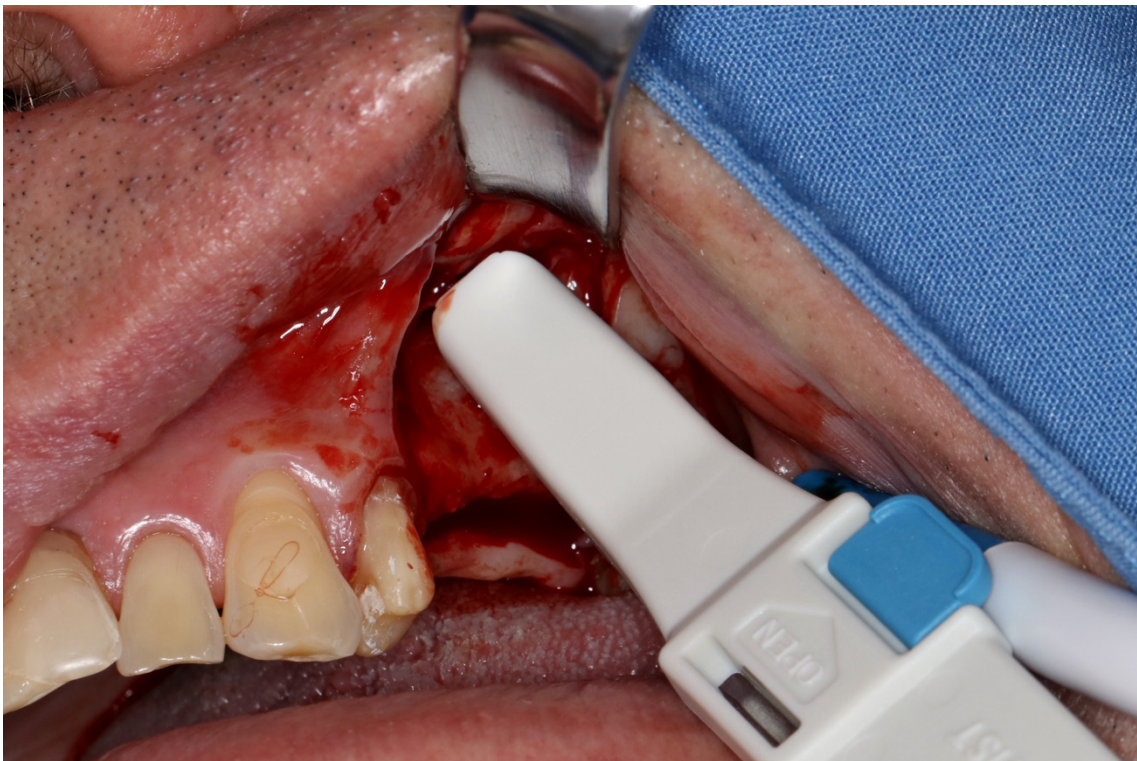


Abbildung 5: Sammeln von Eigenknochen mittels Safescraper (Meta Technologies S.R.L., Reggio Emilia, Italien) und Zugang zur Kieferhöhle



Abbildung 6: gesammelter Eigenknochen im Safescraper (Meta Technologies S.R.L., Reggio Emilia, Italien)



Abbildung 7 Elevation der Schneiderschen Membran

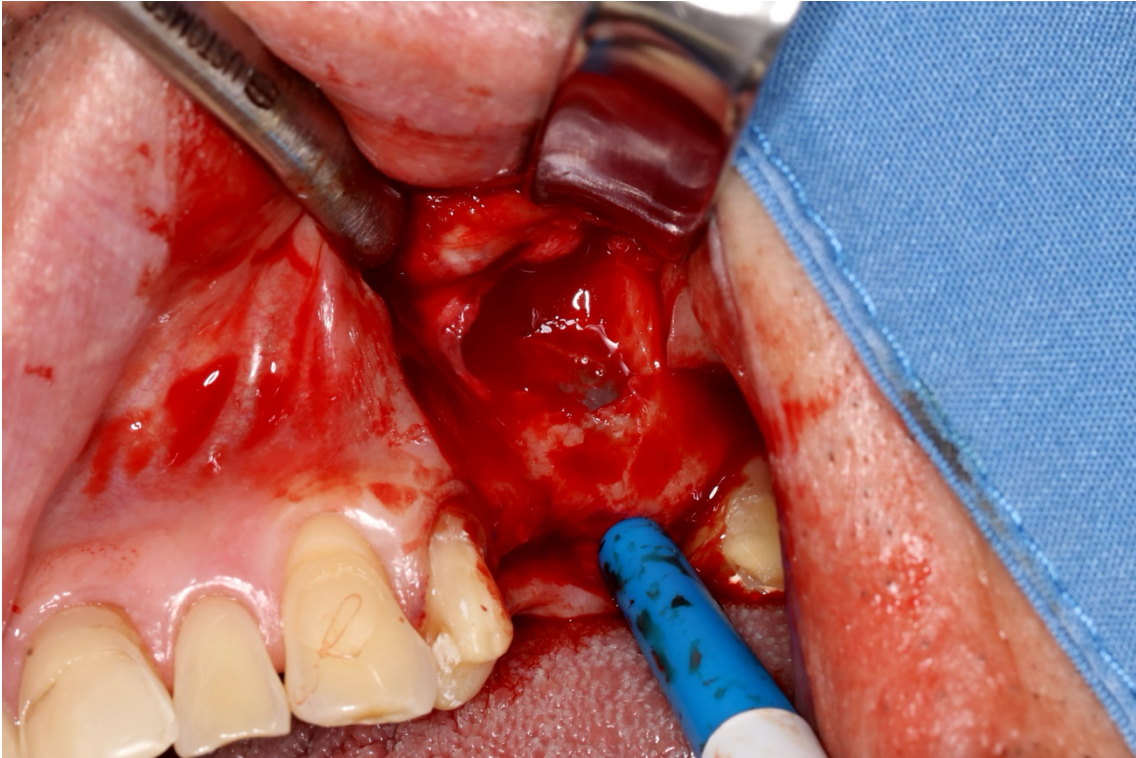


Abbildung 8: elevierte Schneidersche Membran

Nun erfolgte die Pilotbohrung von krestal sowie Längenbohrung mit Breitenbohrung für die zu setzenden dentalen Implantate anhand der Vorgaben des Implantatherstellers. Es wurde dafür das chirurgische Winkelstück WS-75 E/KM (W&H Dentalwerk Bürmoos GmbH, Bürmoos, Österreich) mit dem chirurgischen Motor OsseoSet100 (Nobel Biocare Services AG, Kloten, Schweiz) mit steriler Kochsalzlösung verwendet. Anfallende Knochenspäne wurden ebenfalls gesammelt. Zum Schutz der Schneiderschen Membran wurde während der Bohrung ein Raspatorium in den geschaffenen Hohlraum eingeführt.

Anschließend erfolgte die Einlagerung von zwei Drittel des mit dem Knochenschabers gewonnenen Knochens in den Sinus direkt unter die Schneidersche Membran über der geplanten Implantationsstelle durch den lateralen Zugang. Im Falle einer Perforation wurde die Kollagenmembran BioGide (Geistlich Pharma AG Wolhusen, Schweiz) vor Einlagerung der Knochenspäne zugeschnitten und platziert.

Darauf folgend wurden je nach Größe des Zuganges 2-3 PRF-Clots unbearbeitet und direkt aus dem Röhrchen entnommen und in den Augmentationsbereich von lateral eingebracht. Anschließend wurden die Implantate (Camlog Biotechnologies AG, Basel, Schweiz) mit der Drehmomentratsche in die gewünschte Position gesetzt um eine Überprüfung des Insertion-Torques vornehmen zu können. Dabei sollte eine Primärstabilität von  $\geq 25$  Ncm Insertionsdrehmoment durch den vorhandenen

Alveolarknochen gewährleistet sein. Die Implantate wurden krestal bündig eingesetzt. Die apikalen Enden der Implantate ragen dabei in die Kieferhöhle und halten so die Membran inklusive des eingebrachten Knochens und der PRF-Clots nach kranial (Tentpole-technique). Das restliche Drittel an gewonnenem Knochen wurde anschließend zum Verschluss des Zugangs zur Kieferhöhle verwendet. Vor dem plastischen Verschluss wurde mittels RFA der Implantat-Stabilitäts-Quotient der Implantate mit dem Ostell Beacon (Ostell AB, Göteborg, Schweden) aus bukkal-oraler und mesio-distaler Richtung ermittelt mit den auf den Implantaten passenden SmartPegs (Ostell AB, Göteborg Schweden). Diese Schritte sind in den Abbildungen 9-12 dargestellt

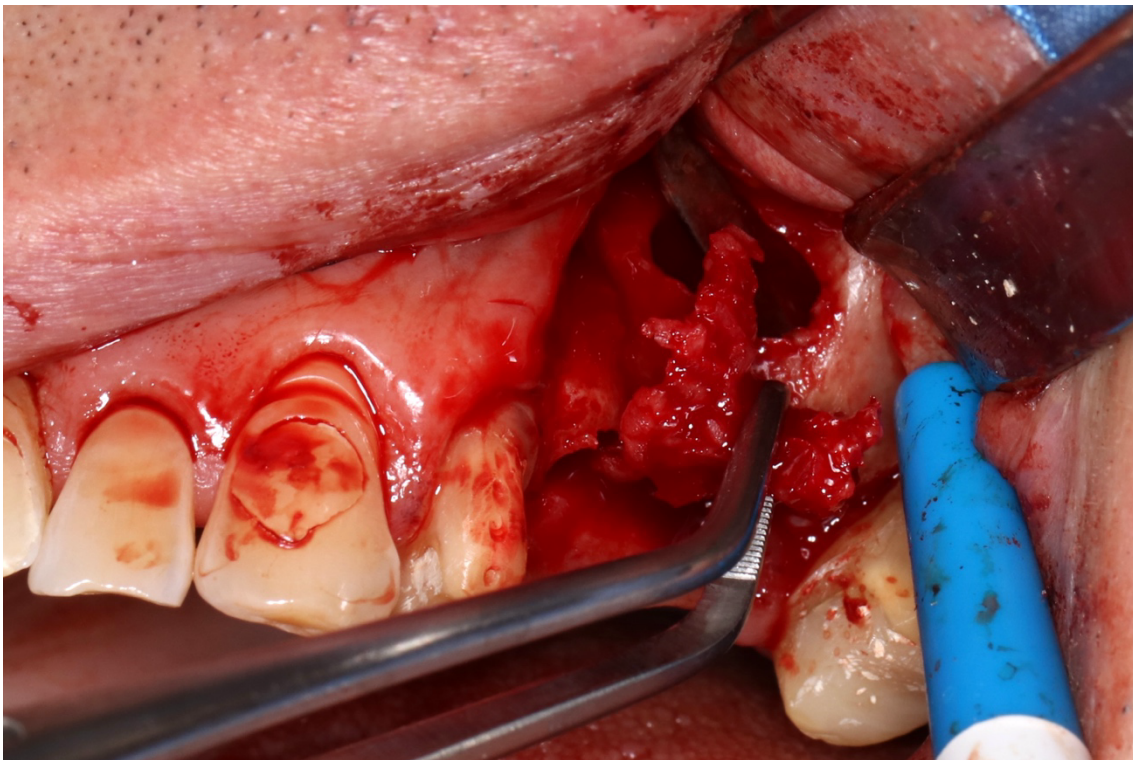


Abbildung 9: Einbringen des Eigenknochens unter die Schneidersche Membran

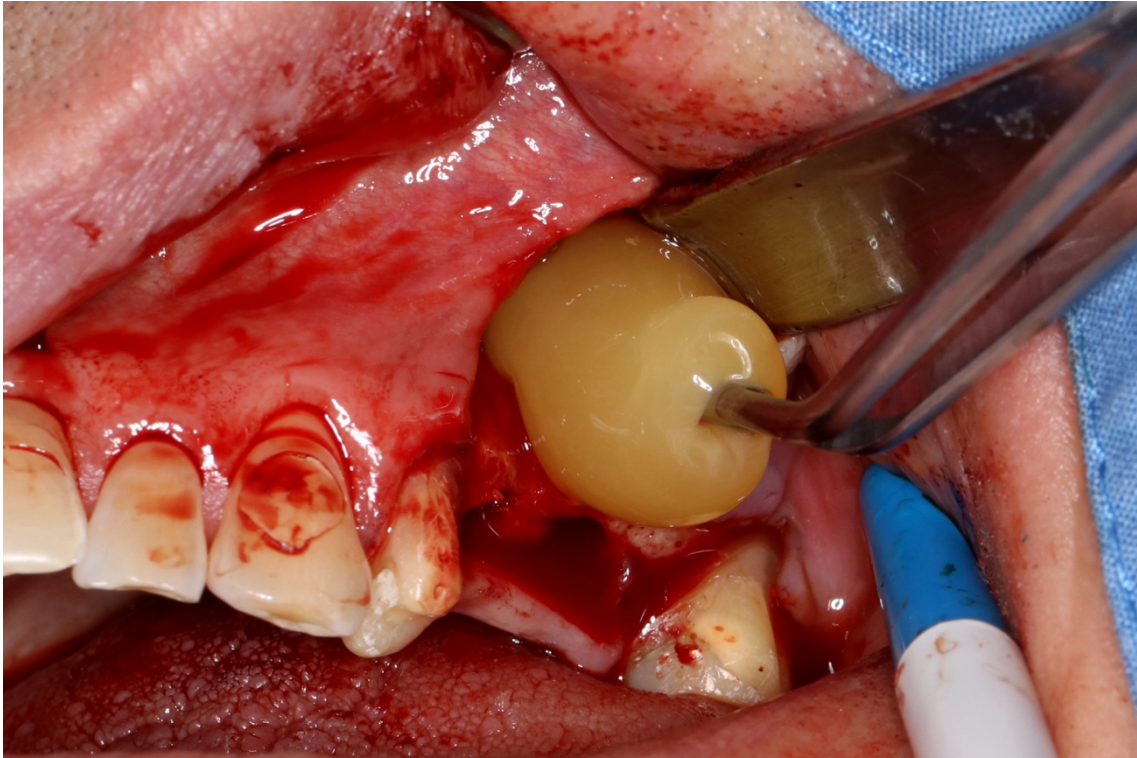


Abbildung 10: Einbringen des A-PRF Clotstest test

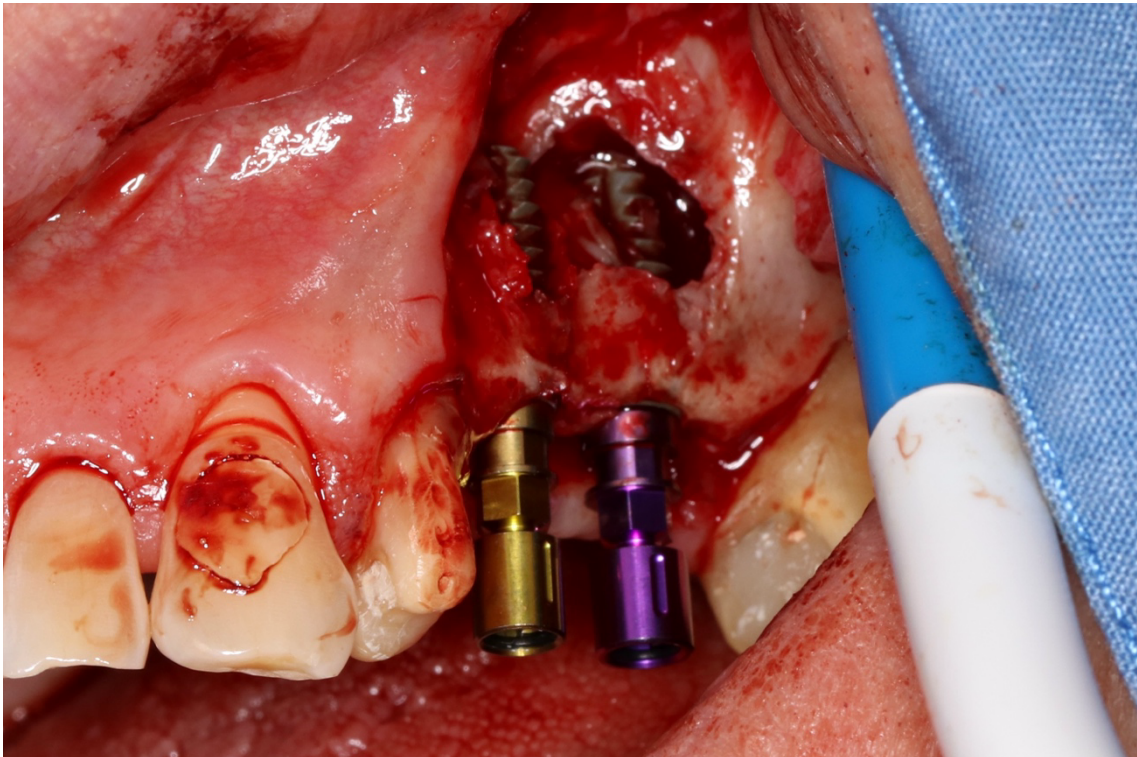


Abbildung 11: erfolgte Implantation Regio 25,26 mit Camlog Conelog Progressive Line

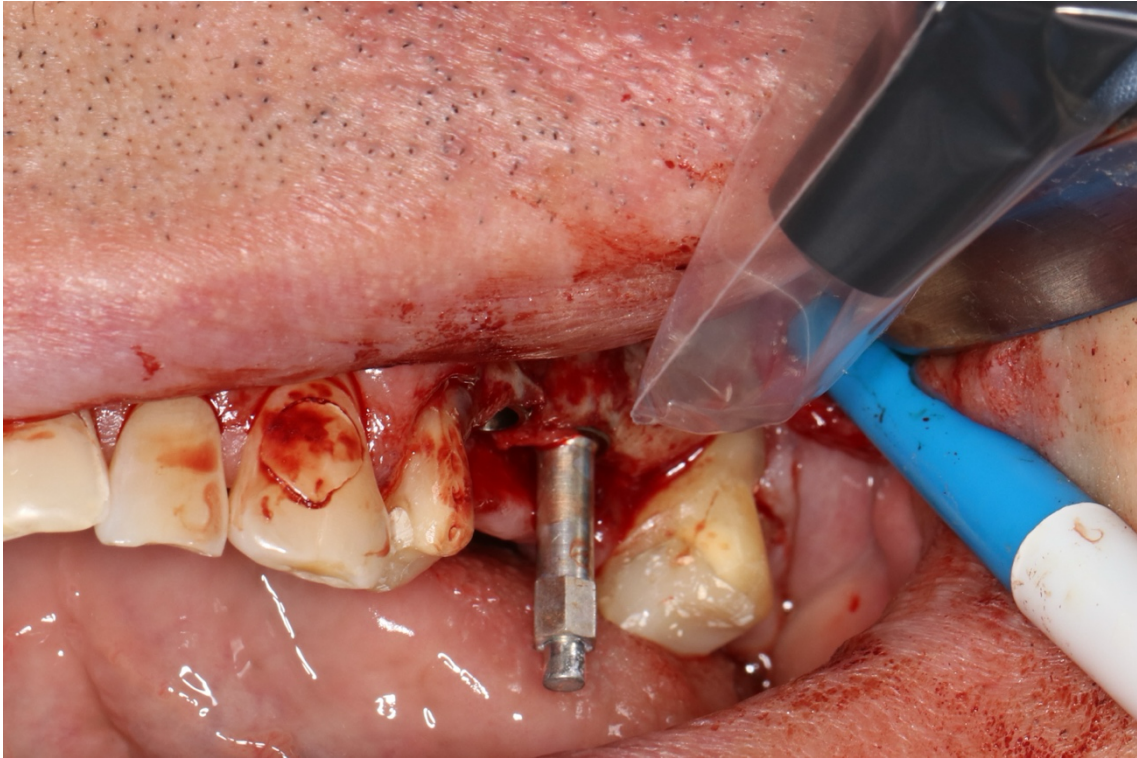


Abbildung 12: ISQ Messung mit Osteill Beacon (Ostell AB, Göteborg, Schweden)

Nach der Implantation und dem Verschluss des seitlichen Kieferhöhlenzugangs mit dem restlichen autologen Knochen wurde der Mukoperiostlappen repositioniert und bei Bedarf vorher eine Periostschlitzung durchgeführt. Der Wundverschluss wurde mit Supramid 4/0 Polyamid (LuxSutures, Weiswampbach, Luxembourg) durchgeführt (Abbildungen 13 und 14). Postoperativ wurde eine Panoramaschichtaufnahme angefertigt.

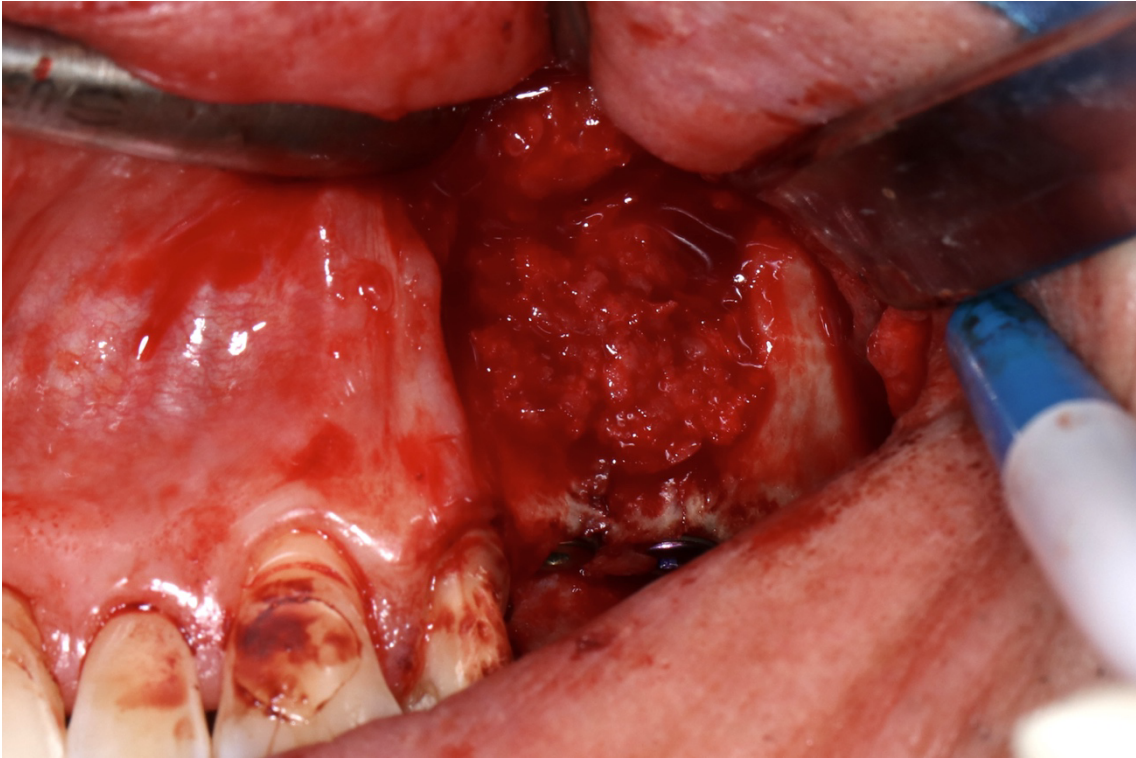


Abbildung 13: verschlossener Zugang mit Eigenknochen



Abbildung 14: Zustand nach erfolgter Naht mit Supramid 4-0 (LuxSutures, Weiswampbach, Luxembourg)

Die Patienten wurden aufgeklärt, die nächsten vier Wochen keine Druckbelastungen auf die Kieferhöhle im Sinne eines „Schnäuzverbotes“ auszuüben. Weiterhin wurde eine antibiotische Prophylaxe mit AmoxiClav 875/125mg für 5 Tage und Ibuprofen 600mg nach Bedarf verordnet. Außerdem wurde abschwellendes Nasenspray (Wirkstoff Xylometazolin) verschrieben zur regelmäßigen täglichen Anwendung für eine Woche in das Nasenloch der Seite des Sinusliftes.

Nach Abschluss der primären Wundheilung und Entfernung der Nähte nach 7-10 Tagen, erhielt der Patient einen Kurzfragebogen bezüglich der Belastung durch die Operation und der anschließenden Heilungsphase.

### 2.5.4 Freilegung

Nach einer Einheilphase von circa drei bis vier Monaten (in Abhängigkeit der Höhe des Restknochens und der gemessenen Primärstabilität) wurde eine weitere Röntgenaufnahme zur Beurteilung der Osseointegration und des apikalen Knochenzugewinns erstellt. Es erfolgte die Freilegung des Implantates durch einen krestalen Zugang und das Auswechseln der Verschlusschraube gegen einen Gingivaformer (Camlog Biotechnologies AG, Basel, Schweiz). In der Regel wurde die Form „wide body“ verwendet, um ein anatomisches Emergenzprofil zu formen.

Gleichzeitig wurde im Rahmen der Freilegung der Implantate die Osseointegration des Implantats klinisch überprüft. Dabei wurde zum einem manuell untersucht werden, ob das Implantat fest oder locker ist. Dafür wurde zunächst die Einheilschraube mittels Schraubenschlüssel entfernt und so eine erste Überprüfung der Implantatfestigkeit ermöglicht. Sollte das Implantat nicht osseointegriert sein, könnte es sich hier bereits aus dem Knochen lösen. Wenn dies nicht der Fall war, wurde eine Messung des ISQ-Wertes durchgeführt. Daraufhin wurde der Gingivaformer mittels Schraubendreher eingedreht. Während dieses Vorgangs wurde wieder manuell überprüft, ob das Implantat fest ist. Jegliche Form von Lockerung war als Misserfolg zu definieren. Bei klinischer Festigkeit des Implantates sowie einem ISQ über 60 konnte das Implantat prothetisch versorgt werden. Es fand keine Sofortbelastung der Implantate statt.

### 2.5.5 Prothetische Weiterversorgung

Die geplante prothetische Weiterversorgung wurde vor der Operation mit dem Patienten, dem Operateur und dem prothetisch behandelnden Zahnarzt besprochen und festgelegt. Die Implantate wurden je nach Gesamtsituation durch Einzelversorgungen mit Einzelkronen oder Brücken versorgt. Es wurden dafür verschraubte Implantatkronen und

zementierte Implantatkronen mit individuellem Abutments angefertigt. Es wurden keine Verbundbrücken zwischen Zahn und Implantat geplant und eingesetzt. Weiterhin wurden Implantate als Pfeiler für herausnehmbaren Zahnersatz verwendet. Dabei wurden sie entweder über einen Locator (Camlog Biotechnologies AG, Basel, Schweiz) einbezogen oder in eine Teleskopprothese eingearbeitet. Für die zahntechnischen Arbeiten wurden ausschließlich Originalteile des Herstellers Camlog (Camlog Biotechnologies AG, Basel, Schweiz) verwendet. Nach Fertigstellung des Zahnersatzes wurde ein intraorales Digitalfoto mit einer digitalen Spiegelreflexkamera (Canon EOS 80D, Canon Inc. Tokio, Japan) mit dem verwendeten Objektiv Canon Macro Lens EF 100 mm 1:2,8L IS USM (Canon Inc. Tokio, Japan) sowie dem Ringblitz Macro Ring Lite MR-14EX II (Canon Inc. Tokio, Japan) zur Dokumentation und späteren Ermittlung des PES angefertigt.

Weiterhin wurden Untersuchungen im Rahmen des normalen zahnärztlichen Recalls wie Taschentiefenmessung mit einer Parodontalsonde, Hygieneindizes (Approximaler Plaqueindex [API], Papillen-Blutungs-Index [PBI], Parodontaler Screeningindex [PSI], Blutung auf Sondierung [BOP]) als Ausgangsbefund aufgenommen.

### 2.5.6 Recall

Ein Jahr nach erfolgter prothetischer Versorgung wurden erneut Untersuchungen im Rahmen des normalen zahnärztlichen Recalls wie Taschentiefenmessung, Hygieneindizes (Approximaler Plaqueindex [API], Parodontaler Screeningindex [PSI], Papillen-Blutungs-Index [PBI], Blutung auf Sondierung [BOP]) aufgenommen, sowie Digitalfotos angefertigt. Weiterhin wurde ein Jahr nach prothetischer Belastung ein Röntgenbild zur Kontrolle der knöchernen Situation gemacht gemäß der Empfehlung der Pisa Consensus Conference (Misch et al., 2008) sowie ein Fragebogen an den Patienten zur Zufriedenheit mit dem Zahnersatz gestellt.

## 2.6 Datenauswertung

### 2.6.1 Röntgenologische Datenerhebung

Ausgewertet wurden alle Röntgenbilder, die im Rahmen der Implantation aufgenommen wurden. Dies beinhaltet die Aufnahmen zur Planung (vorliegende Panoramaschichtaufnahme (PSA) und DVT), die postoperative Aufnahme, die Aufnahme zum Zeitpunkt der Freilegung und die Aufnahme im Rahmen des Recalls nach einem Jahr. Es wurden hauptsächlich PSA angefertigt, in einzelnen Fällen auch Einzelzahnfilme.

Alle Aufnahmen wurden digital angefertigt und ausgewertet. Die Befundung und Messung erfolgte in einem abgedunkelten Raum an einem Befundungsmonitor mit Helligkeitswertanpassung (FlexScan EV2455, EIZO Corporation, Hakusan, Japan). Die Befundung erfolgte mit der Software iDixel (Morita MFG Corp., Kyoto, Japan). Die Röntgenbilder wurden anhand der vorbekannten Implantatlängen kalibriert. Ausgewertet wurden die Röntgenbilder von zwei unabhängigen Personen, die nicht im chirurgischen Behandlungsablauf beteiligt waren unter den oben genannten Voraussetzungen.

### 2.6.2 Knochenhöhe

Der zum Zeitpunkt der Implantation vorliegende vertikale residuale Knochen wurde als Baselinewert genommen. Untersucht wurde der Verlauf des krestalen Knochens sowie des apikalen Knochenzugewinns nach Augmentation. Ausgehend von einer in 90° durch den kranialsten Punkt des Implantatapex laufenden Tangente bis zum Kieferhöhlenboden wurde der Baseline-Wert und später der apikale Knochenzugewinn gemessen, dargestellt in Abbildung 15 und 16.

Für den krestalen Knochen wird nach Buser et al. (1990) der Abstand zwischen der Implantatschulter (IS) und dem koronalsten krestalen Knochen (CBL) gemessen. Die Messung erfolgte mesial und distal am Implantat und wurde arithmetisch gemittelt. Die Distanz zwischen IS und CBL ist definiert durch die Autoren als DIB-Wert (DIB=distance implantat shoulder bone contact). Die periimplantären knöchernen Verhältnisse können so beschrieben und verglichen werden. Im Falle subkrestal gesetzter Implantate können negative DIB-Werte entstehen. Genauso können für den apikalen Knochen negative Werte entstehen, wenn dieser über den Implantatapex hinausgeht, wie in Abbildung 16 dargestellt ist. Die Röntgenbilder wurden durch zwei unabhängige Personen, die weder im chirurgischen noch im prothetischen Behandlungsablauf beteiligt waren, zwei Mal zu jeweils verschiedenen Zeitpunkten ausgewertet. Die Werte wurden auf 0,5 mm gerundet.

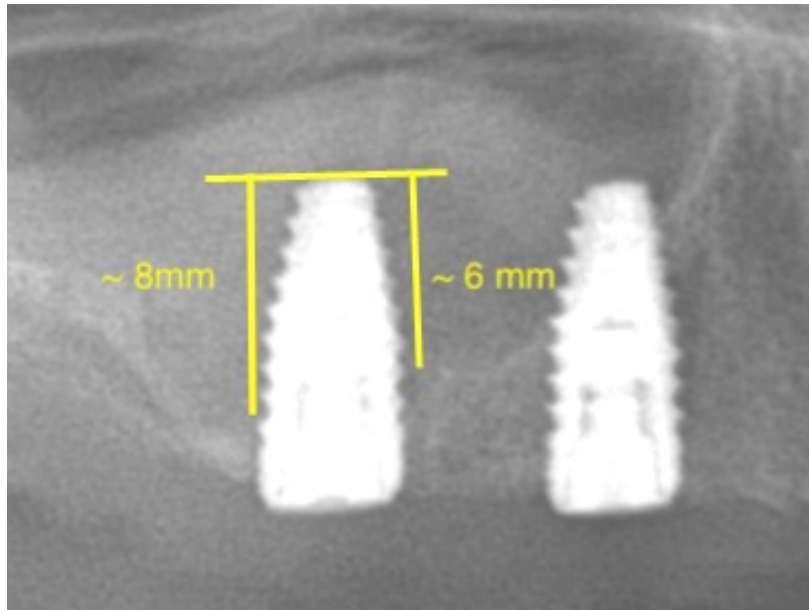


Abbildung 15: Vermessung der apikalen Knochenverhältnisse (Beispiel einer postoperativ aufgenommenen PSA)

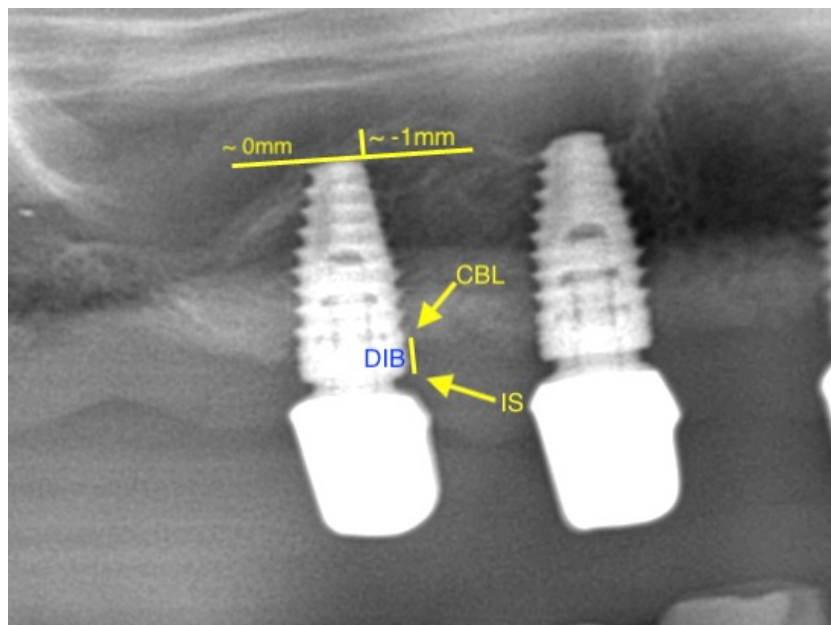


Abbildung 16: Darstellung der Referenzpunkte CBL (crestal bone level) und IS (implantat shoulder), sowie des DIB-Wert (distance implantat bone contact), sowie der apikalen Knochenverhältnisse nach Einheilung (gleiches Beispiel wie in Abbildung 16)

### 2.6.3 Resonanzfrequenzanalyse

Je Implantat wurde der ISQ wie unter 2.5.3 beschrieben in vestibulo-oraler und mesio-distaler Richtung aufgenommen und arithmetisch gemittelt. Gemessen wurde zum Zeitpunkt der Implantation und der Freilegung. Weiterhin wurden die Zeit in Tagen zwischen der intraoperativen Messung und der Messung nach Osseointegration bestimmt. Die Ergebnisse wurden im zeitlichen Verlauf grafisch dargestellt und statistisch ausgewertet.

### 2.6.4 Pink Esthetic Score

Nach erfolgter prothetischer Versorgung und im Rahmen des 1 Jahres Recalls wurden intraorale digitale Fotos mit derselben digitalen Spiegelreflexkamera Canon EOS 80 (Canon EOS 80D, Canon Inc. Tokio, Japan), Objektiv Canon Macro Lens EF 100 mm 1:2,8L IS USM (Canon Inc. Tokio, Japan) sowie Ringblitz Macro Ring Lite MR-14EX II (Canon Inc. Tokio, Japan) angefertigt. Im Anschluss wurden die Dateien auf einen Computer übertragen, entspiegelt und zugeschnitten. Es erfolgte keine Bearbeitung der Helligkeit, des Kontrasts und der Farbe.

Im Anschluss wurden die Fotografien durch zwei unabhängige Personen, die weder im chirurgischen noch im prothetischen Behandlungsablauf beteiligt waren, im Hinblick auf den Pink Esthetic Score bei Einzelzahnkronen und Brücken jeweils zwei Mal ausgewertet. Der Referenzzahn war in der Regel der mesiale Nachbarzahn und bei beiden Auswertungen gleich. Es wurde derselbe Monitor (FlexScan EV2455, EIZO Corporation, Hakusan, Japan) in einem abgedunkelten Raum verwendet. Im Anschluss wurde der Pink Esthetic Score für jedes Foto ermittelt und der Ausgangswert mit dem 1 Jahres Recall verglichen.

### 2.6.5 Hygieneindizes

Die Hygieneindizes wurden zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung und im Rahmen des 1-Jahres-Recalls aufgenommen.

Der Approximalraum-Plaquesindex (API) nach Lange (1986) wurde ermittelt durch das Anfärben mittels Farbe Mira-2-Ton (Hager & Werken GmbH & Co. KG, Duisburg, Hamburg). Beurteilt wurde je Approximalraum in einer einfachen Ja-/Nein-Entscheidung, ob Plaque vorhanden ist. Dabei wurde je Quadrant nur eine Seite (fazial oder oral) bewertet. In dieser Studie wurden im 1. und 3. Quadranten die faziale Seite und im 2. und 4. Quadranten die orale Seite bewertet. Anschließend wurde der Quotient aus Anzahl der positiven Flächen und Anzahl der Gesamtflächen berechnet und in

Prozenten angegeben. Werte unter 25 % weisen auf eine gute Mundhygiene hin, zwischen 25-39 % auf eine befriedigende Mundhygiene, zwischen 40-70 % auf eine mäßige Mundhygiene. Ein API über 70 % deutet auf eine unzureichende Mundhygiene hin.

Der Papillen-Blutungs-Index (PBI) nach Saxer and Mühlemann (1975) wird in ähnlicher Weise zum API aufgenommen. Nach Sondierung der Papillen mittels Parodontalsonde, wird das Vorkommen einer Papillenblutung beurteilt und die Intensität der Blutung in vier Grade unterteilt. Grad 1 entspricht einem einzelnen Blutungspunkt, Grad 2 einer Blutlinie oder mehreren Blutpunkten, Grad 3 dem Füllen des interdentalen Dreiecks mit Blut, Grad 4 einer profusen Blutung. Gemessen wurde im 1. und 3. Quadranten die orale Seite und im 2. und 4. Quadranten die faciale Seite. Anschließend wurde die Summe aus den Blutungspunkten gebildet und der Quotient mit der Anzahl der Gesamtflächen berechnet und in Prozenten angegeben.

Der parodontale Screening Index (PSI) ist eine Vorsorgeuntersuchung zur Überprüfung, ob eine parodontale Erkrankung möglicherweise vorliegt (Dannewitz et al., 2021, Cutress et al., 1987). Er wird in fünf unterschiedliche Codes unterteilt, PSI-Code 0 entspricht mit Sondierungstiefen unter 3,5 mm und keiner Blutung einer parodontal gesunden Situation, Code 1 mit vorliegenden Blutungen aber Sondierungstiefen unter 3,5 mm einer Zahnfleischentzündung. Code 2 entspricht Code 1, allerdings liegen zusätzlich Zahnstein oder überstehende Füllungs- und/oder Kronenränder vor. Code 3 liegt ab Sondierungstiefen von 3,5 mm vor, Code 4 ab Sondierungstiefen von 5,5 mm. Code 3 und 4 weisen auf eine Parodontitis hin, der die Erhebung eines vollständigen Parodontalstatus nach sich zieht. Der Code wurde in Sextanten erhoben, wobei immer der höchste Wert maßgeblich war. Der PSI wird mit einer WHO-Sonde erhoben.

Blutung auf Sondieren (englisch: Bleeding on Probing) ist eine diagnostische Untersuchung zur Feststellung der Entzündung des Parodonts oder der periimplantären Mukosa (Ainamo and Bay, 1975, Schwarz and Becker, 2016). Mit einer parodontalen Sonde wird zirkulär unter geringem Druck der Boden des Sulkus abgefahren. Es wurden reizfreie Stellen, Blutungspunkte und/oder Pusaustritt dokumentiert. Die Aufnahme des BOP erfolgte in Zusammenhang mit dem Messen der Sondierungstiefen an den Implantaten.

### 2.6.6 Fragebögen

Zur Befragung der Patientenzufriedenheit wurden zwei standardisierte Fragebögen verwendet. Der erste Fragebogen wurde von den Patienten am Tag der Nahtentfernung ausgefüllt, um so die Patienten über den postoperativen Verlauf und das Erleben der Operation an sich zu befragen. Der zweite Fragebogen wurde am Tag der 1-Jahreskontrolle ausgefüllt und erfragt die Änderung der Lebensqualität durch den neuen Zahnersatz und eine subjektive Bewertung der Versorgung. Weiterhin wurde erfragt, ob sie die Behandlung weiterempfehlen würden. Beide Fragebögen sind gestaltet durch Aussagen, die durch den Patienten in einer mehrstufigen ungeraden Likertskala angenommen oder abgelehnt werden können.

### 2.7 Erfolgskriterien

Neben der Dokumentation des Implantaterfolges durch die Überlebensrate wurde zur Dokumentation des „Implantaterfolges“ die Klassifizierung nach Misch gewählt, die im Rahmen der „Pisa Consensus Konferenz“ (2007) definiert und publiziert wurde (Misch et al., 2008). Unterteilt wird in 4 Gruppen, die die Implantate in Erfolg, Überleben und Misserfolg unterteilen. Gruppe 1 wird durch klinische Entzündungsfreiheit und röntgenologische Unauffälligkeit definiert als Erfolg. Gruppe 2 ist definiert als zufriedenstellendes Überleben, bei der klinische Reizfreiheit vorliegt, aber röntgenologisch Knochenabbau erkennbar ist, der für abgeklungene Entzündungen stehen kann und ein Risikofaktor für weitere Komplikationen sein kann. Implantate der Gruppe 3 werden bezeichnet mit „kompromittiertem Überleben“ und zeigen klinische Entzündungszeichen und röntgenologischen Knochenabbau über 4 mm. Gruppe 4 ist definiert als Misserfolg mit Mobilität des Implantates, Schmerzen, starker Entzündung oder Knochenabbau über die Hälfte der Implantatlänge oder einem Implantatverlust. Eine Übersicht der Klassifizierung ist in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Implantaterfolg nach Misch et al. (2008)

Implantaterfolg	Klinische Konditionen
Gruppe I Erfolg (optimale Gesundheit)	kein Schmerz oder Druckempfindlichkeit bei Funktion, keine Mobilität, weniger als 2 mm Knochenabbau seit der Implantation, keine Exsudation
Gruppe II Zufriedenstellendes Überleben	kein Schmerz bei Funktion, keine Mobilität, röntgenologischer Knochenabbau zwischen 2 und 4 mm, keine Exsudation
Gruppe III Kompromittiertes Überleben	Empfindlichkeit bei funktioneller Belastung, keine Mobilität, mehr als 4 mm röntgenologischer Knochenabbau aber weniger als die Hälfte der Implantatlänge
Gruppe IV Misserfolg (klinisch oder absolut)	Eines der folgenden muss erfolgt sein: Schmerz bei funktioneller Belastung, Mobilität, röntgenologischer Knochenabbau größer als die Hälfte der Implantatlänge, unkontrollierte Exsudation, Implantat nicht mehr im Mund

## 2.8 Prothetische Komplikationen

Neben den oben genannten Erfolgskriterien wurden im Rahmen des Recalls prothetische Komplikationen dokumentiert. Unterteilt wurden diese in kleine Probleme, die sich „chair-side“, also am Zahnarztstuhl ohne Abnahme der Prothetik, beheben ließen wie zum Beispiel kleinere Chippings, und in größere Komplikationen, die in Zusammenarbeit mit dem Zahntechniker gelöst werden mussten und eine Abnahme der prothetischen Versorgung nach sich zogen.

## 2.9 Chirurgische Komplikationen

Chirurgische Auffälligkeiten wurden im Rahmen der Dokumentation der Operation aufgenommen. Es wurden intraoperative Komplikationen wie Perforationen der Schneiderschen Membran festgehalten mit Zeitpunkt und Größe sowie intraoperative Blutungen. Außerdem wurden Komplikationen im postoperativen Heilungsverlauf dokumentiert wie z.B. das Vorliegen von Dehiszenzen nach Weichgewebsheilung. Zusätzlich wurden anatomische Auffälligkeiten und Narben im Bereich der Schneiderschen Membran erfasst.

## 2.10 Statistische Datenauswertung

Nachdem die in Frage kommenden Patienten der Studie zugestimmt hatten, wurden Protokolle über den Operationsverlauf, Heilungsverlauf und prothetische Versorgung aufgenommen. Weiterhin wurden erstellte Röntgenbilder und Fotografien gesammelt und analysiert. Anschließend wurden die Daten pseudonymisiert und mit dem Programm SPSS (Statistic Package the Social Sciences) Version 29.0.2.0 (IBM, Armonk, New York, USA) statistisch ausgewertet. Zur Darstellung der deskriptiven Statistik, wurden sowohl grafische Darstellungen von Verteilungsberechnungen verwendet als auch Tabellen unter Angabe der absoluten und relativen Häufigkeit.

Um die Güte für die Ergebnisse der Röntgenauswertung und des PES beurteilen zu können, wurde eine Reliabilitätsanalyse durchgeführt. Dafür wurden sowohl die Röntgenaufnahmen als auch die Fotografien für den Pink Esthetic Score durch einen Betrachter zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten vermessen, bzw. bewertet. Um die Interobserver-Reliabilität zu ermitteln, wurden dieselben Messungen, bzw. Bewertungen durch eine an der Studie nicht beteiligten Person durchgeführt. Dies fand unter gleichen Bedingungen statt. Die Bestimmung der Reliabilität erfolgte anschließend über Cronbachs Alpha. Diese Methode wurden 1951 durch Lee Cronbach publiziert und dient der Beurteilung einer Skala auf interne Konsistenz (Cronbach, 1951). A kann dabei Werte von maximal 1 annehmen. Werte ab  $\alpha = 0,7$  können als gut bewertet werden (Streiner, 2003).

Die Analyse der Inferenzstatistik umfasste bivariate und multivariate Analyseverfahren. Letztere bestanden aus Regressionsmodellen und Varianzanalysen. Regressionsmodelle wurden genutzt, um die Abhängigkeit einer Variablen von einer unabhängigen Variable zu untersuchen. So wurde untersucht, ob der der apikale Knochenzugewinn abhängig ist vom ausgehenden Residualknochen und sich dieser Zusammenhang linear darstellen lässt.

In Varianzanalysen wurden Einflussfaktoren auf die untersuchten Parameter geprüft. Die Analysen wurden sowohl für den krestalen und apikalen Knochen als auch für den ISQ und den Insertions-Torque durchgeführt. In adjustierten Modellen kann so der Einfluss einer oder mehrerer unabhängiger Variablen unter Berücksichtigung weiterer Merkmale geschätzt werden. Die zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung und zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle aufgenommen Hygieneparameter wurden durch parametrische Tests auf signifikante Korrelation oder Differenz geprüft. Die Fragebögen wurden sowohl deskriptiv ausgewertet als auch auf Korrelationen mittels Spearmananalyse überprüft.

Für alle durchgeführten Analysen wurde ein Signifikanzniveau von 5 % angesetzt. Dies bedeutet, dass p-Werte unter 0,05 auf eine statistische Signifikanz hinweisen.

Zur Beschreibung der Überlebenszeit wurde die Analyse nach Kaplan und Meier durchgeführt (Kaplan and Meier, 1958). Diese beschreibt die Überlebenszeit der Implantate über den gesamten Studienverlauf.

Die statistische Auswertung wurden in Zusammenarbeit mit der Abteilung Statistik und Methodik der Klinik und Poliklinik für Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf (Institutionsdirektor: Prof. Dr. Dr. Martin Gosau) erstellt.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv ist aus dem Patientenstamm der Praxis Dentalmedizin Hamburg, Zahnarztpraxis und Oralchirurgie, Rutschbahn 41, 20146 Hamburg, rekrutiert worden.

#### 3.1.1 Patientendropouts

Im Verlauf der Studie kam es zu keinem Ausschluss von Patienten. Es hat kein eingewilligter Patient nachträglich der Nutzung seiner Daten widersprochen.

#### 3.1.2 Finale Patientenzahl und Untersuchungszeitraum

Insgesamt wurden in dieser Studie 20 Patienten mit 28 gesetzten Implantaten untersucht. Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich von April 2022 bis Oktober 2024.

#### 3.1.3 Alters- und Geschlechtsverteilung

Die Gruppe setzt sich aus 12 Männern (60 %) und 8 Frauen (40 %) zusammen. Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der Operation betrug  $56 \pm 8,5$  Jahre (Minimum: 42 Jahre, Maximum: 73 Jahre).

## 3.2 Deskriptive Statistik

### 3.2.1 Residualknochenhöhe

Die Residualknochenhöhe umfasste Werte von 1 bis 7 mm und betrug im Mittel  $4,4 \pm 1,7$  mm. In Tabelle 5 sind die Häufigkeiten der Residualknochen in drei Gruppen aufgeteilt und dargestellt. In Tabelle 9 können die einzelnen Residualknochenhöhen sowie die dazugehörigen ISQ-Werte abgelesen werden.

Tabelle 5: Häufigkeiten der Residualknochenhöhe aufgeteilt in 3 Gruppen

Residualknochen in mm	Häufigkeit (in Prozent)
$\leq 3$ mm	8 (28,6)
3-6 mm	16 (57,1)
$> 6$ mm	4 (14,3)
Gesamt	28 (100)

### 3.2.2 Implantatbezogene Daten

Insgesamt wurden 28 Implantate gesetzt. Davon waren 13 Implantate des Typs Camlog Conelog Progressive Line und 15 des Typs Camlog Conelog Screw Line. Die am häufigsten verwendete Implantatlänge betrug 11 mm, der am häufigsten verwendete Durchmesser betrug 5 mm. Es wurden keine Sofortimplantationen im eigentlichen Sinne durchgeführt, lediglich eine Implantation erfolgte nach direkter Entfernung eines persistierenden Milchzahnes, dessen Wurzeln vollständig resorbiert waren. Eine Übersicht über die implantatbezogenen Daten zeigt Tabelle 6.

Tabelle 6: Übersicht über die implantatbezogenen Daten

	Häufigkeit (in Prozent)	
Durchmesser in mm		
	4,3	10 (35,7)
	5,0	18 (64,3)
Länge in mm		
	11	27 (96,4)
	13	1 (3,6)
Implantattyp		
	Progressive Line	13 (46,4)
	Screw Line	15 (53,6)
Gesamt		28 (100)

### 3.2.3 Implantationsregionen und -anzahl

Zwölf Eingriffe wurden auf der rechten Seite durchgeführt, sechs auf der linken Seite und bei zwei Patienten wurde beidseits operiert. Am häufigsten wurde in den Regionen 26 (46,4 %) und 16 (21,4 %) implantiert. In den meisten Fällen erhielten die Patienten ein Implantat (70 %), in einem Fall erhielt ein Patient vier Implantate. Eine Übersicht über die Häufigkeiten der Implantationsregionen zeigt Tabelle 7.

Tabelle 7: Übersicht über die Implantationsregionen (n=28)

Regio	Häufigkeit (in Prozent)
14	1 (3,6)
15	2 (7,1)
16	6 (21,4)
17	1 (3,6)
24	1 (3,6)
25	2 (7,1)
26	13 (46,4)
27	2 (7,1)
<b>Gesamt</b>	<b>28 (100)</b>

### 3.2.4 Bukkopalatinaler Distanz des Sinus maxillaris und Anwesenheit von Nachbarzähnen oder Implantaten

Die in den präoperativen DVT gemessene mittlere bukkopalatinale Distanz auf Höhe des zu erwartenden Implantatapex betrug  $13,7 \pm 3,2$  mm (Abb. 17). Die geringste Distanz betrug 9 mm und die weiteste Distanz betrug 22 mm. In 5 Fällen (17,9 %) gab es keine benachbarten Zähne oder Implantate, in 13 Fällen (46,4 %) gab es einen Nachbarzahn oder Implantat und in 10 Fällen (35,7 %) handelte es sich um eine Schalllücke mit zwei Nachbarzähnen oder Implantaten.

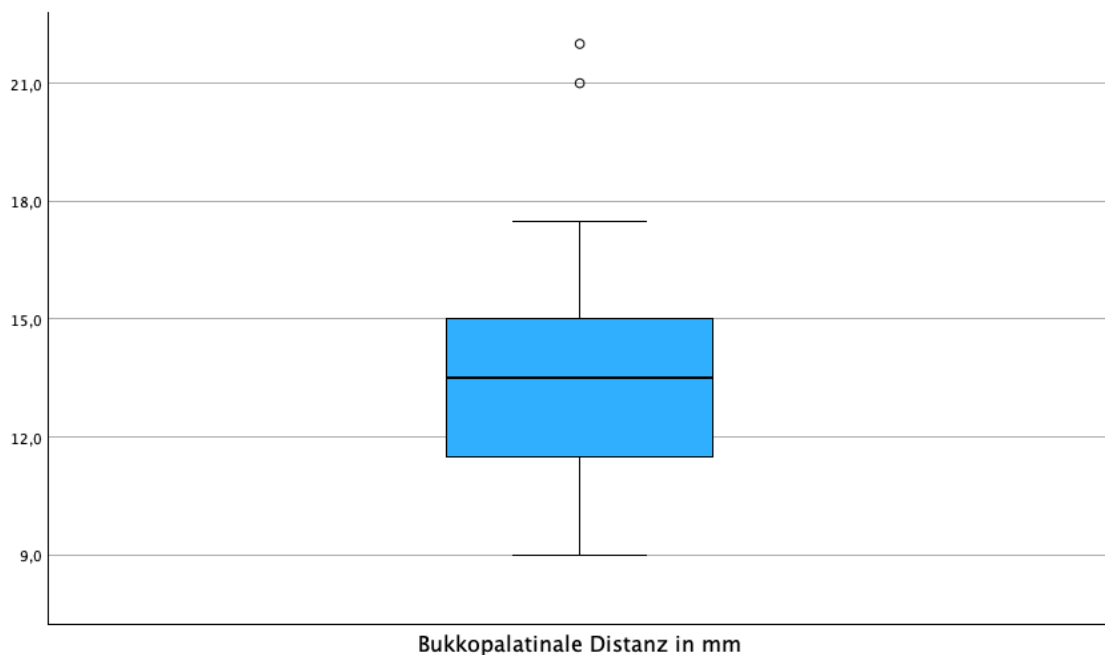


Abbildung 17: Darstellung der bukkopalatalen Distanzen auf Höhe des geplanten Implantatapex in mm

### 3.2.5 Chirurgische Besonderheiten und Perforationen der Schneiderschen Membran

#### 3.2.5.1 *Intraoperative Komplikationen*

Intraoperative chirurgische Komplikationen wie Perforationen und Blutungen sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die Perforationen waren in jedem Fall zum Zeitpunkt der Elevation mit Handinstrumenten und konnten mit einer Kollagenmembran (Bio-Gide, Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Schweiz) rekonstruiert werden, so dass eine Implantation mit Sinuslift erfolgen konnte. In einem Fall zeigte sich eine intraoperative Blutung, die durch Elektrokoagulation gestillt werden konnte.

Tabelle 8: Übersicht über die intraoperativen Komplikationen

Komplikationen pro Implantat	Häufigkeit (in Prozent)
keine Komplikation	23 (82,1)
Perforation > 2 mm	2 (7,1)
Perforation < 2 mm	2 (7,1)
Intraoperative Blutung	1 (3,6)
Gesamt	28

#### 3.2.5.2 *Postoperative Komplikationen*

In keinem Fall zeigten sich postoperativ sinusitische Zeichen. Ein Implantat zeigte 4 Wochen postoperativ eine Schleimhautdehiszenz über der Abdeckschraube des Implantates. Daraufhin wurde die Einheitschraube verfrüht gegen einen Gingivaformer getauscht. Die weitere Einheilung stellte sich als komplikationsfrei dar.

Ein Implantat ging verloren durch eine zu frühe Belastung. Nach einer Einheilzeit von 3 Monaten (92 Tagen) und einem intraoperativen Ausgangswert des ISQ von 32,5 bei geringem Residualknochen von 1 mm zeigte sich nach Freilegung ein ISQ von 44. Im Rahmen einer Gerüstanprobe verklemmte sich das Abutment im Implantat. Durch starke Krafteinwirkung zur Lösung des Abutments, löste sich auch das Implantat. Klinisch stellte sich das Implantatbett jedoch bereits als verknöchert dar. Nach drei Monaten wurde erneut implantiert, wobei zusätzlich ein interner Sinuslift durchgeführt wurde. Das neu gesetzte Implantat ist bereits erfolgreich prothetisch versorgt, wurde allerdings nicht in die Ergebnisse dieser Studie integriert.

### 3.2.6 Resonanzfrequenzanalyse

Der ISQ betrug zum Zeitpunkt der Implantation im Mittel  $53,1 \pm 16,8$ . Der geringste Wert betrug 3,5, der höchste 79,5 (Abb. 18). Zum Zeitpunkt der zweiten Messung (nach Freilegung) betrug der ISQ im Mittel  $66,9 \pm 9,6$ . Der geringste Wert betrug hier 44,0 und der höchste 85,0. Im Mittel betrug der Zeitraum zwischen den Messungen  $4 \pm 1,1$  Monate. Der kürzeste Zeitraum betrug 2,3 Monate, der längste Zeitraum betrug 6,5 Monate.

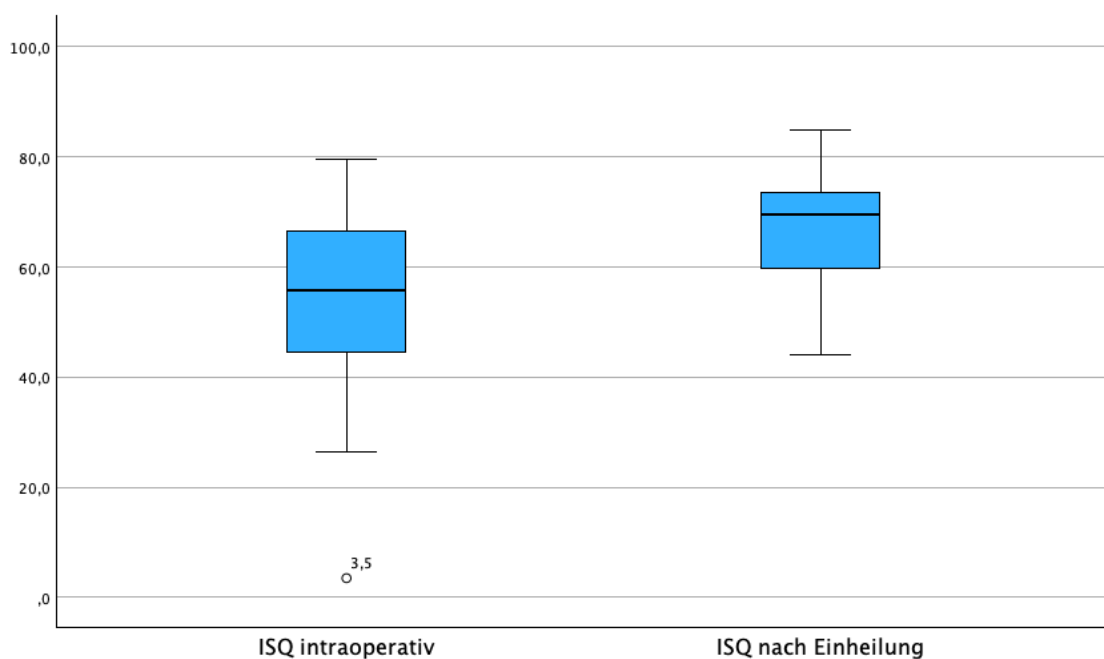


Abbildung 18: Boxplot zur Darstellung des ISQ aller untersuchten Implantate (n=28)

Tabelle 9 zeigt den Zusammenhang zwischen ISQ und Residualknochenhöhe einerseits und die Anstiege des ISQ intraoperativ zu postoperativ.

Tabelle 9: Zusammenhang zwischen ISQ und Residualknochenhöhe

Residualknochen in mm	ISQ intraoperativ	ISQ nach Einheilung
1	46,5	63,5
1	32,5	44
2	56,5	72
2,5	3,5	59,5
2,5	55,5	60
2,5	26,5	52
3	55	75,5
3	42	71,5
4	49	76,5
4	67,5	70
4	61,5	65,5
4,5	54	57
4,5	56	74,5
4,5	58,5	67
5	42,5	69
5	48,5	47
5	58	74
5	52,5	56,5
5	66	77,5
5,5	67	68,5
5,5	69,5	73
6	30	85
6	67	71
6	75,5	59
6,5	60,5	71,5
6,5	72	75,5
7	79,5	72,5
7	34,5	65,5

Teilt man die Implantate nach Residualknochen in drei Gruppen ein, zeigt sich folgendes Bild: In den Fällen mit Residualknochen bis zu 3 mm (n=8) betrug der Mittelwert des ISQ  $39,8 \pm 18,3$ , der geringste Wert betrug 3,5 und der Maximalwert 56,5 zum Zeitpunkt der Implantation (Abb. 19). Zwischen 3,5 und 6 mm (n=16) zeigte sich im Mittel ein ISQ von  $57,7 \pm 11,6$ , der geringste intraoperative Wert war 30 und der Maximalwert 75,5. In den Fällen mit Residualknochen über 6 mm (n=4) zeigte sich ein Mittelwert über  $61,6 \pm 19,7$  sowie ein Minimalwert von 34,5 und ein Maximalwert von 79,5.

Nach Einheilung betrug der Mittelwert des ISQ in der Gruppe mit Residualknochen bis zu 3 mm  $62,3 \pm 10,7$ , der geringste Wert betrug 44 und der Maximalwert 75,5. Zwischen 3,5 und 6 mm Restknochen zeigte sich im Mittel ein ISQ von  $68,2 \pm 9,5$ , der geringste intraoperative Wert war 47 und der Maximalwert 85. In den Fällen mit Residualknochen

über 6 mm zeigte sich ein Mittelwert über  $71,3 \pm 4,2$  sowie ein Minimalwert von 65,5 und ein Maximalwert von 75,5.

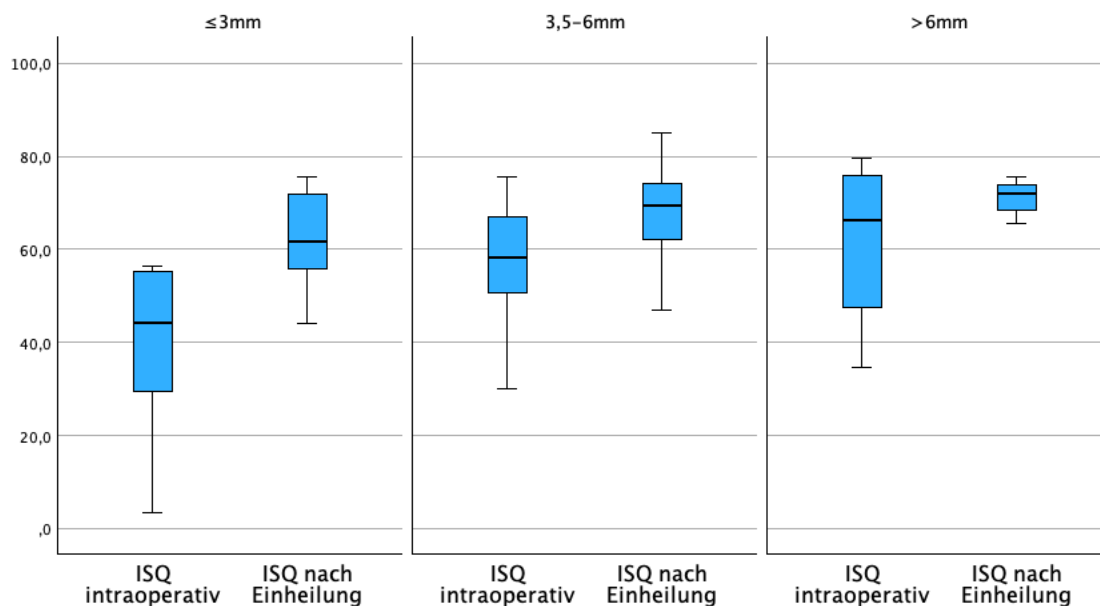


Abbildung 19: Boxplot zur Darstellung des ISQ, aufgeteilt nach Residualknochen (n=28 Implantate)

### 3.2.7 Insertions-Torque

Im Mittel betrug das Insertionsdrehmoment  $22,6 \pm 7,3$  Ncm. Der geringste Insertions-Torque war 5 Ncm, der höchste Insertions-Torque betrug 32 Ncm. Die Verteilung der Drehmomente sind in Abbildung 20 dargestellt.

In der Gruppe bis zu einschließlich 3 mm (n=8) betrug der Mittelwert  $19 \pm 8,3$  Ncm, der geringste Wert betrug 5 Ncm und der Maximalwert 30 Ncm. Zwischen 3,5 und 6 mm (n=16) zeigte sich ein mittlerer Insertions-Torque von  $24 \pm 5,8$  Ncm, der geringste Wert war 9 Ncm und der Maximalwert 32 Ncm. In den weiteren Fällen mit Residualknochen über 6 mm (n=4) zeigte sich ein Mittelwert von  $24,5 \pm 9,8$  Ncm, sowie ein Minimalwert von 10 Ncm und ein Maximalwert von 32 Ncm. Die Verteilung der Drehmomente aufgeteilt nach Residualknochen ist in Abbildung 21 dargestellt.

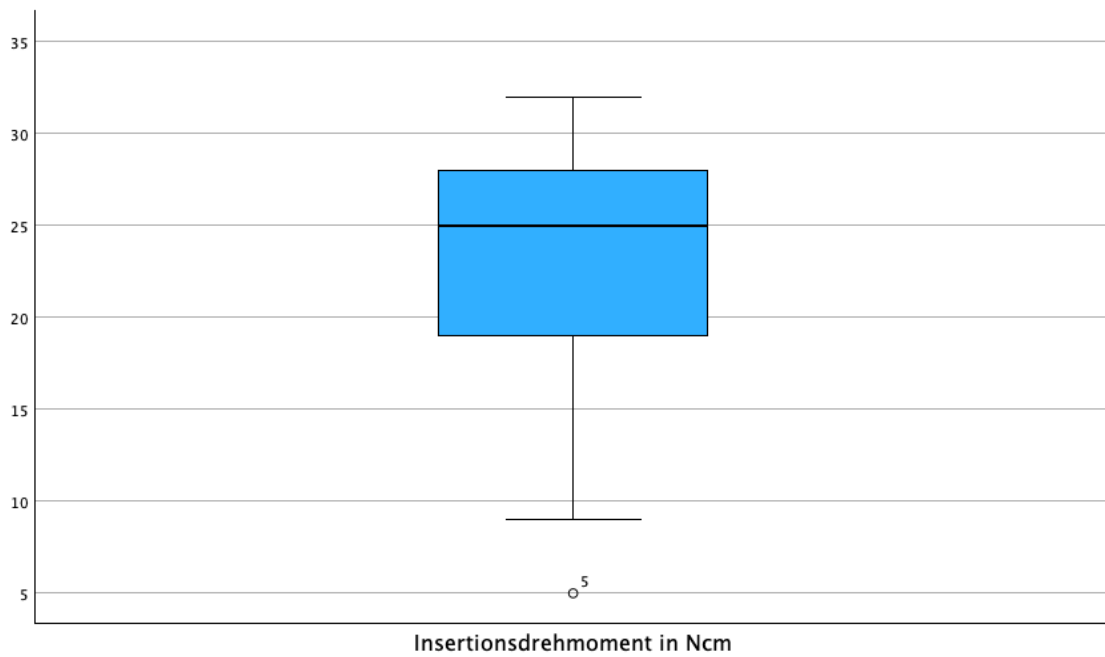


Abbildung 20: Darstellung des Insertions-Torque aller untersuchten Implantate (n=28 Implantate)

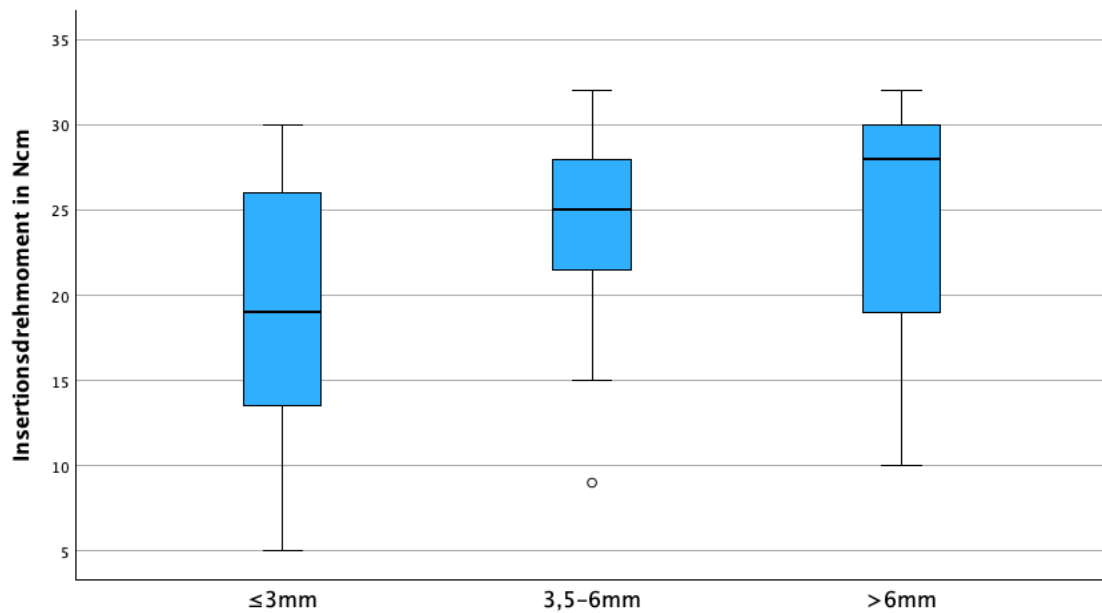


Abbildung 21: Darstellung des Insertions-Torque aufgeteilt nach Residualknochen (n=28 Implantate)

### 3.2.8 Zeitspanne bis zur Versorgung

Die prothetische Versorgung erfolgte im Mittel (n=27) ab Operationszeitpunkt nach 5,2  $\pm$  2,2 Monaten. Der früheste Zeitpunkt der prothetischen Versorgung war nach 3 Monaten, der längste Zeitraum betrug 12 Monate in einem Fall mit zwei Implantaten, da nach Implantation der Abschluss von kieferorthopädischen Maßnahmen vor Anfertigung des definitiven Zahnersatzes erfolgte.

### 3.3 Art der Versorgung

Kein Implantat wurde zwischenzeitlich provisorisch versorgt. Einundzwanzig der Implantate (75 %) wurden mit feststehendem definitivem Zahnersatz versorgt. Dabei wurden 17 dieser Einzelkronen zementiert auf individuell angefertigten Abutments und 4 okklusal verschraubt.

Sechs Implantate (21,5 %) wurden als Anker für herausnehmbaren Zahnersatz versorgt. Fünf Implantate (zwei Patienten) wurden hierfür mit Keramikteleskopen für eine Galvanoteleskopprothese versorgt, eins wurde mit einem Locator versorgt als Pfeilervermehrung unter einer bereits existierenden herausnehmbaren Prothese. Ein Implantat wurde nicht versorgt, da es vor prothetische Versorgung verloren ging, wie unter 3.3.4 beschrieben. Eine Übersicht über die prothetischen Versorgungs- und Befestigungsarten zeigt Tabelle 10.

Tabelle 10: Übersicht über die prothetischen Versorgungs- und Befestigungsarten

		Befestigungsart		
		verschraubt Anzahl (in Prozent)	zementiert Anzahl (in Prozent)	nicht versorgt Anzahl (in Prozent)
Versorgungsart	Einzelkrone	4 (14,3)	17 (60,7)	0
	Keramikteleskop	5 (17,9)	0	0
	Locator	1 (3,6)	0	0
	nicht versorgt	0	0	1 (3,6)

### 3.3.1 Prothetische Komplikationen

In dem untersuchten Zeitraum traten keine prothetischen Komplikationen auf.

### 3.3.2 Nachbeobachtungszeitraum

Der gesamte Beobachtungszeitraum in dieser Studie betrug zwischen Operation und 1-Jahreskontrolle im Mittel  $17,4 \pm 2,5$  Monate ( $n=27$ ) ab Operationszeitpunkt. Der kürzeste Zeitraum war 15 Monate, der längste Zeitraum betrug 25 Monate aufgrund der oben erwähnten kieferorthopädischen Behandlung einer Patientin. Nachfolgend ist die entsprechende grafische Darstellung in Abbildung 22 zu sehen.

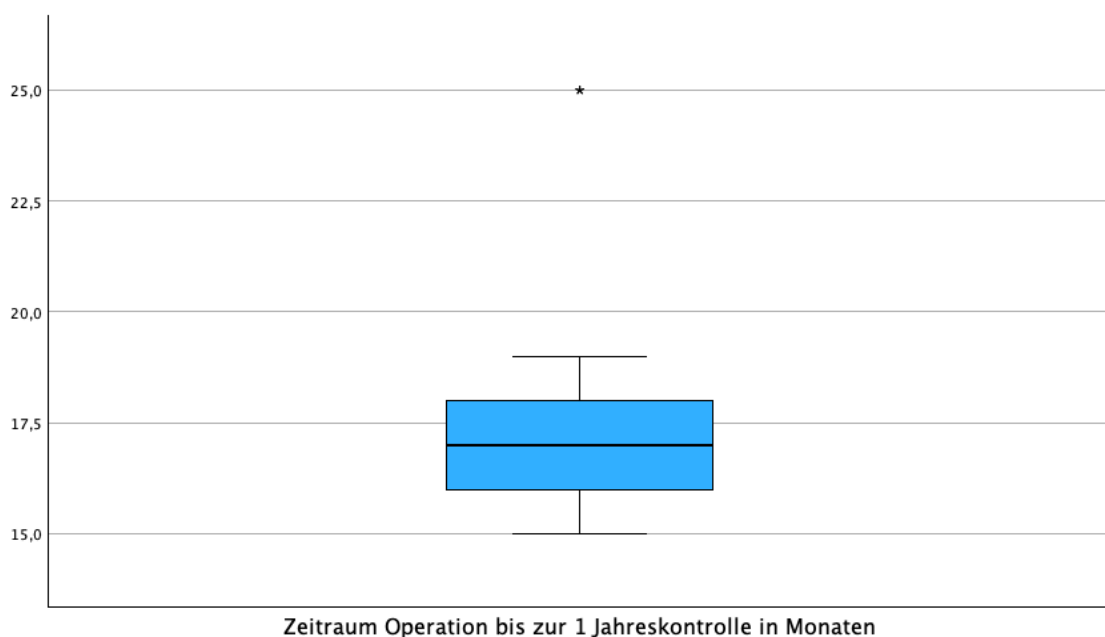


Abbildung 22: Boxplot zur Darstellung des gesamten Beobachtungszeitraums

Der Zeitraum zwischen prothetischer Versorgung und 1-Jahreskontrolle betrug im Mittel  $11,8 \pm 0,8$  Monate. Der geringste Zeitraum betrug 11 Monate und der längste Zeitraum betrug 14 Monate aufgrund eines längeren Auslandsaufenthaltes eines Patienten. Eine grafische Darstellung dieses Zeitraums ist in Abbildung 23 zu sehen.

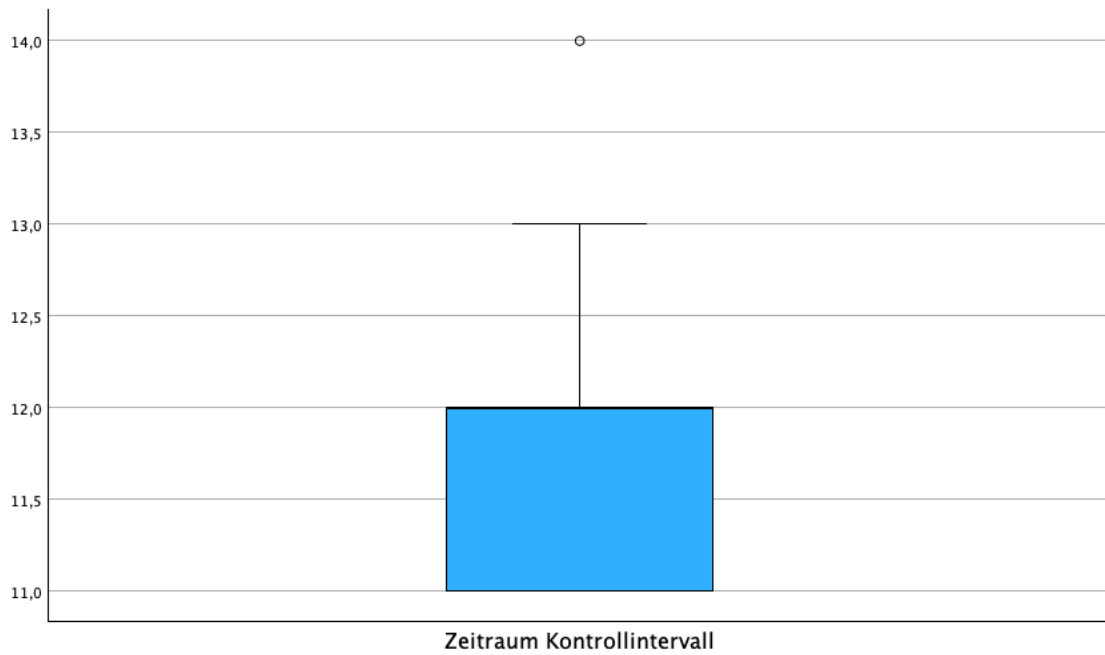


Abbildung 23: Boxplot zur Darstellung des Zeitraums zwischen prothetischer Versorgung und 1-Jahreskontrolle

### 3.4 Hygieneindizes

#### 3.4.1 PSI

Im Rahmen der Ausgangsuntersuchung nach prothetischer Versorgung der Implantate und im Rahmen der 1-Jahreskontrolle wurde bei allen Patienten der PSI erhoben. Die entsprechenden Häufigkeiten sind in den unten dargestellten Tabellen aufgeführt. Tabelle 11 zeigt die die Häufigkeiten des PSI Codes je Patient und Tabelle 12 zeigt die Häufigkeiten des PSI Codes je Implantat.

Tabelle 11: PSI Code bei n=19 Patienten

PSI Code	Häufigkeiten zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung (in Prozent)	Häufigkeiten zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle (in Prozent)
0	0	0
1	0	0
2	2 (10,5)	2 (10,5)
3	9 (47,4)	10 (52,6)
4	8 (42,1)	7 (36,8)
<b>Gesamt</b>	<b>19 (100)</b>	<b>19 (100)</b>

Tabelle 12: PSI Code bei n=27 Implantaten

PSI Code	Häufigkeiten zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung (in Prozent)	Häufigkeiten zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle (in Prozent)
0	0	0
1	0	0
2	3 (11,1)	3 (11,1)
3	13 (48,1)	12 (44,4)
4	11 (40,7)	12 (44,4)
Gesamt	27 (100)	27 (100)

#### 3.4.2 API

Zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung betrug der API im Mittel  $42,75 \pm 20$  % bei n=19 Patienten. Dabei zeigte sich ein minimaler Wert von 10 %, sowie ein maximaler Wert von 100 % bei einem Patienten mit geringem Restzahnbestand von 4 Zähnen im Unterkiefer. Im Rahmen der Kontrolluntersuchung nach einem Jahr zeigte sich bei n=19 ein mittlerer API von  $44,71 \pm 20,62$  %. Der geringste Wert betrug 15 % und der höchste Wert betrug 100 %, wobei es sich um den Patienten mit geringen Restzahnbestand im Unterkiefer handelte.

#### 3.4.3 PBI

Zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung betrug der PBI im Mittel  $50,7 \pm 20,7$  % bei n=19 Patienten. Dabei zeigte sich ein minimaler Wert von 15 %, sowie ein maximaler Wert von 87 % bei einem Patienten mit geringem Restzahnbestand.

Zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle betrug der PBI im Mittel  $48,5 \pm 23,1$  % bei n=19 Patienten. Dabei zeigte sich ein minimaler Wert von 10 %, sowie ein maximaler Wert von 94,4 % dem oben erwähnten Patienten mit geringen Restzahnbestand.

#### 3.4.4 Sondierungstiefen und BOP

Durch die Sechspunktmessung an den Implantaten zeigten sich zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung Sondierungstiefen zwischen 1 und 4 mm. Im Mittel betragen die Sondierungstiefen  $2,9 \pm 0,5$  mm.

Im Rahmen der 1-Jahreskontrolle zeigten sich im Rahmen der Sechspunktmessung an den Implantaten Sondierungstiefen zwischen 2 und 5 mm. Im Mittel betragen die Sondierungstiefen  $3,1 \pm 0,6$  mm.

Im Rahmen der Ausgangsuntersuchung mit prothetischer Versorgung zeigte sich in 23 Fällen (85,2 %) keine Blutung auf Sondierung und in 4 Fällen (14,8 %) eine geringe Blutung. Es zeigte sich kein Pusaustritt.

Im Rahmen der 1-Jahreskontrolle zeigte sich in 9 Fällen (33,3 %) keine Blutung auf Sondierung und in 18 Fällen (66,7 %) eine geringe Blutung auf Sondierung. Es zeigte sich in keinem Fall eine stärkere Blutung oder Pusaustritt.

#### 3.5 Pink Esthetic Score

Für die Aufnahme des Pink Esthetic Score wurden die Implantate ausgeschlossen, welche mit einem Locator oder einer Keramikteleskopkrone versorgt wurden. Bei den bewerteten 21 Implantaten an 16 Patienten zeigte sich zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung ein mittlerer PES von  $8,1 \pm 2,9$ . Der niedrigste Wert betrug 4 und der höchste Wert betrug 12. Zum zweiten Bewertungszeitpunkt nach einem Jahr zeigte sich ein mittlerer PES von  $8,9 \pm 2,9$ . Der niedrigste Wert betrug 4 und der höchste Wert betrug 13. Unten dargestellt ist in Tabelle 13 und 14 die Häufigkeiten der Ausprägungen des PES zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung und zur 1-Jahreskontrolle. In Tabelle 14 wurde diese Übersicht auf Patientenebene und in Tabelle 15 auf Implantatebene dargestellt.

Tabelle 13: Übersicht über die Häufigkeiten des PES bei n=16 Patienten

PES	Häufigkeiten zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung (in Prozent)	Häufigkeiten zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle (in Prozent)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	1 (6,3)	1 (6,3)
5	3 (18,8)	2 (12,5)
6	3 (18,8)	1 (6,3)
7	1 (6,3)	1 (6,3)
8	0	2 (12,5)
9	2 (12,5)	2 (12,5)
10	1 (6,3)	1 (6,3)
11	2 (12,5)	1 (6,3)
12	3 (18,8)	2 (12,5)
13	0	3 (18,8)
14	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>16 (100)</b>	<b>16 (100)</b>

Tabelle 14: Übersicht über die Häufigkeiten des PES n=21 Implantaten

PES	Häufigkeiten zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung (in Prozent)	Häufigkeiten zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle (in Prozent)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	2 (9,5)	1 (4,8)
5	3 (14,3)	3 (14,3)
6	4 (19)	2 (9,5)
7	1 (4,8)	1 (4,8)
8	1 (4,8)	1 (4,8)
9	3 (14,3)	4 (19)
10	0	2 (9,5)
11	4 (19)	2 (9,5)
12	3 (14,3)	2 (9,5)
13	0	3 (14,3)
14	0	0
Gesamt	21 (100)	21 (100)

### 3.6 Fragebogen

#### 3.6.1 Fragebogen 1

Der post-OP ausgefüllte Fragebogen erfragte das subjektive Empfinden der Patienten während der Operation und den anschließenden Heilungsverlauf (siehe Anhang 10.1).

Bei n=20 Patienten werteten 85 % der Patienten die Aussage „Die Operation war insgesamt gut zu ertragen.“ mit „trifft voll zu“ und 15 % mit „trifft eher zu“. Ähnliche Ergebnisse erhielten die Aussagen „Ich wurde im Vorgespräch gut über den Eingriff aufgeklärt und vorbereitet.“, „Der Verlauf der Operation entsprach meinen Vorstellungen.“, „Während der Operation habe ich keine Schmerzen gespürt.“ und „Der Eingriff war insgesamt gut zu ertragen.“.

Bei der Aussage „Der Verlauf nach der Operation entsprach meinen Vorstellungen.“ stimmten 55 % voll zu, 30 % werteten es mit trifft eher zu und die weiteren 10 % stimmten für trifft eher nicht zu und 5 % enthielten sich.

60 % der Befragten empfanden die Aussage „Ich hatte starke Schmerzen in den Tagen nach der Operation.“ als nichtzutreffend, 20 % als eher nicht zu treffend, 5 % weder noch und die restlichen 15 % empfanden die Aussage als eher zutreffend bis voll zutreffend.

Die Aussage „Ich hatte eine starke Schwellung in den Tagen nach der Operation.“ und „Ich war durch die angeratenen Verhaltensmaßnahmen im Alltag stark eingeschränkt.“ wurden von 60 % bzw. 70 % als nichtzutreffend oder eher nichtzutreffend beschrieben. 35 % bzw. 20 % stimmten der Aussage voll oder eher zu. 5 % enthielten sich bei beiden Aussagen mit einer Wertung.

#### 3.6.2 Fragebogen 2

Der zweite Fragebogen wurde im Rahmen der 1-Jahresuntersuchung von den Patienten (n=19) ausgefüllt und bezieht sich auf die prothetische Versorgung und die veränderte und erreichte Lebensqualität (siehe Anhang 10.2).

Den Aussagen „Ich bin zufrieden mit dem neuen Zahnersatz auf den Implantaten.“, „Der Tragekomfort des neuen Zahnersatzes ist sehr hoch.“, „Ich spreche mit anderen positiv über meine Erfahrung mit den neuen Zahnimplantaten.“, „Ich würde mich nochmal für eine Implantatversorgung entscheiden.“, „Ich denke, dass das Implantat eine dauerhafte Lösung für mich ist.“, „Ich würde diese Versorgung weiterempfehlen.“, „Die Implantatversorgung hat meine Erwartungen erfüllt.“ und „Ich gehe regelmäßig zur Implantatkontrolle und Prophylaxe.“ wurde von mehr als 90 % der Befragten zugestimmt.

Die Aussagen „Die Geschmacksempfindung hat sich mit der neuen Versorgung geändert.“, „Ich hatte ein Fremdkörpergefühl bei der früheren Versorgung.“, „Ich habe mit der neuen Implantatversorgung ein Fremdkörpergefühl.“ und „Ich habe es bereut, mir das Implantat setzen zu lassen.“ wurden von mehr als 90 % der Befragten abgelehnt.

„Die Kaufähigkeit hat sich durch das Implantat verändert.“ wurde von 36,8 % der Befragten als zutreffend angegeben, während 47,3 % die Aussage als nichtzutreffend bewerteten. 5,3 % bewerteten sie als eher nichtzutreffend und 10,5 % enthielten sich mit weder noch.

Die Aussage „Ich habe Probleme mit dem implantatgetragenen Zahnersatz.“ wurde von 10,5 % der Befragten als zu treffend beschrieben, 84,2 % lehnten diese Aussage ab und 5,3 % fanden die Aussage als eher nicht zu treffend.

Jeweils 26,3 % bewerteten die Aussage „Mir gefällt das Aussehen der neuen Versorgung besser als die Vorherige.“ mit voll zu treffend oder trifft eher zu. 47,4 % gaben an, dass weder die vorherige noch die neue Versorgung ihnen besser gefallen habe.

26,3 % bzw. 21,1 % bewerteten die Aussage „Mein Selbstbewusstsein hat sich durch die neue Versorgung geändert.“ mit voll zutreffend bzw. eher zutreffend. 36,8 % enthielten sich mit weder noch und 15,8 % gaben an, dass sich ihr Selbstbewusstsein durch die Versorgung nicht verändert habe.

57,9 % bzw. 15,8 % lehnten die Aussage „Ich musste meine Speisewahl aufgrund der vorherigen Versorgung einschränken.“ voll ab bzw. eher ab. 10,5 % bewerteten die Aussage mit weder noch und 15,8 % fanden die Aussage voll zu treffend.

Die Aussage „Ich traue mich seit der Implantatversorgung öfter, mich in der Öffentlichkeit zu äußern.“ bewerteten 21,1 % als voll zutreffend und 5,3 % als eher zutreffend. 21,1 % gaben an, dass die Aussage weder zutreffe noch abzulehnen sei und 5,3 % bzw. 47,4 % lehnten die Aussage eher, bzw. voll ab.

### 3.7 Analyse der apikalen und krestalen Knochenverhältnisse

In dieser Studie wurde sowohl das apikale als auch das krestale Knochniveau gemessen. Zur Bestimmung des krestalen Knochens wurden die DIB Werte ermittelt. Es wurden die postoperativen Röntgenbilder, sowie die Röntgenbilder zum Zeitpunkt der Freilegung und der 1-Jahreskontrolle ausgewertet. Berechnet wurde die Differenz aus Knochniveau zum Implantationszeitpunkt und ein Jahr nach Versorgung mit Zahnersatz. Im Mittel betrug der Gewinn an apikalem Knochen  $5,1 \pm 2,1$  mm bei einer mittleren Beobachtungsdauer von  $17,4 \pm 2,5$  Monaten. Dieser Zeitraum setzt sich zusammen aus der Einheilzeit, dem Zeitraum bis zur prothetischen Versorgung und dem Nachbeobachtungszeitraum von einem Jahr nach prothetischer Versorgung. Maximal konnte 8,5 mm Knochen gewonnen werden, am wenigsten Knochen wurde in einem Fall mit 1,3 mm gewonnen.

Krestal betrug die Differenz im Mittel  $0,3 \pm 0,4$  mm Verlust über die mittlere gesamte Beobachtungsdauer von  $17,4 \pm 2,5$  Monaten. In einigen Fällen wurden die Implantate subkrestal platziert, wodurch ein negativer DIB Wert zu verzeichnen war. Im Maximum gingen 1,25 mm verloren.

### 3.7.1 Analyse des apikalen Knochenzugewinns

Um Rückschlüsse auf einen Zusammenhang zwischen Residualknochenhöhe und apikalen Knochenzugewinn machen zu können, wurde eine lineare Regression durchgeführt. Es zeigte sich, dass bei einer Residualknochenhöhe von 2 mm ein statisch ermittelter apikaler Knochenzugewinn von 6,4 mm (Koinfidenzintervall (KI) 95 % [4,944; 7,896]) zu erwarten ist. Mit jedem weiteren Millimeter mehr Residualknochen sinkt der zu erwartende apikale Knochenzugewinn um 0,5 mm (KI 95 % [-1,016; -0,031]). Diese lineare Regression ist statistisch signifikant mit  $p = 0,038$ . In Abb. 24 sind für weitere Residualknochenhöhen der zu erwartenden apikale Knochenzugewinn unter Berücksichtigung des Standardfehler der Vorhersage angegeben.

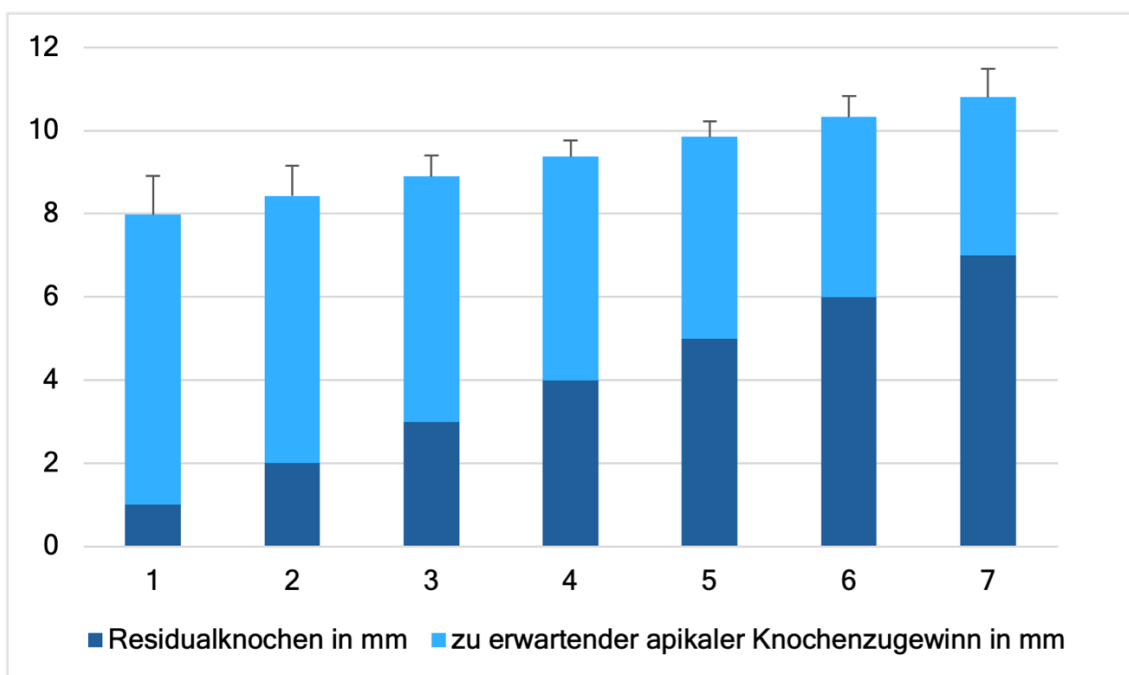


Abbildung 24: Darstellung des statistisch ermittelten apikalen Knochenzugewinns anhand der Residualknochenhöhe

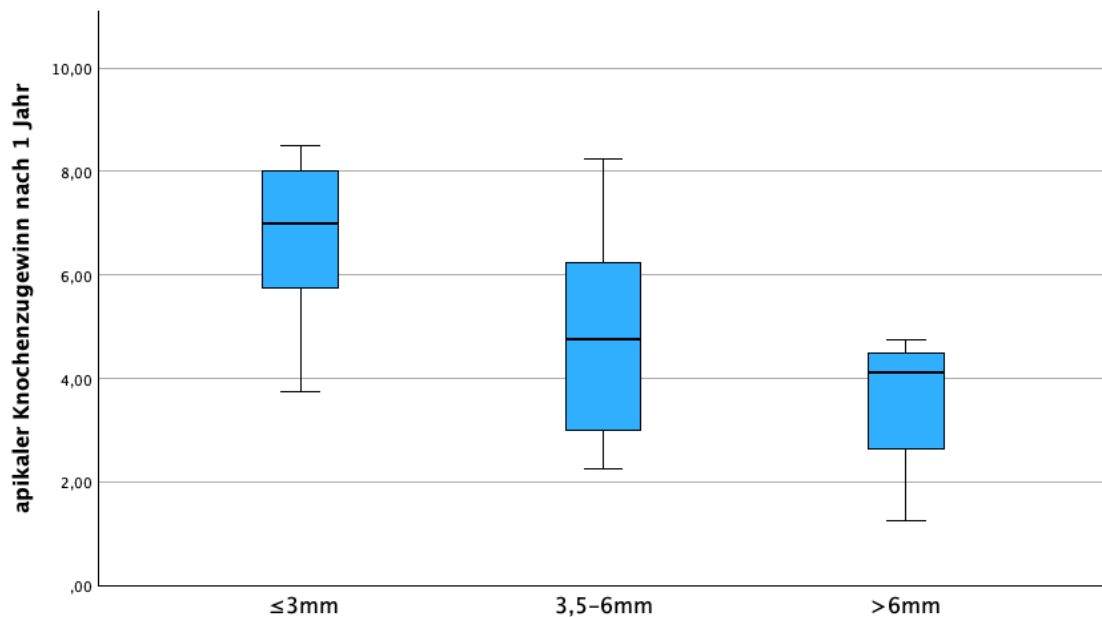


Abbildung 25: Darstellung des apikalen Knochenzugewinns aufgeteilt nach Residualknochen (n=27 Implantate)

Abb. 25 verdeutlicht den Zusammenhang des apikalen Knochenzugewinns mit dem vorhandenen Residualknochen. Aufgeteilt in die bereits verwendeten Gruppen nach Residualknochenhöhe zeigte sich in der ersten Gruppe mit Residualknochen bis zu 3 mm (n=7) ein mittlerer apikaler Knochenzugewinn von  $6,7 \pm 1,8$  mm. In der Gruppe von 3,5-6 mm (n=16) zeigte sich ein mittlerer apikaler Knochenzugewinn von  $4,8 \pm 2,0$  mm. Und in der Gruppe über 6 mm Residualknochen (n=4) zeigte sich ein mittlerer apikaler Knochenzugewinn von  $3,6 \pm 1,6$  mm.

### 3.7.2 Analyse der krestalen Knochenverhältnisse

Die gleiche Analyse wurde anhand der krestalen Knochenverhältnisse mit dem Residualknochen durchgeführt.

Abb. 26 zeigt den krestalen Knochenverlust aufgeteilt in die Gruppen der Residualknochenhöhe. Der mittlere krestale Knochenverlust in der ersten Gruppe beträgt  $0,6 \pm 0,3$  mm. In der zweiten Gruppe beträgt der mittlere krestale Knochenverlust  $0,2 \pm 0,3$  mm und in der dritten Gruppe  $0,3 \pm 0,7$  mm. Obgleich mit höherer Residualknochenhöhe in dieser Studie ein geringfügig erhöhter krestaler Knochenverlust assoziiert war, ist dies jedoch nicht statistisch relevant. Im Rahmen der linearen Regression zeigte sich keine signifikante Abhängigkeit des krestalen Knochenverlustes von der Residualknochenhöhe bei  $p=0,408$ .

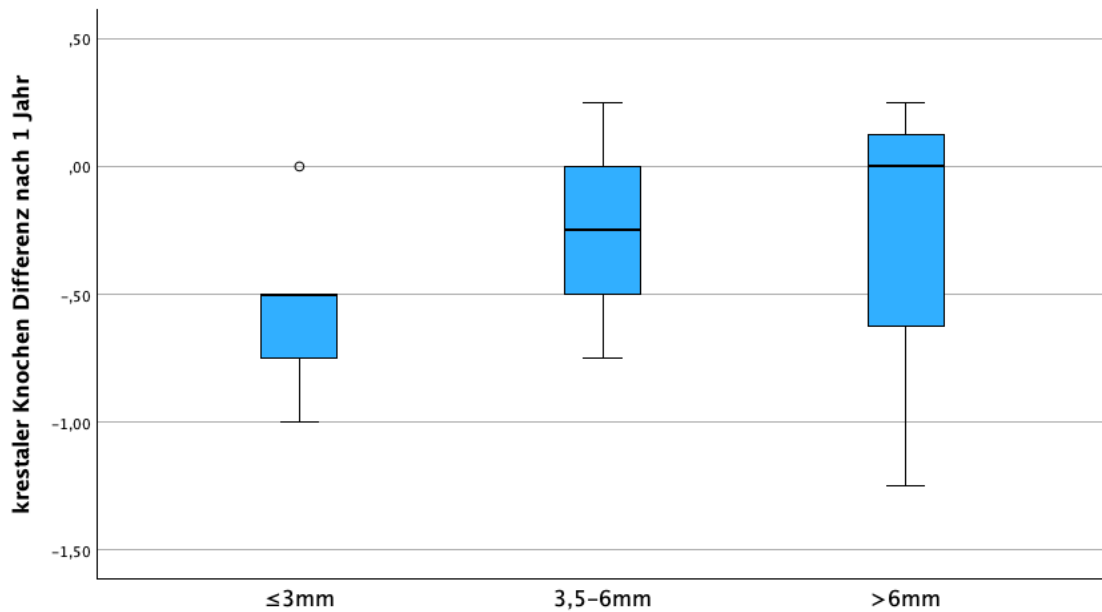


Abbildung 26: Darstellung des krestalen Knochenverlusts gruppiert nach Residualknochen (n=27 Implantate)

### 3.8 Analyse der Resonanzfrequenzanalyse

Die Messwerte der Resonanzfrequenzanalyse wurden durch einen verbundenen t-Test auf statistisch signifikante Differenz oder Korrelation überprüft. Der ISQ zum Zeitpunkt der Implantation und zum Zeitpunkt der Einheilung warden stark signifikant different positiv mit  $p < 0,001$ . Dabei betrug die Zunahme zwischen Implantation und Einheilung im Mittel 13,8 (KI 95 % [20,1; 7,5]). Zusätzlich wurde eine Regressionsanalyse durchgeführt, zu überprüfen die Größe der Zunahme des ISQ vom ausgehenden Residualknochen abhängig ist. Es zeigte sich, bei einem Residualknochen von 2 mm mit einer statistisch ermittelten Zunahme des ISQ von 19,7 (KI 95 % [8,6; 30,7]). Bei 6 mm liegt die statistisch ermittelte Zunahme nur noch bei 10 (KI 95 % [1,4; 18,6]). Diese Regressionsanalyse stellte sich als statistisch signifikant dar ( $p=0,009$ ). In Abbildung 27 in die statistische ermittelte Zunahme des ISQ je Residualknochenhöhe dargestellt.

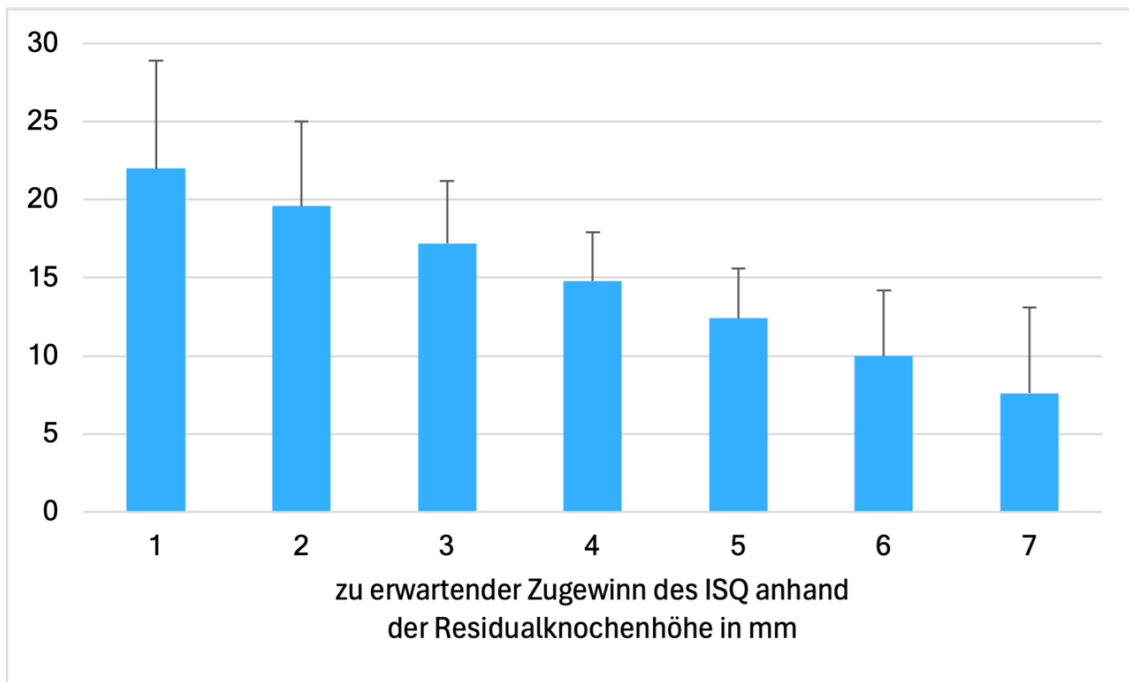


Abbildung 27: Darstellung der Abhängigkeit der Zunahme des ISQ von der ausgehenden Residualknochenhöhe

### 3.9 Analyse der Hygieneindices

Die aufgenommenen Hygieneindices wurden mit einem verbundenen t-Test auf statistisch signifikante Differenz oder Korrelation zwischen den Werten der Untersuchung zur prothetischen Versorgung und zur 1-Jahreskontrolle überprüft. Diese waren für die Sondierungstiefen mit  $p=0,327$  nicht signifikant. Für den PBI zeigte sich eine signifikante Korrelation der Werte mit  $p<0,001$ . Das gleiche gilt für den API mit  $p<0,001$  und den PSI mit  $p<0,001$ . Blutung auf Sondierung war mit  $p<0,001$  signifikant unterschiedlich.

### 3.10 Erfolgsstatistik nach Misch

Insgesamt konnten 27 Implantate (96,4 %) nach der vorgeschlagenen Erfolgsskala nach Misch et al. (2008) der Gruppe I zugeordnet werden bei einer mittleren Nachbeobachtungszeit von 12,3 Monaten. Gruppe I ist als Erfolg definiert. Ein Implantat (3,6 %) ist verloren gegangen und wurde dementsprechend der Gruppe IV (Misserfolg) zugeordnet. Kein Implantat wurde der Gruppe II oder III zugeordnet.

Die Erfolgsrate lag daher bei 96,4 % nach 1 Jahr Nachbeobachtungszeit nach prothetischer Versorgung.

### 3.11 Analytische Statistik

Intra- und Interobserverreliabilitäten wurden für die Messungen des krestalen und apikalen Knochenniveaus und den Pink Esthetic Score bestimmt (Tabellen 15-18).

Die Berechnung der Reliabilitäten erfolgte in allen Fällen mit Cronbach's Alpha.

Tabelle 15: Darstellung der Intraobserverreliabilität des Pink Esthetic Score

		Cronbach's Alpha
Variable	Pink Esthetic Score zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung	0,931
	Pink Esthetic Score zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle	0,927

Tabelle 16: Darstellung der Interobserverreliabilität des Pink Esthetic Score

		Cronbach's Alpha
Variable	Pink Esthetic Score zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung	0,947
	Pink Esthetic Score zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle	0,959

Tabelle 17: Darstellung der Intraobserverreliabilität Auswertung der Röntgenbilder

		Cronbach's Alpha
Variable	Krestales Knochenniveau postoperativ	0,935
	Krestales Knochenniveau 1-Jahreskontrolle	0,977
	Apikales Knochenniveau postoperativ	0,996
	Apikales Knochenniveau 1-Jahreskontrolle	0,995

Tabelle 18: Darstellung der Interobserverreliabilitäten Auswertung der Röntgenbilder

		Cronbach's Alpha
Variable	Krestales Knochenniveau postoperativ	0,945
	Krestales Knochenniveau 1-Jahreskontrolle	0,951
	Apikales Knochenniveau postoperativ	0,996
	Apikales Knochenniveau 1-Jahreskontrolle	0,997

### 3.12 Überlebensstatistik

Zur Beschreibung des Implantatüberlebens wurde eine Analyse nach Kaplan-Meier durchgeführt (Kaplan and Meier, 1958). Nach 25 Monaten beträgt die geschätzte Überlebenszeit  $24,3 \pm 0,7$  Monate. Ein Implantat ging nach 4 Monaten durch nicht ausreichend eingehaltener Einheilzeit verloren und war nie prothetisch versorgt. Grafisch dargestellt ist dieser Analyse in Abbildung 28.

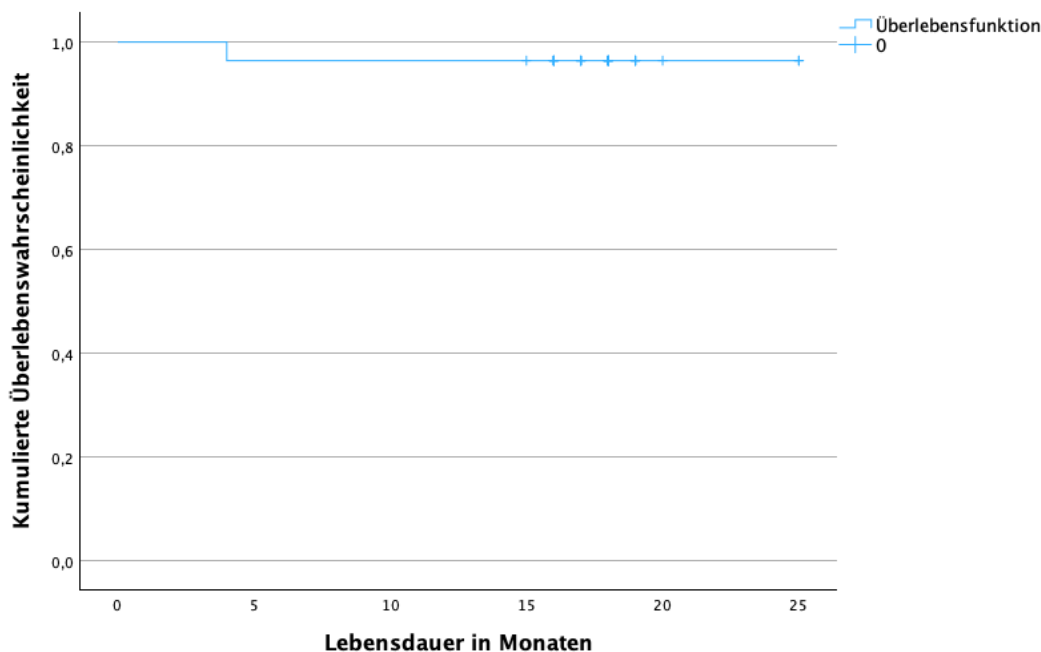


Abbildung 28: Darstellung des Implantatüberleben nach Kaplan und Meier (n=28 Implantate)

### 3.13 Signifikanztests

#### 3.13.1 Statistische Untersuchung beeinflussender Parameter auf den apikalen Knochenzugewinn

##### 3.13.1.1 Einfluss patientenbezogener Parameter auf den apikalen Knochenzugewinn

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang auf den apikalen Knochenzugewinn durch die Region ( $p=0,178$ ) und Alter ( $p=0,665$ ). Allerdings zeigte sich ein Hinweis auf einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Geschlecht und apikalen Knochenzugewinn ( $p=0,094$ ). Bei den männlichen Patienten zeigte sich mehr apikaler Knochenzugewinn als bei den weiblichen Patientinnen.

##### 3.13.1.2 Einfluss anatomischer Parameter auf den apikalen Knochenzugewinn

Der Residualknochen wies einen signifikanten Zusammenhang mit dem apikalen Knochenzugewinn auf ( $p=0,03$ ). In einem weiteren Test wurde untersucht, ob die bukkopalatinale Distanz auf Höhe des hinzugewonnenen Knochens und das

Vorhandensein von Nachbarzähnen (im Sinne eines Tinting Effektes) einen Einfluss auf den apikalen Knochenzugewinn hat unter Berücksichtigung des jeweiligen Residualknochens. Ein signifikanter Zusammenhang konnte weder für die bukkopalatinale Distanz ( $p=0,227$ ) noch für die Anwesenheit von Nachbarzähnen ( $p=0,946$ ) festgestellt werden.

#### *3.13.1.3 Einfluss intraoperativer Komplikationen auf den apikalen Knochenzugewinn*

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten von intraoperativen Komplikationen wie Blutung und Perforation der Schneiderschen Membran und dem apikalen Knochenzugewinn ( $p=0,975$ ).

### 3.13.2 Statistische Untersuchung beeinflussender Parameter auf den krestalen Knochenabbau

#### *3.13.2.1 Einfluss patientenbezogener Parameter auf krestalen Knochen*

Es zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem Verlust von krestalen Knochen und dem Alter ( $p=0,131$ ), Geschlecht ( $p=0,607$ ) und der Region des Implantates ( $p=0,588$ ). Die Residualknochenhöhe wies keinen signifikanten Zusammenhang mit dem krestalen Knochenverlust auf ( $p=0,420$ ).

#### *3.13.2.2 Einfluss prothetischer Parameter auf den krestalen Knochen*

Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Verlust von krestalem Knochen und der Befestigungsart (zementiert oder verschraubt) ( $p=0,212$ ), bzw. der Versorgungsart (Einzelkrone oder Prothesenanker) ( $p=0,591$ ) der Implantate.

### 3.13.3 Einfluss patientenbezogener Parameter auf den initialen und finalen ISQ

Es zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen dem initialen ISQ und dem Alter ( $p=0,424$ ), dem Geschlecht ( $p=0,862$ ) und der Region des Implantates ( $p=0,803$ ). Die Residualknochenhöhe wies einen signifikanten Zusammenhang mit dem initialen ISQ auf ( $p=0,019$ ). Der finale ISQ wies einen signifikanten Zusammenhang mit dem Alter ( $p=0,034$ ) auf, aber nicht mit der Implantationsregion ( $p=0,955$ ) und dem Geschlecht ( $p=0,070$ ). Bei Patienten, die älter als 66 Jahren waren, war der finale ISQ geringer im Vergleich zu jüngeren Patienten. Die Residualknochenhöhe wies wiederum keinen Zusammenhang mit dem finalen ISQ auf ( $p=0,231$ ).

### 3.13.4 Einfluss patientenbezogene Parameter auf den Insertions-Torque

Es zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Insertions-Torque und Alter ( $p=0,380$ ) sowie Region des Implantates ( $p=0,823$ ) aber zwischen Insertions-Torque und Geschlecht ( $p=0,043$ ) (Tabelle 15). Der Insertions-Torque war in der Gruppe der männlichen Patienten höher als in der Gruppe der weiblichen Patientinnen. Die Residualknochenhöhe wies keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Insertions-Torque auf ( $p=0,252$ ). Weiterhin zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Implantattypen Screw Line und Progressive Line ( $p=0,376$ ) und dem Insertions-Torque.

Eine Übersicht der durchgeführten Signifikanztests ist in Tabelle 19 aufgeführt.

Tabelle 19: Übersicht patientenbezogener Parameter auf apikalen Knochenzugewinn, krestalen Knochenverlust, Insertions-Torque und ISQ

	Geschlecht	Alter	Region	Residualknochen
Apikaler Knochenzugewinn	$p=0,094$	$p=0,665$	$p=0,178$	<b><math>p=0,030</math></b>
Krestaler Knochenverlust	$p=0,607$	$p=0,131$	$p=0,588$	$p=0,420$
Insertions-Torque	<b><math>p=0,043</math></b>	$p=0,380$	$p=0,823$	$p=0,252$
ISQ intraoperativ	$p=0,862$	$p=0,424$	$p=0,803$	<b><math>p=0,019</math></b>
ISQ nach Einheilung	$p=0,070$	<b><math>p=0,034</math></b>	$p=0,955$	$p=0,231$

### 3.14 Einfluss der Hygieneindizes und der klinischen Parameter auf den krestalen Knochenverlust

#### 3.14.1 API

Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang mit dem API nach einem Jahr prothetischer Versorgung und dem krestalen Knochenverlust ( $p=0,005$ ). Der Verlust ist bei Patienten mit unzureichender Mundhygiene größer im Vergleich zu Patienten mit guter, bzw. befriedigender Mundhygiene.

#### 3.14.2 PBI

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen PBI und dem krestalen Knochenverlust zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle nach prothetischer Versorgung ( $p= 0,499$ ).

#### 3.14.3 Sondierungstiefen

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Sondierungstiefen zum Zeitpunkt 1-Jahreskontrolle nach prothetischen Versorgung und dem krestalen Knochenverlust ( $p= 0,369$ ).

#### 3.14.4 PSI

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen PSI und krestalem Knochenverlust zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle nach prothetischer Versorgung ( $p=0,451$ ).

#### 3.14.5 Blutung auf Sondierung

Es zeigte sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen BOP und krestalem Knochenverlust nach 1 Jahr Beobachtungszeitraum der prothetischen Versorgung ( $p=0,358$ ).

### 3.15 Korrelationsanalyse der Fragebögen

Die Fragebögen wurden auf korrelierende Zusammenhänge zwischen den Aussagen untersucht.

Das Vorhandensein einer postoperativen Schwellung korrelierte statistisch signifikant mit dem Auftreten postoperativer Schmerzen ( $p = 0,007$ ), Einschränkungen im Alltag ( $p < 0,001$ ) sowie der Bereitschaft, sich erneut für ein Implantat zu entscheiden ( $p = 0,018$ ). Zudem zeigte sich, dass Patienten, die postoperative Schmerzen angaben, auch häufiger über Einschränkungen im Alltag berichteten ( $p = 0,001$ ).

Die Aussage „Ich spreche positiv mit anderen über meine Erfahrung mit den neuen Zahnimplantaten“ korrelierte signifikant mit den Aussagen „Die Operation ist insgesamt gut verlaufen“ ( $p=0,026$ ) und „Der Eingriff war insgesamt gut zu ertragen“ ( $p=0,006$ ). Die Aussage „Ich habe es bereut mir ein Implantat setzen zu lassen“ korrelierte entgegengesetzt mit der Aussage „Der Verlauf der Operation entsprach meinen Vorstellungen.“ ( $p=0,005$ ) und „Der Eingriff war insgesamt gut zu ertragen.“ ( $p=0,002$ ).

Eine signifikante Korrelation mit dem Pink Esthetic Score nach 1 Jahr und den Aussagen „Ich bin zufrieden mit dem neuen Zahnersatz auf den Implantaten.“ ( $p=0,201$ ) und „Mir gefällt das Aussehen der neuen Versorgung besser als die Vorherige.“ ( $p=0,426$ ) konnte nicht festgestellt werden. Die Aussage „Mein Selbstbewusstsein hat sich durch die neue Versorgung geändert.“ Korrelierte hingegen mit dem Pink Esthetic Score ( $p=0,043$ ).

## 4 Diskussion

Die Verwendung von dentalen Implantaten zum Ersatz einzelner oder mehrerer Zähne, sowie als Verankerung für Zahnersatz ist ein seit vielen Jahren bewährtes Therapiemittel. Die Operationstechnik des Sinuslifts ist eine etablierte Methode, um im Oberkieferseitenzahnbereich ein ausreichendes vertikales Knochenangebot für die Verankerung dentaler Implantate schaffen zu können. Im Laufe der Jahre wurden verschiedene Verfahren entwickelt, um die Vorhersagbarkeit und die Prognose der Operation zu verbessern. Weiterhin wurde der Einsatz verschiedener Ersatzmaterialien gegen autologen Knochen erprobt sowie ein zweizeitiges Verfahren bei geringeren Restknochenhöhen entwickelt. Durch die Weiterentwicklung der Implantate mit moderneren Oberflächen konnte die Grenze der minimalen Restknochenhöhe für ein einzeitiges Vorgehen herabgesetzt werden.

Diese Dissertation hat die Verwendung von autologem Knochen mit A-PRF als Sinusliftmaterial untersucht. Es wurden periimplantäre Knochenverhältnisse und klinische Parameter, wie RFA und Insertions-Torque auf patienten- und implantatbezogene Einflüsse untersucht. Nach einem Beobachtungszeitraum von einem Jahr nach prothetischer Versorgung konnte ein mittlerer apikaler Knochenzugewinn von  $5,1 \pm 2,1$  mm bei einer Residualknochenhöhe von  $4,4 \pm 1,7$  mm ermittelt werden. Es zeigten sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Residualknochenhöhen. Implantate, die in einem Residualknochen bis einschließlich 3 mm eingebracht wurden, zeigten einen um 3,1 mm (KI 95 % [0,695; 5,537]) größeren apikalen Knochenzugewinn im Vergleich zu Implantaten, die in einen Residualknochen mit mehr als 6 mm eingebracht wurden. Implantate, die in einen Residualknochen über 3 mm bis einschließlich 6 mm eingebracht wurden, zeigten einen um 1,2 mm größeren apikalen Zugewinn (KI 95 % [-0,956; 3,362]) im Vergleich zu Implantaten mit Residualknochen über 6 mm. Weitere statistische Signifikanzen zeigten sich zwischen Insertions-Torque und Geschlecht, initialem ISQ und Residualknochen sowie finalem ISQ und Alter. Statistisch konnte mit jedem Millimeter mehr an residualem Knochen 0,5 mm (KI 95 % [-0,1,016; -0,031]) weniger apikaler Knochenzugewinn erzielt werden.

Nach der Klassifikation für Implantaterfolg konnten 96,4 % der Implantate zur Gruppe I zugeordnet werden 1 Jahr nach prothetischer Versorgung. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate beträgt 96,4 % nach 1 Jahr Nachbeobachtungszeit.

## 4.1 Limitationen

Die Beurteilung der knöchernen Verhältnisse wurde in dieser Studie mit Röntgenaufnahmen vorgenommen. Eine dreidimensionale Aufnahme wurde als Ausgangsaufnahme zur Planung der Operation aufgenommen. Im weiteren Verlauf wurden ausschließlich zweidimensionale Aufnahmen erstellt, die aufgrund von Überlagerungen und Abweichungen der Position des Patienten zu unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten zu Ungenauigkeiten und Verzerrungen führen können. Weiterhin kann in zweidimensionalen Aufnahmen nur der mesiale und distale Anteil beurteilt werden, eine Messung der vestibulären und oralen knöchernen Anteile ist nicht möglich. Dadurch bedingt ist es auch nicht möglich über eine vollständige periimplantäre Verknöcherung des neu hinzugewonnen Knochens im Sinus abschließend zu beurteilen. Die postoperative Aufnahme von DVT ohne spezielle klinische Fragestellung ist aber im Sinne des Strahlenschutzes für den einzelnen Patienten nicht zu vertreten. Weiterhin sind DVT wesentlich kostenintensiver als zweidimensionale Aufnahmen. Trotz der genannten Einschränkungen können Panoramaschichtaufnahmen für die Zwecke dieser Dissertation als vergleichbar mit dem DVT gewertet werden (Kopecka et al., 2012).

Zur Bestimmung der Osseointegration wurde mit der Resonanzfrequenzanalyse der ISQ zum Zeitpunkt der Implantation und zum Zeitpunkt der Freilegung gemessen. Das Verfahren wurde entwickelt, um die Stabilität von Implantaten nach Erreichen der Sekundärstabilität zu messen. Um Verzerrungen durch die Verwendung von unterschiedliche Implantatarten, -längen und -durchmesser zu minimieren, wurden entsprechend des eingesetzten Implantats der empfohlene SmartPegs eingesetzt (Sennerby and Meredith, 2008). Trotzdem ist der ISQ kein Ersatz zur Messung eines direkten Knochen-Implantat-Kontakts, welcher nur durch histologische Untersuchungen definitiv möglich ist. Eine Explantation oder Probenentnahme des gewonnenen Knochens war in dieser Studie aus ethischen Gründen auszuschließen.

Es handelt sich um eine prospektive Studie, bei der das Operationsverfahren nach einem immer gleichen Protokoll ausgeführt wurde. Eine Einhaltung von regelmäßigen Recallintervallen konnte gewährleistet werden. Da die vorgenommene Aufteilung der Implantate in Gruppe nach Residualknochenhöhe zu ungleich verteilten und teilweise kleinen Gruppen führt, fallen starke Abweichungen einzelner Fälle stärker ins Gewicht. Aus ethischen Gründen wurde keine Kontrollgruppe verwendet, um beispielsweise einen Vergleich mit dem Einsatz von Knochenersatzmaterialien durchzuführen. Es wäre auch eine Aufteilung in eine Gruppe mit Verwendung von A-PRF und eine Gruppe ohne die Verwendung von A-PRF möglich gewesen.

Sowohl die Röntgenaufnahmen als auch die Fotografien zur Ermittlung des Pink Esthetic Score wurden durch unterschiedliche Betrachter zu unterschiedlichen Zeitpunkten ermittelt, um die Intra- und Interobserverreliabilität mittels Cronbachs Alpha zu bestimmen. Dies ermöglicht eine Bewertung der Konsistenz und unterstützt die Verlässlichkeit der hier verwendeten Methodik

## 4.2 Apikaler Knochenzugewinn

Der apikale Knochenzugewinn betrug im Mittel  $5,1 \pm 2,1$  mm nach einem Jahr bei einer mittleren Residualknochenhöhe von  $4,4 \pm 1,7$  mm. Als statistisch signifikant zeigte sich, dass, je geringer die Residualknochenhöhe ist, desto größer ist der apikale Knochengewinn ( $p=0,030$ ). Entscheidend für die Knochenneubildung am Implantatapex ist die Schaffung eines Hohlraums im Sinne des „tenting effects“ unter der Schneiderschen Membran, welcher konstant gehalten werden muss. Da im augmentierten Bereich die Vorgänge der sekundären Knochenheilung ablaufen, sind die ersten Wochen besonders kritisch für die Stabilisierung des Blutkoagels bzw. des Regenerats aus A-PRF und Knochen unter der Membran. Sobald die reparative Phase begonnen hat und eine ausreichende Kallusbildung stattgefunden hat, ist eine erste Standfestigkeit des Regenerats erreicht. Zur zusätzlichen Unterstützung des Hohlraums und der sekundären Knochenheilung wurde in dieser Studie A-PRF verwendet, da es sowohl Angiogenese und Ossifikation unterstützen und beschleunigen kann (Dohle et al., 2024)

### 4.2.1 Apikaler Knochenzugewinn in Abhängigkeit von Residualknochen und Augmentationsmaterial

Allgemein gilt der externe Sinuslift als sichere Augmentationsmethode im Oberkiefer, die mit einer geringen Komplikationsrate zu vorhersagbaren Ergebnissen führt. (Silva et al., 2016a). Das gilt sowohl für Augmentationen mit autologem Knochen als auch für die Verwendung von Knochenersatzmaterialien. Ziel des Eingriffs ist neben der erfolgreichen Osseointegration der Implantate die Ossifikation unter der elevierten Schneiderschen Membran mit vitalem Knochengewebe. Die Frage, ob autologer Knochen heute noch der sogenannte Goldstandard für Augmentationen ist, wird von vielen Autoren diskutiert (El Chaar and Rutkowski, 2022, Misch, 2022).

In einer Metaanalyse wurden mehrere Studien analysiert und verglichen, die die Verhältnisse von neu gebildetem Knochen, verbliebendem Knochenersatzmaterial und vorhandenem Weichgewebe in histologischen Proben nach externen

Sinusliftoperationen zu unterschiedlichen Einheilzeitpunkten untersuchten. Es wurde beobachtet, dass bei der ausschließlichen Verwendung von autologem Knochen sich signifikant am meisten neuer Knochen gebildet hatte und bei der Verwendung von KEM auch nach 9 Monaten Einheilzeit oder länger Restpartikel histologisch festgestellt werden konnten (Danesh-Sani et al., 2017). Weitere histologische Untersuchungen bestätigten diese Beobachtung und konnten zeigen, dass auch nach langen Beobachtungszeiträumen von 9 oder bis zu 11 Jahren keine vollständige Resorption der Ersatzmaterialien stattfand (Mordenfeld et al., 2010, Traini et al., 2007). Andere Studien konnten darstellen, dass die Neoangiogenese und das Knochenwachstum durch Anwesenheit von Fremdmaterial verlangsamt sein kann (Froum et al., 1998, Schliephake et al., 2004). Weiterhin gehen von autologen Knochen sowohl Osteokonduktivität, Osteoinduktivität als auch Osteogenese aus. Das Regenerationspotenzial ist dadurch bei autologem Knochen am größten. So zeigt sich im Verlauf der Zeit eine Zunahme der Mineralisation des neu gewonnenen Knochens, sowie eine Verstärkung der Kortikalis im Sinne eines Remodellings (Cricchio et al., 2011). Dies ist aber nur dann in vollem Umfang vorhanden, wenn Resorptionsprozesse stattfinden können. Diese können, wie bereits beschrieben, bei der Anwesenheit von Knochenersatzmaterial eingeschränkt sein. Es gilt jedoch die zu erwartende Resorption bei der Verwendung von Eigenknochen zu beachten. Von verschiedenen Autoren wurde empfohlen diese durch Überaugmentieren zu kompensieren, um den gewünschten Erfolg zu gewährleisten (Danesh-Sani et al., 2017, Shanbhag et al., 2014). Aus der Sicht vieler Autoren ist der autologe Knochen weiterhin der Goldstandard (Sakkas et al., 2017, Bernardi et al., 2020, Schmidt, 2021).

Die Verwendung von PRF beim externen Sinuslift konnte noch nicht abschließend bewertet werden, allerdings zeigten sich mögliche Vorteile bezüglich der Heilungsgeschwindigkeit, Knochenausbildung und Knochenzugewinn (Ortega-Mejia et al., 2020). In einer Studie aus 2018 untersuchte eine Forschungsgruppe in einer prospektiven split-mouth Untersuchung bei 14 Patienten die Auswirkung von PRF auf den apikalen Knochenzugewinn. Dabei wurde auf einer Seite PRF verwendet und auf der anderen Seite keine Aufbaumaterialien. Ausgehend von  $5,85 \pm 1,08$  mm Residualknochen zeigte sich nach Einheilung eine Knochenhöhe von  $10,71 \pm 1,09$  mm. Das entspricht einem mittleren apikalen Zugewinn von 4,86 mm. Dies war ein signifikant größerer Gewinn an apikalen Knochen im Vergleich zur Kontrollgruppe (Chitsazi et al., 2018). In einer weiteren prospektiven Studie zeigte sich bei der Verwendung von PRF im externen Sinuslift bei 6 Patienten und 17 gesetzten Implantaten ein Residualknochen vor Implantation von  $4,28 \pm 1,00$  mm und 6 Monate nach Operation eine Knochenhöhe von  $11,8 \pm 1,67$  mm. Dies entspricht einem mittleren apikalen Knochenzugewinn von 7,52 mm (Tajima et al., 2013). In einer weiteren Studie zeigte sich bei einem mittleren

Residualknochen von  $2,9 \pm 0,9$  mm ein mittlerer Knochengewinn von  $10,1 \pm 0,9$  sechs Monate nach Operation (Mazor et al., 2009). Die Ergebnisse unserer Studie entsprechen denen in der Literatur vorgefundenen Werten, wobei einschränkend zu beachten ist, dass bei Studien mit geringerer mittlerer Residualknochenhöhe ein größerer Knochenzugewinn festgestellt wurde. Dies entspricht ebenso unserer Beobachtung, da auch in unserer Studie bei geringeren Residualknochenhöhe größere apikale Knochenzugewinne zu verzeichnen waren. Vergleichend dazu zeigte eine prospektive Studie mit autologem Knochen ohne A-PRF mit 28 Implantaten ausgehend von  $5,25 \pm 1,48$  mm einen Knochenzugewinn von  $4,75 \pm 1,13$  mm nach einer mittleren Beobachtungszeit von 33,2 Monaten nach Operation (Stefanski et al., 2017). Auch dies entspricht den Werten dieser Arbeit. Ein statistisch signifikanter Vorteil durch die zusätzliche Verwendung von A-PRF kann in dieser Studie nicht bestätigt werden. Um diese Unterschiede besser herauszuarbeiten, empfehlen sich split-mouth Studien oder randomisiert kontrollierte Studien mit Aufteilung der Probanden in Test- und Kontrollgruppe.

Bezüglich der Verwendung von PRF mit Knochenersatzmaterialien konnten einige randomisierte kontrollierte klinische Studien zeigen, dass bei (bovin,  $\beta$ -TCP) kein signifikanter Unterschied feststellbar war im Vergleich zur Verwendung von Knochenersatzmaterialien ohne PRF (Cömert Kılıç et al., 2017, Tatullo et al., 2012, Nizam et al., 2018). Zusammengefasst ergibt sich der Konsens, dass das Wissen der Effekte von PRF auf Knochenwachstum durch weitere prospektive randomisiert kontrollierte Studien verbessert werden sollte (Miron et al., 2017).

#### 4.2.2 Apikaler Knochenzugewinn in Abhängigkeit vom der bukkopalatalen Distanz und der Anwesenheit von Nachbarzähnen

Die Ausbildung einer Röntgenopazität an Implantaten nach erfolgtem externen Sinuslift ohne Knochenersatzmaterialien weist auf eine erfolgreiche Ossifikation hin (Lundgren et al., 2004, Leblebicioglu et al., 2005). Um eine erfolgreiche Ossifikation bei einem ersatzmateriallosen Sinuslift zu ermöglichen ist der „tenting effect“ oder „tentpole effect“ entscheidend. Gemeint damit ist, dass das Implantat wie eine Zeltstange die Schneidersche Membran kranial aufspannt und einen Raum seitlich an den Implantatwindungen stabilisiert, in dem es zu einer Einblutung und Ossifikation am Implantat kommen kann (Jung et al., 2015). Der kritische Faktor zum Erfolg ist die Stabilität des Blutkoagulums und der aufgespannten Schneiderschen Membran. Durch erhöhten Luftdruck im Sinus kann beispielsweise die elevierte Membran kollabieren und dementsprechend kein neuer Knochen entstehen (Kim et al., 2010). Ziel ist es daher,

die Anhebung der Schneiderschen Membran so durchzuführen, dass der entstehende Hohlraum zeitlich ausreichend stabil ist für die Ausbildung des Koagulums und später des Knochens im Sinne der sekundären Frakturheilung.

Mögliche positive oder negative Einflüsse wurden bereits in der internationalen Literatur diskutiert, wie beispielsweise die Länge der gewählten Implantate. Diverse Studien konnten zeigen, dass mit steigender Länge des Implantats in den Sinus ein umso größerer apikaler Gewinn an Knochen sein kann (Cricchio et al., 2011, Thor et al., 2007). Weiterhin wurde diskutiert, ob die bukkopalatinale Distanz des Sinus eine Auswirkung auf die Ossifikation haben kann. In einer Studie wurde die bukkopalatinale Distanz untersucht und mit einer mittleren Distanz von  $12,5 \pm 3,7$  mm angegeben (Avila et al., 2010). Dies ist zu vergleichbar mit der in dieser Studie gemessenen mittleren Distanz von  $13,7 \pm 3,2$  mm. In der oben erwähnten Studie wurde eine Sinusbodenaugmentation mit allogenen Knochen durchgeführt. In der anschließenden histologischen Untersuchung nach 6 Monaten zeigte sich eine negative Korrelation bei zunehmender bukkopalatalen Distanz und prozentualem Anteil von vitalem Knochen. In dieser Studie zeigte die bukkopalatinale Distanz keinen signifikanten Zusammenhang mit dem röntgenologischen apikalen Knochenzugewinn ( $p=0,227$ ). Aufgrund der fehlenden histologischen Untersuchung kann jedoch keine Aussage über den Anteil an gewonnenem vitalen Knochen getroffen werden. Weiterhin wurden unterschiedliche Augmentationsmaterialien eingesetzt. Kritisch zu erwähnen ist auch, dass durch die postoperativ angefertigten ausschließlichen zweidimensionalen Röntgenbilder keine direkte Aussage über den hinzugewonnenen Knochen in bukkopalataler Distanz möglich ist, sondern nur über den apikalen Knochenzugewinn in mesiodistaler Richtung.

In einem Review wurden laterale Sinusbodenaugmentationen ohne KEM auch im Hinblick auf beeinflussende Faktoren auf den apikalen Knochenzugewinn untersucht. Eine Fragestellung lautete, ob die Anwesenheit von Nachbarzähnen einen signifikanten Effekt auf den apikalen Knochenzugewinn haben kann, welche in dem Review nicht positiv beantwortet werden konnte. Allerdings hatte keine der analysierten Studien diese Fragestellung zu Beginn aufgenommen. Die These wurde bisher nur im Rahmen des Reviews behandelt und untersucht (Parra et al., 2018). Hintergrund ist, dass möglicherweise die Aufspannung und dementsprechend das Risiko des Kollabierens größer ohne Anwesenheit von Nachbarzähnen sein kann. Im Falle einer Schalltlücke könnte dieses Risiko durch die Nachbarzähne oder auch Implantate abgefangen sein. In dieser Studie konnte kein statistisch signifikanter Effekt beim Vergleich vorhandene Nachbarzähne versus keine Nachbarzähne festgestellt werden ( $p=0,946$ ). Weitere prospektive Studien mit größeren Fallzahlen sind notwendig, um mögliche Zusammenhänge aufzudecken und genauerer Voraussagen bezüglich des

Kollabierungsrisiko der Schneiderschen Membran oder des apikalen Knochenzugewinns zu ermöglichen.

#### 4.2.3 Apikaler Knochenzugewinn in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Region

Das Alter ( $p=0,665$ ) und die Region ( $p= 0,178$ ) hatten in dieser Studie keinen Einfluss auf den apikalen Knochenzugewinn. Das Geschlecht zeigte in dieser Studie einen Hinweis auf einen möglichen signifikanten Unterschied bezogen auf den apikalen Knochenzugewinn ( $p=0,094$ ). Männer hatten einen um 1,8 mm größeren apikalen Zugewinn im Vergleich zu Frauen (KI 95 % [-0,332;3,902]). Andere Studien, die den apikalen Knochenzugewinn in Abhängigkeit des Geschlechts bei Sinusliftoperationen untersuchten, konnten diesen möglichen Zusammenhang nicht feststellen (Arab et al., 2018, Guan et al., 2023). In unserer Studie ist zu berücksichtigen, dass es 12 männliche und 8 weibliche Patientinnen gab und zusätzlich bei den männlichen Patienten mehr Implantate gesetzt wurden als bei den Patientinnen. Insgesamt erhielten männliche Patienten 19 Implantate und Patientinnen erhielten 9 Implantate, von denen eines verloren ging. Die vergleichenden Gruppengrößen sind daher nicht repräsentativ gleichmäßig aufgeteilt. Der in dieser Studie festgestellte Hinweis auf eine Signifikanz kann daher als Forschungsfrage für weitere Arbeiten in Betracht gezogen werden, in denen mit gleichmäßig aufgeteilten Gruppen die Fragestellung erneut untersucht wird.

#### 4.2.4 Apikaler Knochenzugewinn in Abhängigkeit von intraoperativen Komplikationen

Die häufigste Komplikation des externen Sinuslifts ist die Perforation der Schneiderschen Membran (Testori et al., 2019). Perforationen können zu unterschiedlichen Zeitpunkten während der Operation entstehen und dementsprechend unterschiedliche Ursachen haben.

In der vorliegenden Studie kam es bei 4 Operationen zur Membranperforation. Dies entspricht einer Inzidenz von 14,2 %. Der Zeitpunkt der Perforation war jeweils während der manuellen Elevation. Es zeigten sich unmittelbar postoperativ weder sinusitische Beschwerden noch spätere Implantatverluste. Weiterhin konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen apikalem Knochenzugewinn und Membranperforation festgestellt werden ( $p=0,979$ ).

In einer Metaanalyse wurde eine Inzidenz für das Auftreten von Perforationen von 3,6-41,8 % angegeben mit einer mittleren Inzidenz von 23,5 % (Al-Dajani, 2016). Weiterhin

stellte diese Forschungsgruppe fest, dass es anatomische, chirurgische und pathologische Risikofaktoren für eine Perforation gibt. Anatomische Risikofaktoren sind die Anwesenheit von Septen und enge Sinuskavitäten (Molina et al., 2022, Schwarz et al., 2015). In dieser Studie wurde präoperativ in den aufgenommenen DVTs Septen ermittelt. In einem Fall trat eine Perforation bei einem vorliegenden Septum auf. Weiterhin hat die Dicke der Schneiderschen Membran Auswirkungen auf die Wahrscheinlichkeit einer Perforation. Eine Studie konnte zeigen, dass es eine positive Korrelation gibt zwischen gingivalen Phänotyp und der Dicke der Schneiderschen Membran (Aimetti et al., 2008). Eine weitere Studie stellte fest, dass Membranperforationen in Fällen von dünnen Phänotypen (Dicke der Schneiderschen Membran < 1,5 mm) vermehrt auftraten im Gegensatz bei Patienten mit dickem Phänotyp (Dicke der Schneiderschen Membran > 2 mm) (Vlassis and Fugazzotto, 1999). Dazu kommen chirurgische Risikofaktoren, wie z.B. die Verwendung von rotierenden Instrumenten im Gegensatz zu Piezochirurgie oder der Verwendung von Bonescrapern (Stacchi et al., 2017). Als letztes sind pathologische Risikofaktoren zu nennen wie chronische Sinusitis, Mukoretentionszysten oder der Konsum von Kokain (Silvestre et al., 2010, Testori et al., 2019). Patienten, die in der präoperativen Diagnostik solche Befunde aufwiesen, wurde nicht in die Studie aufgenommen.

In einer Metaanalyse mit 1598 durchgeführten Sinuslifts wurde festgestellt, dass es keinen signifikanten Unterschied gab für das Überleben von Implantaten, bei denen es während der Implantation zur einer Membranperforation gekommen war. Dies war unabhängig von Vorgehen, Materialien und Technik des Sinuslifts (Díaz-Olivares et al., 2021a). Ähnliche Ergebnisse zeigte eine aktuelle Metaanalyse mit 6860 Implantaten (Sala et al., 2024). Allerdings kann die Größe der Perforation ein Risikofaktor für das Implantatüberleben sein, wie andere Metaanalysen zeigten (Hernández-Alfaro et al., 2008, Al-Moraissi et al., 2018). Ein andere Forschungsgruppe zeigte bei 201 durchgeführten Sinuslifts mit 41 Perforationen nach 1 Jahr Beobachtungszeitraum, dass bei adäquater chirurgischer Behandlung mit Kollagenmembranen oder Nahttechniken auch bei größeren Perforationen (> 5 mm) kein Unterschied bezüglich des Implantatüberlebens signifikant war (Becker et al., 2008). Auch auf den apikalen Knochenzugewinn scheint eine vorangegangene Perforation keinen Einfluss zu haben (Karabuda et al., 2006). Ein Goldstandard zum Verschluss der Perforation wird in der Literatur nicht beschrieben, allerdings sind die Verwendung von Kollagenmembranen, Naht mit resorbierbaren Nähten und oder die Verwendung von oxidiertes Zellulose zum Verschluss der Perforation die am meisten genutzten Techniken (Schiavo-Di Flaviano et al., 2024). Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die in der Literatur gefundenen Vergleichswerten. Bei adäquater Behandlung muss die Perforation der Schneiderschen Membran kein Risiko für apikalen Knochenzuwachs oder das Implantatüberleben sein.

### 4.3 Krestaler Knochenabbau

Ein wichtiger Faktor zur Beurteilung des Erfolgs oder Misserfolgs von Implantaten ist neben dem einfachen Überleben der krestale Knochenabbau.

Im Mittel betrug der Verlust des krestalen Knochens  $0,3 \pm 0,4$  mm nach einem Beobachtungszeitraum von einem Jahr nach prothetischer Versorgung. In einer Studie mit 101 Patienten zeigte sich über einen Beobachtungszeitraum von 18 Monaten nach prothetischer Versorgung ein krestaler Knochenabbau von  $0,90 \pm 0,05$  mm mesial und  $0,99 \pm 0,05$  mm distal (Galindo-Moreno et al., 2015). Eine weitere Studie, die Implantate nach externem Sinuslift mit 54 Patienten untersuchte, stellte einen krestalen Knochenabbau von mesial  $0,6 \pm 0,7$  mm und distal  $0,4 \pm 0,5$  mm über einen Beobachtungszeitraum von  $2 \pm 0,9$  Jahren fest (Dinato et al., 2016). Eine Studie, die den krestalen Knochenabbau an 139 Patienten unabhängig von Region und Augmentation untersuchte, stellte einen mittleren krestalen Knochenabbau von  $0,2 \pm 1,2$  mm über einen Beobachtungszeitraum von  $4,8 \pm 2,3$  Jahren fest (Cecchinato et al., 2013). Der Beobachtungszeitraum begann allerdings erst 1 Jahr nach prothetischer Versorgung. Gründe für den Verlust von krestalem Knochen im ersten Jahr nach prothetischer Versorgung können beispielsweise die Wiederherstellung der biologischen Breite, okklusale Überlastung, chirurgisches Trauma, Vitamin D Mangel oder bereits beginnende Periimplantitis sein (Oh et al., 2002, Insua et al., 2017). In unserer Studie wurden ausschließlich Implantate mit Platform Switch verwendet. Platform Switch bedeutet, dass die Implantat-Abutment-Verbindung (IAV) von außen nach innen und von horizontal in Richtung der Implantatachse verlegt wird, indem ein kleinerer Durchmesser für das Abutment im Vergleich zum verwendeten Implantat gewählt wird. Ziel ist es dadurch einen Abstand zwischen krestalem Knochen und dem Spalt der IAV zu schaffen (Lazzara and Porter, 2006). Ein positiver Effekt auf den Erhalt des krestalen Knochen durch Platform Switching konnte in Übersichtsarbeiten gezeigt werden (Gupta et al., 2019, Tomar et al., 2023). Insgesamt schließen sich unsere Ergebnisse an die in der Literatur bekannten Werte an und liegen im tolerierbaren Bereich. Um eine Aussage über eine langfristige Stabilität des krestalen Knochen zu machen, ist ein längerer Nachuntersuchungszeitraum notwendig.

#### 4.3.1 Periimplantärer Knochenabbau in Abhängigkeit von Residualknochen Alter, Geschlecht und Region

Es zeigten sich keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen krestalem Knochenabbau und Höhe des ursprünglichen Residualknochens ( $p=0,420$ ), Alter ( $p=0,131$ ), Geschlecht ( $p=0,607$ ) und Implantationsregion ( $p=0,588$ ).

#### 4.3.2 Periimplantärer Knochenabbau in Abhängigkeit von prothetischer Versorgung und Befestigungsart

In der internationalen Literatur wird diskutiert, ob die Art der prothetischen Befestigung einen Einfluss auf die periimplantäre Gesundheit und den krestalen Knochen hat. Man unterscheidet in verschraubte oder zementierte Versorgung. Die häufigste Komplikation bei zementierten Versorgung ist die durch subgingivale Zementreste ausgelöste Entzündung des periimplantären Gewebes (Valente et al., 2020, Pauletto et al., 1999). Um dies zu vermeiden, können verschraubte Versorgung angewendet werden. In dieser Studie wurden sowohl verschraubte als auch zementierte Versorgung verwendet. Es zeigte sich keine statistisch signifikanten Zusammenhänge zwischen krestalem Knochenabbau und prothetischer Versorgungsart ( $p=0,591$ ) und Befestigungsart ( $p=0,212$ ). Um eine verlässliche Entfernung von Zementresten zu ermöglichen, wurde im Fall einer zementierten Versorgung immer ein individuelle Abutments angefertigt, die maximal 1 mm subgingival endeten. Dieses Vorgehen wird auch in der Literatur beschrieben und kann das Risiko einer Periimplantitis ausgelöst durch Zementreste senken (Hamilton et al., 2023).

### 4.4 Resonanzfrequenzanalyse

In dieser Studie wurde zur Bewertung der Implantatstabilität der ISQ verwendet. Implantate, die in einen Residualknochen  $\leq 3$  mm eingebracht wurden, hatten einen um 22 Punkte geringeren ISQ (KI 95 % [-40,632; -3,118]) im Vergleich zu Implantaten mit Residualknochen über 6 mm. Zum Zeitpunkt der Einheilung wurde beobachtet, dass Patienten die 45 Jahre oder jünger sind, einen um 21,905 höheren ISQ hatten im Vergleich mit Patienten die 66 Jahre und älter waren (KI 95 % [6,487;37,323]).

Da die Studiendesigns bezüglich Sinusliftoperationen und Implantationen in der posterioren Maxilla stark variieren, wurden Studien mit ähnlichen Designs herausgefiltert.

In einer prospektiv randomisiert kontrollierten Studie aus 2012 wurden insgesamt 25 Patienten mit 38 Implantaten untersucht. Es zeigte sich bei der Gruppe mit Sinuslift im einzeitigen Verfahren zum Zeitpunkt der Implantation ein ISQ von  $68,31 \pm 3,27$  und  $77,28 \pm 1,68$  nach 6 Monaten, sowie  $77,61 \pm 0,84$  nach 12 Monaten. Zwischen den Messungen zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede (Di Lallo et al., 2014). In einer weiteren Studie aus dem Jahre 2011 wurden 239 Implantate in 84 Patienten untersucht. Es wurden externe Sinusliffe mit simultaner Implantation ohne Einsatz von Knochenersatzmaterialien oder autologen Materialien durchgeführt. Der residuale Knochen betrug im Mittel  $5,7 \pm 2,3$  mm. Zum Zeitpunkt der Implantation betrug der ISQ  $67,4 \pm 6,1$  und nach 6 Monaten Einheilung  $66,4 \pm 5,2$  (Cricchio et al., 2011). Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messungen. Da die Werte der beiden genannten Studien bereits zum Zeitpunkt der Implantation hoch waren, war jedoch eine Veränderung der Werte nicht zu erwarten. Zu berücksichtigen ist, dass durch absichtlich unterdimensionierte Präparation des Implantatbetts bei der zweiten genannten Studie eine höhere Primärstabilität erzeugt werden konnte. In einer weiteren prospektiven Studie mit 30 Implantaten wurde der ISQ gemessen im Zusammenhang mit der Implantation und simultanem externen Sinuslift mit A-PRF. Es wurde festgestellt, dass zum Zeitpunkt der Implantation 70 % der Implantate, die in einen D2 Knochen eingebracht wurden, einen ISQ zwischen 60 und 70 aufwiesen und nach einer Einheitszeit von 6 Monaten der ISQ bei allen Implantaten über 70 lag (Nguyen et al., 2024). In einer anderen Studie mit 10 Patienten wurden Implantate im Oberkiefer gesetzt. Der Residualknochen entsprach der Knochenqualität D3 und D4 nach Misch (Misch, 1990). Der ISQ betrug zum Zeitpunkt der Implantation im Mittel  $43 \pm 9$  bei 35 Implantaten und stieg auf  $63 \pm 10$  nach 8 Wochen an (Held et al., 2013). Diese beiden Studien lassen darauf hindeuten, dass eine entscheidende Rolle bezüglich der Höhe und Zunahme des ISQ die vorgefundene Knochenqualität sein könnte. Eine präoperative Überprüfung der Knochenqualität scheint daher sinnvoll, um bei Knochen der Qualität D3 und D4 Maßnahmen zu ergreifen, wie die unterdimensionierte Aufbereitung des Implantatlagers, um die Primärstabilität zu erhöhen. Gleichzeitig kann man aber schlussfolgern, dass auch bei geringer Knochenqualität Implantation erfolgreich möglich sind. Bezüglich der Vorhersagbarkeit eines möglichen Implantatverlusts konnten eine prospektive Studie keinen Hinweis auf eine Korrelation zwischen dem intraoperativen Ausgangswert des ISQ und einem späteren Implantatverlust feststellen (Kim et al., 2015).

Der in dieser Studie gemessene signifikante Unterschied in den ISQ Messungen zwischen den Altersgruppen konnte in der Literatur nicht bestätigt werden. Allerdings war die Gruppe der untersuchten Patienten in dieser Studie auch sehr klein. Zur Bestätigung eines Zusammenhangs wären weitere Studien mit gleichmäßiger aufgeteilten Gruppen nach Alter wünschenswert, da bei geringer Gruppengröße

Ausreißer stärker ins Gewicht fallen können. Grundsätzlich ist aber bekannt, dass mit steigendem Alter die Umbauvorgänge und das Zusammenspiel von Osteoblasten und -klasten langsamer ablaufen (Marx and Garg, 1998). Dies wäre eine weitere mögliche Erklärung für geringere ISQ-Werte zum Zeitpunkt der Einheilung bei älteren Patienten ( $\geq 66$  Jahre).

Insgesamt entsprechen die Werte in dieser Studie den in der Literatur vorgefundenen vergleichbaren ISQ-Werten, wobei diese jedoch auch stark divergieren. Ein Anstieg des ISQ nach Einheilung bei Residualknochen  $\leq 3$ mm deutet auf eine Zunahme der Osseointegration und Ossifikation im Sinus und des Implantats generell hin. Nichtsdestotrotz wird der ISQ durch verschiedenste Parameter beeinflusst und muss immer im Zusammenhang mit der klinischen und individuellen Situation des Patienten interpretiert werden. Eine Zunahme des ISQ bei einem Patienten kann jedoch als Erfolg der Osseointegration gewertet werden (Huang et al., 2020).

#### 4.5 Insertions-Torque

Der Insertions-Torque ist eine Messung, die vorgenommen wird, um die Festigkeit des Implantates zum Zeitpunkt des Einbringens zu bestimmen. Im Mittel betrug der Insertions-Torque  $22,6 \pm 7,3$  Ncm. Trotz unterschiedlicher, teils sehr geringer Restknochenhöhe zeigten die Insertions-Torquemessungen in dieser Beziehung keinen signifikanten Unterschied. Das Implantatsystem schien keine Auswirkungen auf die Primärstabilität zu haben. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass das aggressivere Gewinde der Progressive Line Implantate bei geringeren Residualknochenhöhen nicht zum Tragen kommt, da im Bereich des apikalen Implantatanteils kein Knochen zum Zeitpunkt der Implantation vorhanden ist. Progressive Line Implantate haben aber zusätzlich ein krestales Verankerungsgewinde, um bei geringem Residualknochen eine bessere Verankerung zu ermöglichen. Zu berücksichtigen ist bei unserer Untersuchung, dass Progressive Line Implantate häufiger aus dem oben genannten Grund bei geringeren Residualknochenhöhen eingesetzt wurden als Screw Line Implantate. Es könnte so ein höherer Insertions-Torque durch das Progressive Line Implantat erzielt worden sein, der mit einem Screw Line Implantat an derselben Stelle nicht möglich gewesen wäre. Um auf diese Differenzierung genauer einzugehen, müssten weitere Studien durchgeführt werden, in denen beide Implantatsysteme zu gleichen Teilen bei ähnlichen Residualknochenhöhen verwendet werden.

Bezüglich des Alters ( $p=0,380$ ) und der Implantatregion ( $p=0,823$ ) zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge, allerdings wies das Geschlecht auf einen knapp signifikanten Unterschied bezüglich des Insertions-Torques hin ( $p=0,043$ ). Demzufolge

haben Männer in unserer Studie einen um rund 6,9 Ncm höheren Insertions-Torque als Frauen (KI 95 % [0,232;13,624]). Eine mögliche Erklärung dieses Sachverhalts könnte sein, dass das Risiko an Osteoporose zu erkranken bei weiblichen Patientinnen höher ist. Diese Erkrankung zeichnet sich vor allem durch eine geringere Knochendichte aus (Lane, 2006). In unserer Studie lag bei keinem Patienten eine Osteoporose vor, dennoch könnten möglicherweise Vorstufen zu einer Beeinflussung des erzielten Insertions-Torques geführt haben. Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass die Unterschiede der Gruppengrößen in Bezug auf die Anzahl der Implantate ungleich verteilt sind. Bei den weiblichen Patientinnen wurden insgesamt 9 Implantate und bei den männlichen 19 Implantate gesetzt. Interessanterweise konnte in der Studie von Elian et al. ebenfalls eine signifikante Differenz zwischen Frauen und Männern bezüglich des Insertions-Torques festgestellt werden (Elian and Abdelaal, 2024). Weitere Studien mit gleichmäßig aufgeteilten Gruppen wären notwendig, um diese Beobachtung genauer zu untersuchen.

Statistisch signifikant erwies sich außerdem der Zusammenhang zwischen ISQ zum Zeitpunkt der Implantation und dem Insertions-Torque ( $p=0,009$ ). Implantate, die einen Insertions-Torque unter 20 Ncm hatten, hatten ebenso einen um 18,4 (KI 95 % [31,772; 4,942] geringeren ISQ im Vergleich zu Implantaten mit Primärstabilitäten von 20 Ncm oder mehr.

Studien, die den Insertions-Torque in Zusammenhang mit externem Sinuslift ohne KEM aufgenommen haben, sind in der Literatur bisher nicht vertreten. Um einen Vergleich der hier aufgenommenen Werte vornehmen zu können wurden daher Studien anderer Designs zur Diskussion betrachtet. Beispielsweise wurden in einer Studie 26 Patienten untersucht, die ein Implantat in der Maxilla mit mindestens 8 mm Residualknochen erhielten. Es wurde insgesamt ein mittlerer Insertions-Torque von 44,5 Ncm gemessen, wobei die Studie eine Einteilung der Implantatsregionen nach Misch vorgenommen hat. Es konnte so gezeigt werden, dass die Knochenqualität einen signifikanten Einfluss auf den Insertions-Torque haben kann, da für D4 Knochen ein mittlerer Insertions-Torque von  $36,6 \pm 21,7$  Ncm und für D2 Knochen ein mittlerer Insertions-Torque von  $65,5 \pm 15,6$  Ncm gemessen wurde ( $p<0,001$ ) (Abi-Aad et al., 2019). In einer weiteren Studie mit 30 Patienten wurden einzeitige und zweizeitige Sinusliftoperationen durchgeführt. In der Gruppe mit einzeitigem Sinuslift und Residualknochen über 4 mm betrug der mittlere Insertions-Torque  $23,77 \pm 12,63$  Ncm, in der Gruppe mit zweizeitigen Vorgehen und dem Einsatz von KEM lag der Insertions-Torque bei  $26,48 \pm 20,80$  (Degidi et al., 2013). In einer Studie an Kadavern zeigte sich bei atrophischen Kieferknochen im Sinus bei einer mittleren Residualknochenhöhe von  $4,0 \pm 1,4$  mm ein mittlerer Insertions-Torque von  $17,0 \pm 7,8$  Ncm sowie eine statistisch signifikante Abhängigkeit von Insertions-Torque

und ISQ (Pommer et al., 2014). Insgesamt ist die Spannweite der vorgefundenen Werte groß, auch die Standardabweichung weist teilweise große Unterschiede auf. Der in unserer Studie gemessene Insertions-Torque lässt sich überwiegend im unteren bis mittleren Bereich einordnen. Dies scheint aufgrund der geringen Residualknochen plausibel.

Für den klinischen Erfolg einer Implantateinheilung ohne Sofortversorgung ist nicht die Höhe des Insertions-Torques entscheidend, sondern lediglich das Erreichen einer ausreichenden Primärstabilität, wie Metaanalyse zeigen konnten (Lemos et al., 2021, Darriba et al., 2023). Entscheidend für eine ausreichende Primärstabilität ist unter anderem der Zustand des kortikalen Knochen, daher sind auch Residualknochenhöhen unter 1 mm für erfolgreiche Implantationen möglich, wenn das Implantat primärstabil eingebracht werden kann (Cricchio et al., 2011). Dazu zeigten Romeo et al. in einer in vitro Studie, dass der Insertions-Torque und damit auch die Primärstabilität durch verwendete Implantattypen und Bohrprotokolle beeinflusst werden kann, wobei dieser Zusammenhang in der hier vorliegenden Studie nicht bestätigt, aber auch nicht widerlegt werden konnte (Romeo et al., 2023). Aktuell werden unter anderem Bohrprotokolle diskutiert, die die Primärstabilität durch unterdimensionierte Aufbereitung des Implantatlagers erhöhen können (Pai et al., 2018, Elian and Abdelaal, 2024). Dies kann im Speziellen für operative Vorhaben mit geringen Residualhöhen im atrophien Oberkiefer relevant sein, um eine einzeitige Operation durchzuführen.

## 4.6 Überlebens- und Erfolgsraten

Die Bestimmung der Überlebensrate ist eine zeitabhängige Standarduntersuchung, die nach der Methode von Kaplan und Meier durchgeführt wurde (Kaplan and Meier, 1958). Es zeigte sich nach einem Beobachtungszeitraum von einem Jahr nach prothetischer Versorgung eine Überlebensrate von 96,4 %. Implantatüberleben als alleiniges Erfolgskriterium ist nicht ausreichend, da unberücksichtigt bleibt, ob beispielsweise eine periimplantäre Infektion vorliegt, vorgelegen hat oder ob beispielsweise röntgenologisch ein erhöhter Knochenabbau erkennbar ist (Buch et al., 2003). Daher wurden weitere Erfolgskriterien entwickelt, die klinische, röntgenologische oder auch aus Patientensicht subjektive Komplikationen und Veränderungen berücksichtigen. Zum Beispiel hat Belser et al. folgende Erfolgskriterien aufgestellt: Implantat in situ, keine persistierenden Beschwerden, Fremdkörpergefühl oder Dysästhesie, keine periimplantäre Infektion mit putriden Sekretion, sowie keine persistierende periimplantäre Radiotransluzenz (Belser et al., 2004). Eine klinisch orientierte und detaillierte Klassifikation wurde von Misch et al. publiziert und in dieser Studie verwendet (Misch et al., 2008). Dafür wurden die

untersuchten Implantate in vier Gruppen aufgeteilt, je nach klinischer und radiologischer Situation. Der Gruppe I (Erfolg (optimale Gesundheit)) konnten 96,4 % der Implantate zugeordnet werden. Kein Implantat konnte der Gruppe II (zufriedenstellendes Überleben) und der Gruppe III (kompromittierte Überleben) zugeordnet werden nach einem Jahr Nachbeobachtungszeit nach prothetischer Versorgung. Ein Implantat (3,6n%) musste der Gruppe IV (Misserfolg) zugeordnet werden.

In einer Metaanalyse aus dem Jahre 2016 zeigte sich eine Überlebensrate von 96 % für Implantate mit externem Sinuslift ohne Knochenersatzmaterialien nach einem maximalen Nachbeobachtungszeitraum von 48-60 Monaten, nach 6-12 Monaten zeigte sich eine Überlebensrate von 97,07 %. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zur verglichenen Gruppe von externen Sinusliften, bei denen Knochenersatzmaterial verwendet wurde (Silva et al., 2016b). Prospektive Studien mit ähnlicher Fallzahl zur hier durchgeführten Studie zeigten Überlebensraten von 100 % (n=10) bei einem Nachuntersuchungsintervall von 6-12 Monaten (Sohn et al., 2008) sowie 93,5 % (n=14) bei einem Nachuntersuchungsintervall von 24 Monaten (Moon et al., 2011) und 96 % (n=17) bei einem Nachuntersuchungszeitraum von 51 Monaten (Bassi et al., 2015). Aoki et al. untersuchten retrospektiv 71 Implantate bei 34 Patienten, bei denen ein externer oder interner Sinuslift mit der Verwendung von PRF erfolgt war (Aoki et al., 2018). Es zeigten sich Überlebensraten von 85,5 %. Zwei prospektive Studien, die die Verwendung von PRF beim internen Sinuslift untersucht haben, zeigten Überlebensraten von 97,1 % bei 35 Implantaten in 20 Patienten und 97,8 % bei 138 Implantaten in 110 Patienten (Diss et al., 2008, Toffler et al., 2010). Insgesamt entspricht somit die Überlebensrate dieser Studie den aus der Literatur bekannten Raten. Eine Einordnung nach den Erfolgskriterien nach Misch et al. ist nicht möglich, da die Klassifikation in den meisten Studien nicht verwendet wurde sondern andere Erfolgskriterien wie z.B. nach Belser et al. mit denen allerdings ein „Erfolg“ nicht so detailliert beschrieben werden kann (Belser et al., 2004). Zur besseren Vergleichbarkeit sind mehr Studien zu wünschen, die neben dem reinen Implantatüberleben auch die oben genannten Erfolgskriterien anwenden, sowie längere Nachuntersuchungszeiträume verwenden.

#### 4.7 Misserfolgsanalyse

In dieser Studie ging ein Implantat 4 Monate nach Operation verloren. Der Residualknochen betrug 1 mm und der initiale ISQ 32,5. Nach 3 Monaten Einheilzeit betrug der ISQ 44,0, eine ausreichende klinische Sekundärstabilität war erreicht. Im Rahmen einer Gerüstanprobe für die prothetische Versorgung erfolgte durch größere Krafteinwirkung aufgrund eines verklemmten Abutments eine iatrogene Explantation. Es

handelt sich hierbei um einen „frühen“ Implantatverlust, der auf eine noch nicht ausreichende Osseointegration zurückzuführen ist (Jemt et al., 2015). Da bereits ein Anstieg des ISQ zu verzeichnen war und röntgenologisch sichtbare Mineralisation im augmentierten Bereich zu erkennen war, deutet dies auf eine begonnene, aber nicht beendete Ossifikation hin. Unter Umständen hätte in diesem Fall durch weiteres Abwarten mit verbesserter Ossifikation des neu gebildeten Knochens mit einem ISQ von mindestens 60 eine Explantation, selbst bei verklemmten Abutment, verhindert werden können (Sennerby, 2013).

Nach drei Monaten erfolgte eine erneute Implantation an gleicher Stelle, die simultan mit einem internen Sinuslift durchgeführt wurde, da aufgrund des vorangegangenen externen Sinuslift bereits ausreichend Residualknochen vorhanden war. Das Implantat konnte nach 3 Monaten Einheilzeit regelgerecht freigelegt und prothetisch versorgt werden.

#### 4.8 Hygieneindizes und klinische Parameter des periimplantären Zustands

Periimplantitis ist definiert als irreversibler pathologischer Vorgang, der durch Entzündung der periimplantären Schleimhaut zum Verlust des periimplantären Knochens führt. Davon abzugrenzen ist die Mukositis, definiert durch eine reversible Entzündung der periimplantären Schleimhaut ohne Beteiligung des Hartgewebes (Smeets et al., 2014). Klinische Symptome sind der positive Befund von BOP oder Pusaustritt, sowie röntgenologisch erkennbarer Knochenabbau (Schwarz et al., 2018). Die Ansammlung von Plaque ist ein Risikofaktor für die Entwicklung einer Mukositis oder Periimplantitis (Pontoriero et al., 1994, Salvi et al., 2012). Weitere Risikofaktoren zur Entstehung einer Periimplantitis können eine bestehende Parodontitis, Medikamenteneinnahme (z.B. Protonenpumpeninhibitoren) und Rauchen sein (Romandini et al., 2021, Casado et al., 2019). Daher ist die adäquate Reinigung, sowohl durch den Patienten als durch Fachpersonal für die Implantatgesundheit entscheidend (Jepsen et al., 2015). Die Prävalenz der Periimplantitis liegt in einer aktuellen Metaanalyse bei 19,53 % auf Patientenebene bei einem Beobachtungszeitraum zwischen 5 und 9 Jahren (Diaz et al., 2022). Weitere Übersichtsarbeiten zeigten ähnliche Ergebnisse mit 22 % bei bis zu 11 Jahren Beobachtungszeitraum (Derks and Tomasi, 2015), 18,8 % bei bis zu 5 Jahren Beobachtungszeitraum (Ting et al., 2018) und 19,83 % bei bis zu 18 Jahren Beobachtungszeitraum (Lee et al., 2017).

In dieser Studie wurden Hygieneindizes aufgenommen, um das individuelle Risiko des Faktors Plaqueakkumulation für die einzelnen Implantate zu bestimmen. Insgesamt

zeigte sich ein mittlerer API zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung von  $42,8 \pm 20$  % bei  $n=19$  Patienten, bzw. von  $44,7 \pm 20,6$  % nach einem Jahr, was als mäßige Mundhygiene eingestuft werden kann. Der PBI betrug im Mittel  $50,7 \pm 20,7$  % bzw.  $48,6 \pm 23,1$  %. Zu beachten ist bei beiden Hygieneindices eine erhöhte Standardabweichung um circa 20 %, die durch stark unterschiedliches Putzverhalten einzelner Patienten zu erklären ist. Unter anderem zeigte ein Patient mit geringem Restzahnbestand hohe Werte auf. Vergleichbare Studien zu finden ist aufgrund der multifaktoriellen Einflüsse wie Erziehung, sozioökonomische Verhältnisse und individuelle Motivation auf das individuelle Mundhygieneverhalten schwierig. Weiterhin werden in der Regel in Studien über externe Sinuslufte im Rahmen eines follow-ups keine Hygieneparameter aufgenommen. Um vergleichbare Werte zu finden und um die Mundhygiene der hier untersuchten Patienten mit anderen Kohorten zu vergleichen, kann zum Beispiel eine Studie aus 2023 verwendet werden. Dabei wurde das Mundhygieneverhalten von 419 männlichen Patienten zwischen 45 und 74 Jahren untersucht. Es zeigte sich ein mittlerer API von 77 % (Pawinska et al., 2023). Eine andere Studie untersuchte den Unterschied zwischen Patienten über 60 Jahre mit und ohne Migrationshintergrund. Es zeigte sich ein API von 55 % und ein PBI von 46,3 % in der Gruppe mit Migrationshintergrund und 33 % bzw. 30,5 % in der Gruppe ohne Migrationshintergrund (Aarabi et al., 2018).

Der API und PBI waren in dieser Studie erhobenen Daten zu beiden Aufnahmezeitpunkten signifikant verknüpft ( $p < 0,001$ ). Das könnte ein Hinweis darauf sein, dass sich die individuelle Mundhygiene der Patienten in dem gemessenen Zeitraum nicht verändert hat. Interessanterweise ist der API nach 1 Jahr prothetischer Versorgung und der krestale Knochenverlust statistisch signifikant abhängig ( $p = 0,011$ ), was darauf rückschließen lassen könnte, dass der krestale Knochenverlust möglicherweise durch Plaqueakkumulation ausgelöst worden ist. Aufgrund des kurzen Beobachtungszeitraum von einem Jahr ist dieser Zusammenhang allerdings kritisch zu hinterfragen. Ein längerer Zeitraum wäre sinnvoll, um diese Abhängigkeit zu bestätigen.

Die Prävalenz von Parodontitis in Deutschland wird im Rahmen der Deutschen Mundgesundheitsstudien (DMS) untersucht. Im Jahr 2005 wurde im Rahmen der DMS V eine Prävalenz für eine moderate Parodontitis von 45,3 % bei 35-44 Jährigen und von 54,1 % bei 65-74 Jährigen festgestellt. Für eine schwere Parodontitis lag die Prävalenz bei 7,8 % und 21,9 % (Micheelis, 2011). In unserer Studie zeigten 47 % der Patienten einen PSI Code von 3, sowie 42 % ein PSI Code von 4, bzw. 52,6 % und 36,9 % nach einem Jahr (positive Korrelation zwischen den Messzeitpunkten von  $p < 0,001$ ). Dies entspricht der Prävalenz der moderaten Parodontitis der DMS IV. Allerdings scheint die schwere Parodontitis wesentlich häufiger in dieser Studie vorzukommen. Kritisch ist bei diesem Vergleich anzumerken, dass sich der PSI ausschließlich auf das Sondieren

bezieht und ein Screening Index ist, der auf das Vorliegen einer Parodontitis hinweisen kann, aber keine Diagnose ist. Höhere Sondierungstiefen mit mehr als 3,5 mm Sondierungstiefen (entspricht einem PSI Code 3 und 4) können auch durch Pseudotaschen in der Molarenregion festgestellt werden, wie auch hier in einigen Patienten mit PSI Code 3 oder 4 der Fall war. Insgesamt wurde bei 7 Patienten im Vorfeld (teilweise auch einige Jahre zuvor) eine Parodontitistherapie erfolgreich durchgeführt.

Das BOP gilt als Indikator für das mögliche Vorliegen einer periimplantären Entzündung (Schwarz et al., 2018). In dieser Studie war das BOP mit 14,8 % zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung und mit 66,7 % nach 1 Jahr prothetischer Versorgung positiv. Die Differenz ist zwischen diesen beiden Werten stark signifikant mit  $p < 0,001$ . Die Sondierungstiefen betragen jedoch zum Ausgangswert  $2,9 \pm 0,5$  mm und nach einem Jahr  $3,1 \pm 0,6$  mm ohne statistisch signifikante Differenz. Es fand keine Eichung des Sondierungsdruck vor der Untersuchung statt, was die Ergebnisse ebenfalls beeinflussen kann. Die damit zu diskutierenden Studien sind unabhängig von Region und Augmentation gewählt aufgrund mangelnder passender Studien, in denen ausschließlich Implantate nach Sinuslift ausgewertet wurden. In einer Studie wurden 47 Patienten mit 53 Implantaten versorgt. Es zeigten sich Sondierungstiefen von  $2,72 \pm 0,05$  mm bei früh gesetzten Implantaten und mittlere Sondierungstiefen von  $2,6 \pm 0,1$  mm bei spät gesetzten Implantaten (Annibali et al., 2011). In einer weiteren Studie wurden 148 Implantaten in einem Beobachtungszeitraum von 10 Jahren untersucht. Es zeigten sich zu Beginn Sondierungstiefen  $2,9 \pm 0,7$  mm mit einem BOP von  $27 \pm 27$  % und nach 10 Jahren  $3,1 \pm 0,8$  mm mit einem BOP von  $34 \pm 29$  % (Mancini et al., 2024). Die Sondierungstiefen in der hier vorliegenden Studie sind im Vergleich mit den berichteten Werten der Literatur vergleichbar. Kritisch zu betrachten ist, dass nur ein geringer Beobachtungszeitraum von 1 Jahr untersucht wurde. Der BOP ist zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle im Vergleich zur Literatur minimal erhöht. Folgen auf den krestalen Knochenabbau konnten zu diesem Zeitpunkt nicht beobachtet werden, ein längerer Beobachtungszeitraum wäre auch hier erforderlich zur besseren Beurteilung möglicher Veränderungen. Das Vorliegen einer Blutung auf Sondierung kann aber auch durch implantatspezifische und patientenspezifische Faktoren beeinflusst sein (Farina et al., 2017). Ebenso zeigte eine Forschungsgruppe, dass der BOP durch den angewendeten Sondierungsdruck unterschiedlich ausgeprägt ist. So wurde bei einem Anstieg des Drucks von 0,1 N auf 0,15 N ebenfalls ein Anstieg des BOP um 13,7 % registriert, was auch ein Grund für falsch positive Werte in dieser Studie sein könnte (Gerber et al., 2009).

## 4.9 Pink Esthetic Score

Der Pink Esthetic Score wurde durch Fürhauser et al. zur Beurteilung der roten Ästhetik eingeführt. Für diese Studie wurde der PES zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung und zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle bestimmt (Fürhauser et al., 2005). Insgesamt beträgt der PES im Mittel  $8,1 \pm 2,9$  und  $8,9 \pm 2,9$ . Die Differenz der Werte ist statistisch nicht signifikant ( $p=0,746$ ). Abb. 32-35 zeigen exemplarisch vier Beispiele, die alle zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle entstanden sind. Abbildungen 29 und 30 zeigen die Implantate mit den prothetischen Versorgung, die den höchsten PES erhielten. Das Narbengewebe im Vestibulum in Abbildung 30 entstammt einer vorangegangenen Wurzelspitzenresektion an Zahn 26. Abbildung 31 zeigt die Krone des Implantats mit dem geringsten PES von 4 zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle. Im Vergleich zu den ersten beiden Abbildungen ist neben dem Fehlen der Papillen auffällig, dass aufgrund des krestalen Niveauunterschiedes zwischen Nachbarzähnen und Implantat die Weichgewebkontur nicht natürlich aussieht und eine Atrophie des Alveolarkamms offensichtlich erscheint. In Abbildung 32 ist ein Fallbeispiel mit Implantaten in Regio 16 und 15 zu sehen, die jeweils einen PES von 9 erhielten. Das Implantat in Regio 14 war zum Zeitpunkt der Versorgung von 15 und 16 bereits versorgt und in Funktion. In Regio 15 und 16 ist die Kontur des Weichgewebes und die Farbe natürlicher, aber die Atrophie des Alveolarkamms ist neben dem Fehlen der Papillen aufgrund der Diskrepanz zwischen den krestalen Niveauunterschiede der Implantate in Regio 16,15 und Zahn 13 offensichtlich.

Die Indikation zur Zahnentfernung war in den Fällen der Abbildungen 29 und 30 endodontologische Misserfolge, bei dem Fall von Abbildung 32 war es eine parodontologische Ursache mit Zahnlockerung. Die Indikation zur Zahnentfernung im Fall von Abbildung 31 ist nicht bekannt. Eine mögliche Erklärung der unterschiedlichen Ergebnisse ist, dass aufgrund der parodontalen Vorschädigung das Hart- und Weichgewebe stärker kompromittiert war. Um dies auszugleichen, wären vertikale Augmentationen und ggf. Weichgewebsaugmentation notwendig gewesen. Dies ist allerdings kritisch zu diskutieren, da es einen deutlichen Mehraufwand und größere Invasivität bedeutet. Weiterhin gaben die meisten Patienten an, mit dem ästhetischen Ergebnis der Versorgung zufrieden zu sein und somit die ästhetische Verbesserung der Gingiva nicht notwendig erschien für den subjektiven Blick des Patienten. Allerdings ist zur klinischen Stabilität eine keratinisierte Mukosa um das Implantat vorteilhaft, da das Fehlen einer keratinisierten Mukosa mit Plaqueakkumulation, Rezessionen und erhöhter Prävalenz von Periimplantitis assoziiert sein kann (Mancini et al., 2024).



Abbildung 29: Regio 26 1-Jahreskontrolle PES 13 (weibliche Patientin, 52 Jahre)



Abbildung 30: Regio 26 1-Jahreskontrolle PES 13 (weibliche Patientin, 44 Jahre)



Abbildung 31: Regio 26 1-Jahreskontrolle PES 4 (männlicher Patient, 43 Jahre)



Abbildung 32: Regio 16,15 1-Jahreskontrolle PES 9 (männlicher Patient, 61 Jahre)

In einer retrospektiven Studie wurden 37 Implantate untersucht, die zuvor mit einem Sinuslift und Eigenknochen versorgt wurden. Nach 10 Jahren wurden die Patienten untersucht bezüglich der subjektiven Zufriedenheit und dem ästhetischen Ergebnis. Dafür wurde unter anderem der PES erhoben. Dieser lag im Mittel bei  $10,1 \pm 2,6$  (Nissen and Starch-Jensen, 2019). Da weitere Studien in einem ähnlichen Setting nicht verfügbar sind, wurden zum weiteren vergleichen Studien gewählt, in denen der Pink Esthetic Score im Seitenzahnbereich erhoben wurde. Viele Studien wurden im Zusammenhang mit Sofortimplantation und Ridge Preservation durchgeführt, was mit dieser Studie schwer zu vergleichen ist. In einer prospektiven Studie wurden zum Beispiel der PES an Implantaten in der Molaren- und Prämolarenregion an 28 Patienten erhoben, um den Einfluss von unterschiedlichen Abformzeitpunkten auf den PES zu untersuchen. Es zeigte sich einen mittleren Wert von  $7,76 \pm 2,14$  in der Gruppe mit einem späteren Abformzeitpunkt und ein mittlerer Wert von  $8,36 \pm 1,12$  in der Gruppe, bei die Abformung simultan zur Implantation durchgeführt wurde. Die Differenz war nicht statistisch signifikant ( $p=0,25$ ) (Genetti et al., 2022). In einer Studie, in der verschiedene Augmentationstechniken im Sinne einer Ridge Preservation untersucht wurden, zeigte die Kontrollgruppe ( $n=30$ ) ohne Augmentation einen mittleren PES von  $6,07 \pm 1,89$  (Marconcini et al., 2018). Die in der Literatur angegebenen Werte weisen eine große Spannweite auf und sind auch im Punkt des jeweiligen Studiendesigns schwer miteinander zu vergleichen. Insgesamt liegt der ermittelte PES dieser Studie im mittleren Bereich, der in der Literatur gefunden Werte. Eine Studie mit längeren Nachbeobachtungszeitraum von 3 Jahren, die Sofortimplantationen im Prämolarenbereich durchgeführt haben, ermittelten einen PES von 9,7 in der Gruppe, bei der auch KEM eingesetzt wurde und 8,14 in der Gruppe, bei der kein KEM eingesetzt wurde. Es zeigten sich am Ende des Beobachtungszeitraums aber stabile klinische und röntgenologische Verhältnisse. Von daher sind PES im mittleren Bereich des Scores nicht als Misserfolg zu verstehen, da es sich um in Funktion stehende, klinisch gesunde Implantate handelt. Allerdings sollten mögliche zu erwartende ästhetische Diskrepanzen, vor allem im Bereich der Weichgewebeästhetik im Vorfeld mit dem Patienten besprochen werden und über alternative Maßnahmen wie zusätzliche Weichgewebsaugmentation aufgeklärt werden.

#### 4.10 Fragebögen

Der erste Fragebogen wurden den Patienten am Tag der Nahtentfernung ausgehändigt. Es wurde das intraoperative als auch das postoperative Erleben abgefragt.

In einer Literaturübersicht arbeiteten O'Dwyer et al. heraus, dass das subjektive Empfinden der Patienten im Rahmen einer Implantatversorgung bereits zu unterschiedlichen Behandlungsschritten untersucht wurde. Dafür unterteilten sie die zusammengefassten Studien in die Abschnitte Erwarten vor der Operation, intraoperatives Erleben und Heilungsphase ein. Insgesamt waren die Erfahrungen der Patienten positiv, wobei einige die Symptomatik in der Heilungsphase unterschätzten. Eine quantifizierte Auswertung im Rahmen der Untersuchung war nicht möglich, da die Fragestellungen der untersuchten Studien nicht vergleichbar waren (O' Dwyer and Riordain, 2021). In einer prospektiven Studie untersuchten Kahn et al. den postoperativen Heilungsverlauf bei n=40 Patienten (Kahn et al., 2021). Jeden Tag nach der Implantation füllten sie einen Fragebogen über den Zustand der Schwellung, die Fähigkeit zu essen und zu sprechen, sowie das Vorhandensein von Blutungen und die Alltags- und Arbeitstauglichkeit aus. Am ersten Tag nach der Operation waren Schwierigkeiten beim Essen (75 %) und Schwellung (62,5 %) die zwei am meisten genannten Ereignisse. Am vierten postoperativen Tag waren die meisten Symptome stark rückläufig und die Patienten konnten ihren Alltag wieder weitestgehend aufnehmen. In den beiden genannten Studien wurden Patienten unabhängig von der Implantatlokalisierung und durchgeführter Augmentation befragt. In einer anderen prospektiven Studie untersuchten Mardinger et al. das intra- und postoperative Erleben bei externen Sinusliftoperationen an 76 Patienten. Es zeigte sich, dass die Alltags- und Arbeitstauglichkeit am ersten Tag am stärksten betroffen war und ab dem vierten Tag weitestgehend wieder hergestellt war. Postoperative Schwellung war das stärkste Symptom, mit einem Maximum an Tag 2 und Verbesserung ab Tag 5. Weitere Symptome waren Nasenbluten (13 %) und Auftreten eines Hämatoms (56 %) (Mardinger et al., 2009). Die meisten Patienten in dieser Studie (85 %) fühlten sich gut auf den Eingriff vorbereitet und bewerteten die Belastung der Operation als insgesamt gut zu ertragen. Nur 15 % der Patienten berichteten von starken Schmerzen nach der Operation. Rund 35 % hatten eine starke Schwellung und 20 % waren im Alltag stark eingeschränkt. Dies sind im Vergleich zu den genannten Studien geringere Ausprägungen. Ein Grund dafür könnten sein, dass die Patienten in unserer Studie den Fragebogen erst am Tag der Nahtentfernung ausfüllten. Die Schwellung, Schmerzen und weitere Symptome waren in der Regel zu diesem Zeitpunkt vollständig rückläufig. Mögliche Einflüsse auf das postoperative Erleben des Patienten wären, ob es sich um einen einseitigen oder beidseitigen Eingriff handelt und ob der Patient eine ansonsten festsitzende Versorgung hat oder eine herausnehmbare Versorgung, die er aufgrund der Schwellung die ersten 4-5 Tage nach der Operation nicht tragen kann. Diese könnten die Einschränkungen im Alltag erheblich beeinflussen.

Ein weiterer Fragebogen wurde nach einem Jahr prothetischer Versorgung ausgefüllt und erfragte die Patientenzufriedenheit mit dem Zahnersatz.

In einer Studie zur Patientenzufriedenheit in der Implantologie aus dem Jahr 2002 zeigten sich 87 % der Befragten (n=199) als zufrieden mit der Implantatversorgung und 80 % mit der prothetischen Versorgung. Rund 91 % würden sich erneut operieren lassen und 94 % würden diese Versorgung weiterempfehlen. Diese Studie nahm zusätzlich eine klinische Untersuchung der Implantate vor, es zeigten sich keine signifikanten Korrelationen zwischen Patientenzufriedenheit und klinischem Befund (Buch et al., 2002). In einer weiteren Studie aus 2023 wurden 196 Patienten zu ihren Implantatversorgungen befragt. Auch hier zeigten sich gute Ergebnisse bezüglich der Gesamtzufriedenheit (85,04 %). Rund 79,3 % der Patienten würden sich erneut operieren lassen und 86,16 % würden die Versorgung weiterempfehlen. Interessanterweise zeigten die Daten dieser Studie einen statistisch signifikanten negativen Einfluss auf die Patientenzufriedenheit, wenn ein externer Sinuslift durchgeführt werden musste (Pradyachaipimol et al., 2023). In einer weiteren Studie mit 400 befragten Patienten, die postalisch einen Fragebogen mit 19 Items zugesandt bekommen hatten, zeigte sich ebenfalls eine hohe Zufriedenheit von 94 % bezüglich der Implantatversorgung nach einer mittleren Beobachtungszeit von 10 Jahren (Adler et al., 2016).

In dieser Studie zeigten sich ebenfalls hohe Patientenzufriedenheiten nach prothetischer Versorgung. So gaben 94,7 % der Patienten an, dass die Implantatversorgung ihren Erwartungen entsprach und 89,5 % würden sich nochmal für eine Implantatversorgung mit Sinuslift entscheiden. Alle Patienten würden die Implantatversorgung weiterempfehlen. Zu beachten ist, dass in dem Fall dieser Studie das Patientenkollektiv wesentlich kleiner ausfiel als in den bereits zitierten Studien. Die Fragebögen dieser Studie wurden im Rahmen der Nachuntersuchung ausgefüllt, während in der Studie von Adler et al. die Fragebögen postalisch zugesandt wurden (Adler et al., 2016). Kritisch betrachtet kann das Ausfüllen vor Ort in Anwesenheit von Behandlern und Mitarbeitern dazu führen, dass Patienten den Fragebogen wohlwollender ausfüllen, als sie es zuhause getan hätten, gemäß dem Hawthorne Effekt (Roethlisberger and Dickson, 2003).

Insgesamt zeigte sich eine hohe Zufriedenheit der Patienten. In weiteren Studien ist die Entwicklung und Verwendung von standardisierten, validierten, auf Implantation spezialisierten Fragebögen als sinnvoll zu erachten, da so eine Vergleichbarkeit der Aussagen zwischen unterschiedlichen Operationsverfahren und unterschiedlichen Studiensettings möglich ist.

## 4.11 Schlussfolgerung

In dieser prospektiven Untersuchung wurde der Erfolg von externen Sinuslifts mit autologem Knochen und A-PRF untersucht. Dafür wurden röntgenologische und klinische Parameter verwendet, sowie ein Nachuntersuchungszeitraum von einem Jahr nach prothetischer Versorgung festgelegt. Diese wurden in Zusammenhang mit patienten- und implantatbezogenen Parameter betrachtet. Unter den Berücksichtigungen der Limitationen dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die hier verwendete Operationstechnik erfolgreich zur Gewinnung von neuem apikalem Knochen führt und in Bereichen mit geringem Restknochen zur Osseointegration beitragen kann. Es zeigten sich statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen Residualknochen und apikalem Knochenzugewinn, sowie zwischen apikalem Knochenzugewinn und Geschlecht. Je geringer der Restknochen war, desto größer war der apikale Knochenzugewinn, was die Bedeutung des „Tenting Effects“ für diese Operationstechnik bestätigt. Weiterhin war der Insertions-Torque bei männlichen Patienten signifikant höher als bei weiblichen Patientinnen. Es zeigte sich statistisch signifikant, dass bei geringerem Residualknochen initial ein niedriger ISQ gemessen wurde. Zum Zeitpunkt der Einheilung zeigten sich wiederum keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen dem finalen ISQ und der ursprünglichen Residualknochenhöhen. Das weist auf eine Zunahme der Osseointegration hin, vor allem in Fällen mit geringer Residualknochenhöhe. Nach Einheilung war der ISQ aber bei älteren Patienten signifikant niedriger im Vergleich zu jüngeren Patienten.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen eine hohe Überlebenswahrscheinlichkeit und Erfolgsrate, die mit den aus der Literatur bekannten Werten für ersatzmaterialfreie Sinuslifts vergleichbar sind. Die Notwendigkeit des Einsatzes von Knochenersatzmaterial bei externen Sinuslifts ist aufgrund der Ergebnisse dieser Studie und internationaler Studien zur Thematik somit zur Diskussion zu stellen. Weitere randomisierte kontrollierte klinische Studien sollten die positiven Effekte von A-PRF untersuchen.

## 5 Zusammenfassung/Abstract

**Einleitung** Zur Wiederherstellung atrophiertes Kieferkämme gilt die Augmentation des Sinusbodens als verlässliches Verfahren. In dieser Studie wurde die Verwendung von autologem Knochen mit A-PRF als alleiniges Augmentationsmaterial bei simultaner Implantation untersucht. Die Ergebnisse wurden sowohl auf patienten- als auch auf implantatbezogene Einflüsse untersucht, sowie ein Beobachtungszeitraum von 1 Jahr nach prothetischer Versorgung gewählt, um Implantatüberleben und periimplantäres knöchernes Remodelling zu beobachten und mit den Ergebnissen anderer Studien zu vergleichen,

**Material und Methoden** Insgesamt wurden 28 Implantate an 20 Patienten im Rahmen eines externen Sinuslift mit Eigenknochen und Verwendung von A-PRF gesetzt und danach prospektiv untersucht. Im Zeitraum von April 2022 bis Oktober 2024 wurden die Patienten in einer niedergelassenen Praxis operiert, versorgt und nachuntersucht. Alle Implantate wurden in einem einzeitigen Operationverfahren unter Verwendung von mit Bone Scrapern gesammelten Eigenknochen und A-PRF simultan zum externen Sinuslift inseriert. Der Nachbeobachtungszeitraum nach prothetischer Versorgung betrug 1 Jahr. Zur Beurteilung der apikalen und krestalen Knochenverhältnisse wurden Röntgenaufnahmen zum Zeitpunkt der Implantation und zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle durchgeführt. Zur Beurteilung der klinischen Stabilität wurde intraoperativ der Insertions-Torque bestimmt und mittels Resonanzfrequenzaufnahme (RFA) der Implant-Stability-Quotient (ISQ) zum Zeitpunkt der Implantation und zum Zeitpunkt der Einheilung bestimmt. Weiterhin wurden zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung und zur 1- Jahreskontrolle Hygieneindices (API, PBI, PSI), sowie Blutung auf Sondierung (BOP) und der Pink Esthetic Score (PES) bestimmt. Zur Untersuchung der Patientenzufriedenheit, wurden Fragebögen nach der Operation und zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle erhoben. Die deskriptive Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit SPSS (IBM, Armonk, New York, USA). Es wurden Regressionsanalysen zur Untersuchung möglicher Beeinflussung des apikalen und krestalen Knochens, des ISQ, des Insertions-Torques durch Implantatart, Region, Alter, Geschlecht durchgeführt. Bezüglich des apikalen Knochenzugewinns wurde zusätzliche eine mögliche Abhängigkeit der bukkopalatinalen Distanz und der Anwesenheit von Nachbarzähnen untersucht. Bezüglich des krestalen Knochens wurde eine mögliche Abhängigkeit durch die Hygieneparameter und die Art und Befestigung der prothetischen Versorgung untersucht. Weiterhin erfolgte Bestimmung der Überlebenswahrscheinlichkeit nach Kaplan und Meier, sowie die Intra- und Interobserver-Reliabilität bei der Auswertung der Röntgenbilder und der PES. Die Fragebögen wurden ausgewertet und mittels Spearman-Analyse auf Korrelationen zwischen den Items und dem PES überprüft.

**Ergebnisse** Nach einem Jahr Beobachtungszeit zeigte sich eine Überlebenswahrscheinlichkeit und Erfolgsrate von 96,4 %. Ein Implantat ging vor prothetischer Versorgung verloren. Die mittlere Einheilzeit betrug  $4 \pm 1,1$  Monate und die Beobachtungszeit zwischen prothetischer Versorgung und 1-Jahreskontrolle betrug im Mittel  $11,8 \pm 0,8$  Monate.

Ausgehend von einer mittleren Residualknochenhöhe von  $4,4 \pm 1,7$  mm konnte ein mittlerer apikaler Knochengewinn von  $5,1 \pm 2,1$  mm erzielt werden. Der ISQ zum Zeitpunkt der Implantation betrug im Mittel  $53,1 \pm 16,8$  und zum Zeitpunkt der Einheilung  $66,9 \pm 9,6$ . Der Insertions-Torque betrug im Mittel  $22,6 \pm 7,3$  Ncm bei der Implantation. Es zeigten sich statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen apikalen Knochengewinn und Residualknochen ( $p=0,030$ ), je geringer der Residualknochen, desto größer war der apikale Knochenzugewinn. Weiterhin zeigten sich ein Zusammenhang zwischen Insertions-Torque und Geschlecht ( $p=0,043$ ), bei männlichen Patienten war der Insertions-Torque höher. Der initiale ISQ und der Residualknochen ( $p=0,019$ ) zeigten ebenfalls einen statistischen Zusammenhang, der zeigte, dass bei geringerer Residualknochenhöhe ein niedriger ISQ vorhanden war. Der finale ISQ und das Alter der Patienten standen ebenfalls im signifikanten Zusammenhang, ältere Patienten wiesen einen geringeren ISQ nach Einheilung auf ( $p=0,034$ ). Die Perforation der Schneiderschen Membran hatte keinen signifikanten Einfluss auf den apikalen Knochengewinn ( $p=0,975$ ). Der krestale Knochenverlust betrug im Mittel  $0,3 \pm 0,4$  mm zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle nach prothetischer Versorgung. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang wurde zwischen dem Approximalen Plaque Index und dem krestalen Knochenverlust festgestellt, der auf einen negativen Einfluss eines erhöhten API auf den krestalen Knochenverlust hinweist ( $p=0,011$ ). Weiterhin zeigte sich ein signifikanter Anstieg des BOP zwischen prothetischer Versorgung und 1-Jahreskontrolle ( $p<0,001$ ). Für den PES zeigten sich mittlere Werte von  $8,1 \pm 2,9$  zum Zeitpunkt der prothetischen Versorgung und von  $8,9 \pm 2,9$  zum Zeitpunkt der 1-Jahreskontrolle.

**Schlussfolgerungen** Die hohe Überlebens- und Erfolgsrate über einen Zeitraum von 1 Jahr zeigen, dass der externe Sinuslift mit autologem Knochen und A-PRF ein zuverlässiges und klinisch erfolgreiches Verfahren darstellt, um Implantatversorgungen in der posterioren Maxilla bei geringem Residualknochen durchzuführen zu können. Die Ergebnisse der RFA zeigten, dass eine signifikante Zunahme der Osseointegration der Implantate über die Zeit zu beobachten war. Weiterhin wurden durch die röntgenologischen Untersuchungen eine Zunahme des apikalen Knochens, insbesondere bei geringen Residualknochenhöhe deutlich. Membranperforationen hatten keinen negativen Einfluss auf Implantatüberleben und apikalen Knochengewinn. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass der simultan zur Implantation

durchgeführte externe Sinuslift mit Eigenknochen und A-PRF auch bei geringen Residualknochenhöhen erfolgreich sein kann. Die Verwendung von zweizeitigen Operationen und der Einsatz von Knochenersatzmaterial kann für diese Indikation kritisch zu hinterfragen sein.

## English abstract

### Introduction and purpose

Sinus floor augmentation is a reliable procedure for reconstructing atrophic alveolar ridges in the maxilla. This study investigated the use of autologous bone with A-PRF as the sole augmentation material with simultaneous implant placement. The results were analyzed for both patient- and implant-related factors, and an observation period of 1 year after prosthetic restoration was chosen to observe implant survival and peri-implant bone remodeling and to compare these results with other studies,

### Materials and Methods

A total of 28 implants in 20 patients were placed with external sinus floor augmentation in a one-stage surgery. The treatments were conducted in a private practice in Hamburg, Germany between April 2022 and October 2024, including the one-year follow up. All implants were placed during a one-stage surgical procedure, using autologous bone harvested with bone scrapers and A-PRF. A follow-up period after prosthetic rehabilitation was determined for one year. Radiographs were taken to evaluate changes of crestal and apical bone at the time of implant placement and at one-year follow-up. To assess clinical stability the insertion torque was determined at the time of implant placement. Implant Stability Quotient (ISQ) using resonance frequency analysis (RFA) was also measured at implant placement and at the end of the healing period. Furthermore, hygiene indices (API, PBI, PSI), bleeding on probing (BOP) and the Pink Esthetic Score (PES) were determined at the time of prosthetic restoration and at the 1-year follow-up. To investigate patient satisfaction, questionnaires were collected after the operation and at the 1-year follow-up. The descriptive analysis of the collected data was performed with SPSS (IBM, Armonk, New York, USA). Regression analyses were performed to investigate the possible influence of implant type, region, age and sex on apical and crestal bone, ISQ and insertion torque. Regarding apical bone gain, a possible dependence of the buccopalatal distance and the presence of neighbouring teeth was also investigated. Regarding the crestal bone, a possible dependency on the hygiene parameters and the type and attachment of the prosthetic restoration was investigated. Furthermore, the probability of survival according to Kaplan and Meier was determined, as well as the intra- and interobserver reliability in the evaluation of the radiographs and the PES. The questionnaires were evaluated and checked for correlations between the items and the PES using Spearman analysis.

### Results

After one-year follow up, a survival rate and success rate of 96,4 % was observed. One implant failed before prosthetic rehabilitation. The mean healing period was  $4 \pm 1,1$

months, and the mean observation period between placement of prosthetic restoration and one-year follow-up was  $11,8 \pm 0,8$  months. Based on a mean residual bone height of  $4,4 \pm 1,7$  mm, a mean apical bone gain of  $5,1 \pm 2,1$  mm was achieved. The mean ISQ value at the time of implantat placement was  $53,1 \pm 16,8$ , increasing to  $66,9 \pm 9,6$  after healing. The mean insertion torque was  $22,6 \pm 7,3$  Ncm. A statistically significant correlation was found between apical bone formation and residual bone height ( $p=0,030$ ), the lower the residual bone height, the greater the apical bone gain. A correlation was also found between insertion torque and sex ( $p=0,043$ ), with male patients showing higher insertion torque values. Initial ISQ and residual bone height also demonstrated a statistical correlation ( $p=0,019$ ), meaning that lower residual bone height was associated with lower initial ISQ values. Final ISQ and patient age were also significantly correlated, as older patients showed lower ISQ values after the healing period ( $p=0,034$ ). The perforation of the Schneiderian membrane had no significant effect on apical bone gain ( $p=0,975$ ). The mean crestal bone loss was  $0,3 \pm 0,4$  mm at the 1-year follow-up after prosthetic restoration. A statistically significant correlation was identified between approximal plaque index (API) and crestal bone loss, indicating a negative impact of increased API on crestal bone loss ( $p=0,011$ ). In addition, a significant increase in BOP was found between prosthetic rehabilitation and the one-year follow-up ( $p < 0,001$ ). The mean PES was  $8,1 \pm 2,9$  at the time of prosthetic rehabilitation, increasing to  $8,9 \pm 2,9$  at the one-year follow-up.

## Conclusions

The high survival and success rates over a period of one year indicate that the external sinus floor augmentation with autologous bone and A-PRF is a reliable and clinically successful procedure to perform implant restoration in the posterior maxilla with limited residual bone height. The results of the RFA showed that a significant increase in osseointegration of the implants was observed over time. Furthermore, the radiographic evaluations revealed an increase in apical bone height, particularly in cases with low residual bone height. Membrane perforations had no negative influence on implant survival or apical bone gain. Overall, the results illustrate that the external sinus floor augmentation with autologous bone and A-PRF performed simultaneously with implantat placement can be a successful approach even in cases with low residual bone heights. This raises critical questions regarding the necessity of staged procedures and the use of bone graft materials for this indication.

## 6 Literaturverzeichnis

- Aarabi, G., Reissmann, D. R., Seedorf, U., Becher, H., Heydecke, G. & Kofahl, C. (2018). Oral health and access to dental care - a comparison of elderly migrants and non-migrants in Germany. *Ethn Health*, 23(7): 703-717.
- Abi-Aad, H. L., Daher, F. I., Baba, N. Z., Cordioli, G. & Majzoub, Z. a. K. (2019). Insertion Torque of Variable-Thread Tapered Implants in the Posterior Maxilla: A Clinical Study. *J Prosthodont*, 28(2): e788-e794.
- Adler, L., Liedholm, E., Silvegren, M., Modin, C., Buhlin, K. & Jansson, L. (2016). Patient satisfaction 8-14 years after dental implant therapy - a questionnaire study. *Acta Odontol Scand*, 74(5): 423-429.
- Aimetti, M., Massei, G., Morra, M., Cardesi, E. & Romano, F. (2008). Correlation between gingival phenotype and Schneiderian membrane thickness. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 23(6): 1128-1132.
- Ainamo, J. & Bay, I. (1975). Problems and proposals for recording gingivitis and plaque. *International dental journal*, 25(4): 229-235.
- Al-Dajani, M. (2016). Incidence, Risk Factors, and Complications of Schneiderian Membrane Perforation in Sinus Lift Surgery: A Meta-Analysis. *Implant Dentistry*, 25(3): 409-415.
- Al-Moraissi, E., Elsharkawy, A., Abotaleb, B., Alkebsi, K. & Al-Motwakel, H. (2018). Does intraoperative perforation of Schneiderian membrane during sinus lift surgery causes an increased the risk of implants failure?: A systematic review and meta regression analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 20(5): 882-889.
- Al-Nawas, B., Brahm, R. & Grötz, K. (2002). Resonanzfrequenzanalyse zur noninvasiven Analyse der Primärstabilität enossaler Implantate in vivo. *Zeitschrift für Zahnärztliche Implantologie*, 18(3): 142-148.
- Albrektsson, T., Brånemark, P. I., Hansson, H. A. & Lindström, J. (1981). Osseointegrated Titanium Implants: Requirements for Ensuring a Long-Lasting, Direct Bone-to-Implant Anchorage in Man. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 52(2): 155-170.
- Albrektsson, T. & Johansson, C. (2001). Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *European Spine Journal*, 10(Suppl 2): S96-S101.
- Albrektsson, T., Zarb, G., Worthington, P. & Eriksson, A. R. (1986). The Long-Term Efficacy of Currently Used Dental Implants: a Review and Proposed Criteria of Success. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 1(1): 11-25.
- Alsousou, J., Thompson, M., Hulley, P., Noble, A. & Willett, K. (2009). The biology of platelet-rich plasma and its application in trauma and orthopaedic surgery: a review of the literature. *J Bone Joint Surg Br*, 91(8): 987-996.
- Annibali, S., Bignozzi, I., Iacovazzi, L., La Monaca, G. & Cristalli, M. P. (2011). Immediate, early, and late implant placement in first-molar sites: a retrospective case series. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 26(5): 1108-1122.
- Aoki, N., Maeda, M., Kurata, M., Hirose, M., Ojima, Y., Wada, K. & Shibuya, Y. (2018). Sinus floor elevation with platelet-rich fibrin alone: A Clinical retrospective study of 1-7 years. *J Clin Exp Dent*, 10(10): e984-e991.
- Arab, H. R., Moeintaghavi, A., Shiezadeh, F. & Nezhad, M. H. (2018). Crestal Sinus Floor Elevation with Autogenous Press-Fit Dowel Bone Harvested Using Trepine Drills: A New Method. *J Long Term Eff Med Implants*, 28(3): 209-214.
- Ardekian, L., Oved-Peleg, E., Mactei, E. E. & Peled, M. (2006). The Clinical Significance of Sinus Membrane Perforation During Augmentation of the Maxillary Sinus. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 64(2): 277-282.
- Atwood, D. A. (1962). Some clinical factors related to rate of resorption of residual ridges. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 12(3): 441-450.
- Aumüller, G., Aust, G., Doll, A., Engele, J., Kirsch, J., Mense, S., Reißig, D., Salvetter, J., Schmidt, W., Schmitz, F., Schulte, E., Spanel-Borowski, K., Wolff, W.,

- Wurzinger, L. J. & Zilch, H. G. (2007) *Duale Reihe Anatomie*, Stuttgart Georg Thieme Verlag KG.
- Avila, G., Wang, H. L., Galindo-Moreno, P., Misch, C. E., Bagramian, R. A., Rudek, I., Benavides, E., Moreno-Riestra, I., Braun, T. & Neiva, R. (2010). The influence of the bucco-palatal distance on sinus augmentation outcomes. *Journal of Periodontology*, 81(7): 1041-1050.
- Ayna, M., Açil, Y. & Gulses, A. (2015). Fate of a Bovine-Derived Xenograft in Maxillary Sinus Floor Elevation After 14 Years: Histologic and Radiologic Analysis. *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 35(4): 541-547.
- Bassi, A., Pioto, R., Faverani, L., Canestraro, D. & Fontao, F. (2015). Maxillary sinus lift without grafting, and simultaneous implant placement: a prospective clinical study with a 51-month follow-up. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 44(7): 902-907.
- Becker, S. T., Terheyden, H., Steinriede, A., Behrens, E., Springer, I. & Wiltfang, J. (2008). Prospective observation of 41 perforations of the Schneiderian membrane during sinus floor elevation. *Clinical Oral Implants Research*, 19(12): 1285-1289.
- Belser, U., Buser, D. & Higginbottom, F. (2004). Consensus statements and recommended clinical procedures regarding esthetics in implant dentistry. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 19(Suppl): 73-74.
- Berbéri, A., Al-Nemer, F., Hamade, E., Noujeim, Z., Badran, B. & Zibara, K. (2017). Mesenchymal stem cells with osteogenic potential in human maxillary sinus membrane: an in vitro study. *Clinical Oral Investigations*, 21(5): 1599-1609.
- Bernardi, S., Macchiarelli, G. & Bianchi, S. (2020). Autologous Materials in Regenerative Dentistry: Harvested Bone, Platelet Concentrates and Dentin Derivates. *Molecules*, 25(22): 5330.
- Bernhardt, R., Kuhlisch, E., Schulz, M. C., Eckelt, U. & Stadlinger, B. (2012). Comparison of bone-implant contact and bone-implant volume between 2D-histological sections and 3D-SRμCT slices. *European Cells and Materials*, 23237-247.
- Bodic, F., Hamel, L., Lerouxel, E., Baslé, M. F. & Chappard, D. (2005). Bone loss and teeth. *Joint Bone Spine*, 72(3): 215-221.
- Boivin, G. & Meunier, P. (2002). The Degree of Mineralization of Bone Tissue Measured by Computerized Quantitative Contact Microradiography. *Calcified Tissue International*, 70(6): 503.
- Bonewald, L. F. (2007). Osteocytes as Dynamic Multifunctional Cell. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1116(1): 281-290.
- Branemark, P.-I., Zarb, G. & Albrektsson, T. (1985) *Gewebeintegrierter Zahnersatz: Osseointegration in klinischer Zahnheilkunde*, Berlin, Quintessenz Verlag-GmbH.
- Bressan, E., Sbricoli, L., Guazzo, R., Tocco, I., Roman, M., Vindigni, V., Stellini, E., Gardin, C., Ferroni, L. & Sivoletta, S. (2013). Nanostructured surfaces of dental implants. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(1): 1918-1931.
- Buch, R., Weibrich, G. & Wagner, W. (2003). Erfolgskriterien in der Implantologie. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 7(1): 42-46.
- Buch, R., Weibrich, G., Wegener, J. & Wagner, W. (2002). Patientenzufriedenheit in der Implantologie. *Oral and Maxillofacial Surgery*, 6(6): 433-436.
- Buser, D., Weber, H.-P. & Lang, N. P. (1990). Tissue integration of non-submerged implants. I-year results of a prospective study with 100 ITI hollow-cylinder and hollow-screw implants. *Clinical Oral Implants Research*, 1(1): 33-40.
- Casado, P. L., Aguiar, T., Fernandes Pinheiro, M. P., Machado, A. & Da Rosa Pinheiro, A. (2019). Smoking as a Risk Factor for the Development of Periimplant Diseases. *Implant Dent*, 28(2): 120-124.
- Caubet, J., Petzold, C., Sáez-Torres, C., Morey, M., Iriarte, J. I., Sánchez, J., Torres, J. J., Ramis, J. M. & Monjo, M. (2011). Sinus graft with safescraper: 5-year results. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69(2): 482-490.

- Cecchinato, D., Parpaiola, A. & Lindhe, J. (2013). A cross-sectional study on the prevalence of marginal bone loss among implant patients. *Clin Oral Implants Res*, 24(1): 87-90.
- Chanavaz, M. (1990). Maxillary sinus: anatomy, physiology, surgery, and bone grafting related to implantology - eleven years of surgical experience (1979-1990). *The Journal of Oral Implantology*, 16(3): 199-209.
- Chaushu, L., Better, H., Xavier, S. P., Naishlos, S., Nissan, J. & Chaushu, G. (2018). THE EFFICACY OF BONE SCRAPER FOR BONE WINDOW OSTEOTOMY IN THE COURSE OF SINUS AUGMENTATION. *Stomatology EDU Journal*, 5(3): 179-181.
- Chitsazi, M. T., Dehghani, A. H., Babaloo, A. R., Amini, S. & Kokabi, H. (2018). Radiographic comparison of density and height of posterior maxillary bone after open sinus lift surgery with and without PRF. *Journal of Advanced Periodontology & Implant Dentistry*, 10(2): 43-49.
- Claes, L., Eckert-Hübner, K. & Augat, P. (2002). The effect of mechanical stability on local vascularization and tissue differentiation in callus healing. *J Orthop Res*, 20(5): 1099-10105.
- Colnot, C. (2009). Skeletal cell fate decisions within periosteum and bone marrow during bone regeneration. *Journal of Bone and Mineral Research*, 24(2): 274-282.
- Cömert Kılıç, S., Güngörmüş, M. & Parlak, S. N. (2017). Histologic and histomorphometric assessment of sinus-floor augmentation with beta-tricalcium phosphate alone or in combination with pure-platelet-rich plasma or platelet-rich fibrin: A randomized clinical trial. *Clinical implant dentistry and related research*, 19(5): 959-967.
- Cottrell, J. A., Turner, J. C., Arinzech, T. L. & O'connor, J. P. (2016). The Biology of Bone and Ligament Healing. *Foot and Ankle Clinics*, 21(4): 739-761.
- Cricchio, G., Sennerby, L. & Lundgren, S. (2011). Sinus bone formation and implant survival after sinus membrane elevation and implant placement: a 1- to 6-year follow-up study. *Clin Oral Implants Res*, 22(10): 1200-1212.
- Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3): 297-334.
- Currey, J. D. (2003). The many adaptations of bone. *The Journal of Biomechanics*, 36(10): 1487-1495.
- Cutress, T. W., Ainamo, J. & Sardo-Infirri, J. (1987). The community periodontal index of treatment needs (CPITN) procedure for population groups and individuals. *Int Dent J*, 37(4): 222-233.
- Damoulis, P. D. & Hauschka, P. V. (1997). Nitric oxide acts in conjunction with proinflammatory cytokines to promote cell death in osteoblasts. *Journal of Bone and Mineral Research*, 12(3): 412-422.
- Danesh-Sani, S., Engebretson, S. P. & Janal, M. (2017). Histomorphometric results of different grafting materials and effect of healing time on bone maturation after sinus floor augmentation: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Periodontal Research*, 52(3): 301-312.
- Dannewitz, B., Holtfreter, B. & Eickholz, P. (2021). Parodontitis – Therapie einer Volkskrankheit. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 64(8): 931-940.
- Darriba, I., Seidel, A., Moreno, F., Botelho, J., Machado, V., Mendes, J. J., Leira, Y. & Blanco, J. (2023). Influence of low insertion torque values on survival rate of immediately loaded dental implants: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*, 50(2): 158-169.
- Dawirs, K. & Haßfeld, S. (2016). Sinusbodenelevation. *Der MKG-Chirurg*, 9(1): 12-19.
- De Almeida Ferreira, C. E., Martinelli, C. B., Novaes Jr, A. B., Pignaton, T. B., Guignone, C. C., De Almeida, A. L. G. & Saba-Chujfi, E. (2017). Effect of Maxillary Sinus Membrane Perforation on Implant Survival Rate: A

- Retrospective Study. *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 32(2): 401-407.
- De Vicente, J. C., Hernández-Vallejo, G., Braña-Abascal, P. & Peña, I. (2010). Maxillary sinus augmentation with autologous bone harvested from the lateral maxillary wall combined with bovine-derived hydroxyapatite: clinical and histologic observations. *Clinical Oral Implants Research*, 21(4): 430-438.
- Degidi, M., Daprile, G. & Piattelli, A. (2013). Primary stability determination of implants inserted in sinus augmented sites: 1-step versus 2-step procedure. *Implant Dent*, 22(5): 530-533.
- Del Fabbro, M., Corbella, S., Weinstein, T., Ceresoli, V. & Taschieri, S. (2012). Implant Survival Rates after Osteotome-Mediated Maxillary Sinus Augmentation: A Systematic Review. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14e159-e168.
- Derks, J. & Tomasi, C. (2015). Peri-implant health and disease. A systematic review of current epidemiology. *J Clin Periodontol*, 42 158-171.
- Deutzmann, R. & Bruckner, P. (2014). Knorpel- und Knochengewebe. In: *Löffler/Petrides Biochemie und Pathobiochemie*. HEINRICH, P. C., MÜLLER, M. & GRAEVE, L. (Hrsg.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag
- Di Lallo, S., Ricci, L., Orecchioni, S., Piattelli, A., Iezzi, G. & Perrotti, V. (2014). Resonance frequency analysis assessment of implants placed with a simultaneous or a delayed approach in grafted and nongrafted sinus sites: a 12-month clinical study. *Clin Implant Dent Relat Res*, 16(3): 394-400.
- Diaz, P., Gonzalo, E., Villagra, L. J. G., Miegimolle, B. & Suarez, M. J. (2022). What is the prevalence of peri-implantitis? A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 22(1): 449.
- Díaz-Olivares, L. A., Cortés-Bretón Brinkmann, J., Martínez-Rodríguez, N., Martínez-González, J. M., López-Quiles, J., Leco-Berrocal, I. & Meniz-García, C. (2021a). Management of Schneiderian membrane perforations during maxillary sinus floor augmentation with lateral approach in relation to subsequent implant survival rates: a systematic review and meta-analysis. *Int J Implant Dent*, 7(1): 91.
- Díaz-Olivares, L. A., Cortés-Bretón Brinkmann, J., Martínez-Rodríguez, N., Martínez-González, J. M., López-Quiles, J., Leco-Berrocal, I. & Meniz-García, C. (2021b). Management of Schneiderian membrane perforations during maxillary sinus floor augmentation with lateral approach in relation to subsequent implant survival rates: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Implant Dentistry*, 7(1): 91.
- Dinato, T. R., Grossi, M. L., Teixeira, E. R., Dinato, J. C., Sczapanik, F. S. C. & Gehrke, S. A. (2016). Marginal Bone Loss in Implants Placed in the Maxillary Sinus Grafted With Anorganic Bovine Bone: A Prospective Clinical and Radiographic Study. *Journal of Periodontology*, 87(8): 880-887.
- Diss, A., Dohan, D. M., Mouhyi, J. & Mahler, P. (2008). Osteotome sinus floor elevation using Choukroun's platelet-rich fibrin as grafting material: a 1-year prospective pilot study with microthreaded implants. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 105(5): 572-579.
- Dohan, D. M., Choukroun, J., Diss, A., Dohan, S. L., Dohan, A. J., Mouhyi, J. & Gogly, B. (2006a). Platelet-rich fibrin (PRF): a second-generation platelet concentrate. Part I: technological concepts and evolution. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 101(3): 37-44.
- Dohan, D. M., Choukroun, J., Diss, A., Dohan, S. L., Dohan, A. J. J., Mouhyi, J. & Gogly, B. (2006b). Platelet-rich fibrin (PRF): A second-generation platelet concentrate. Part II: Platelet-related biologic features. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*, 101(3): 45-50.
- Dohan Ehrenfest, D. M., Del Corso, M., Diss, A., Mouhyi, J. & Charrier, J.-B. (2010). Three-Dimensional Architecture and Cell Composition of a Choukroun's Platelet-Rich Fibrin Clot and Membrane. *Journal of Periodontology*, 81(4): 546-555.

- Dohle, E., Schmeinck, L., Parkhoo, K., Sader, R. & Ghanaati, S. (2024). Platelet rich fibrin as a bioactive matrix with proosteogenic and proangiogenic properties on human healthy primary cells in vitro. *Platelets*, 35(1): 2316744.
- Dongo, V., Von Krockow, N., Martins-Filho, P. R. S. & Weigl, P. (2018). Lateral sinus floor elevation without grafting materials. Individual-and aggregate-data meta-analysis. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 46(9): 1616-1624.
- El Chaar, E. & Rutkowski, J. L. (2022). Is Autogenous Bone Still the "Gold Standard" in Oral Bone Grafting? *J Oral Implantol*, 48(1): 1.
- Elian, S. & Abdelaal, A. (2024). Measurement of Implant Insertion Torque in Intentionally Undersized Osteotomy Site Preparation in the Posterior Maxilla: A Prospective Clinical Study. *Journal of Oral Implantology*, 50(2): 119-124.
- Esposito, M., Grusovin, M. G., Chew, Y. S., Coulthard, P. & Worthington, H. V. (2009). One-stage versus two-stage implant placement. A Cochrane systematic review of randomised controlled clinical trials. *Eur J Oral Implantol*, 2(2): 91-99.
- Farina, R., Filippi, M., Brazioli, J., Tomasi, C. & Trombelli, L. (2017). Bleeding on probing around dental implants: a retrospective study of associated factors. *Journal of Clinical Periodontology*, 44(1): 115-122.
- Felice, P., Pistilli, R., Piattelli, M., Soardi, E., Barausse, C. & Esposito, M. (2014). 1-stage versus 2-stage lateral sinus lift procedures: 1-year post-loading results of a multicentre randomised controlled trial. *Eur J Oral Implantol*, 7(1): 65-75.
- Florencio-Silva, R., Sasso, G. R. D. S., Sasso-Cerri, E., Simões, M. J. & Cerri, P. S. (2015). Biology of Bone Tissue: Structure, Function, and Factors That influence Bone Cells. *BioMed Research International*, 2015421746.
- Fretwurst, T., Gad, L. M., Nelson, K. & Schmelzeisen, R. (2015). Dentoalveolar reconstruction: modern approaches. *Current Opinion in Otolaryngology & Head and Neck Surgery*, 23(4): 316-322.
- Fretwurst, T., Spanou, A., Nelson, K., Wein, M., Steinberg, T. & Stricker, A. (2014). Comparison of four different allogeneic bone grafts for alveolar ridge reconstruction: a preliminary histologic and biochemical analysis. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 118(4): 424-431.
- Froum, S. J., Tarnow, D. P., Wallace, S. S., Rohrer, M. D. & Cho, S. C. (1998). Sinus floor elevation using anorganic bovine bone matrix (OsteoGraf/N) with and without autogenous bone: a clinical, histologic, radiographic, and histomorphometric analysis--Part 2 of an ongoing prospective study. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 18(6): 528-543.
- Fürhauser, R., Florescu, D., Benesch, T., Haas, R., Mailath, G. & Watzek, G. (2005). Evaluation of soft tissue around single-tooth implant crowns: the pink esthetic score. *Clinical oral implants research*, 16(6): 639-644.
- Galindo-Moreno, P., Fernández-Jiménez, A., O'valle, F., Silvestre, F. J., Sánchez-Fernández, E., Monje, A. & Catena, A. (2015). Marginal Bone Loss in Implants Placed in Grafted Maxillary Sinus. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 17(2): 373-383.
- Galindo-Moreno, P., Moreno-Riestra, I., Ávila, G., Fernández-Barbero, J. E., Mesa, F., Aguilar, M., Wang, H. L. & O'valle, F. (2010). Histomorphometric comparison of maxillary pristine bone and composite bone graft biopsies obtained after sinus augmentation. *Clinical Oral Implants Research*, 21(1): 122-128.
- Garber, D. A. (1995). The esthetic dental implant: letting restoration be the guide. *The Journal of the American Dental Association*, 126(3): 319-325.
- Genetti, L., Ercoli, C., Kotsailidi, E. A., Feng, C., Tsigarida, A., Russo, L. L. & Chochlidakis, K. (2022). Clinical Evaluation of Pink Esthetic Score of Immediately Impressed Posterior Dental Implants. *J Prosthodont*, 31(6): 496-501.
- Gerber, J. A., Tan, W. C., Balmer, T. E., Salvi, G. E. & Lang, N. P. (2009). Bleeding on probing and pocket probing depth in relation to probing pressure and mucosal health around oral implants. *Clinical Oral Implants Research*, 20(1): 75-78.

- Ghanaati, S. & Al-Maawi, S. (2023). S3 Leitlinie (Langfassung): Einsatz von Platelet-Rich-Fibrin (PRF) in der dentalen Implantologie. *AWMF online*, AWMF-Registernummer: 083-042.
- Ghanaati, S., Herrera-Vizcaino, C., Al-Maawi, S., Lorenz, J., Miron, R. J., Nelson, K., Schwarz, F., Choukroun, J. & Sader, R. (2018). Fifteen Years of Platelet Rich Fibrin in Dentistry and Oromaxillofacial Surgery: How High is the Level of Scientific Evidence? *J Oral Implantol*, 44(6): 471-492.
- Glowacki, J. (1998). Angiogenesis in fracture repair. *Clinical Orthopaedics and Related Research*®, 355S82-S89.
- Götz, W., Hoffmann, J. & Stoya, G. (2015). Der Sinus maxillaris in der oralen Implantologie: Anatomie und Konsequenzen für die Implantatchirurgie. *ZWR- Das Deutsche Zahnärzteblatt*, 124(05): 222-230.
- Grigoriadis, A. E., Heersche, J. & Aubin, J. E. (1988). Differentiation of muscle, fat, cartilage, and bone from progenitor cells present in a bone-derived clonal cell population: effect of dexamethasone. *The Journal of Cell Biology*, 106(6): 2139-2151.
- Grob, D. (1989). Autologous bone-grafts: Problems at the donor site. In: *Bone transplantation*. AEBI, M. & REGAZZONI, P. (Hrsg.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Grössner-Schreiber, B. & Terheyden, H. (2004). Implantatdesign – Form-und Oberflächengestaltung enossaler Implantate. *Implantologie*, 12(3): 213-223.
- Guan, X., Zhang, J., Chen, Y., Han, J., Yu, M. & Zhou, Y. (2023). Changes in bone graft height and influencing factors after sinus floor augmentation by using the lateral window approach: A clinical retrospective study of 1 to 2 years. *J Prosthet Dent*, 130(3): 362-368.
- Gupta, S., Sabharwal, R., Nazeer, J., Taneja, L., Choudhury, B. K. & Sahu, S. (2019). Platform switching technique and crestal bone loss around the dental implants: A systematic review. *Ann Afr Med*, 18(1): 1-6.
- Gutwald, R., Gellrich, N.-C. & Schmelzeisen, R. (2010) *Einführung in die zahnärztliche Chirurgie und Implantologie: für Studium und Beruf*, Köln, Deutscher Ärzte-Verlag.
- Hamilton, A., Putra, A., Nakapaksin, P., Kamolroongwarakul, P. & Gallucci, G. O. (2023). Implant prosthodontic design as a predisposing or precipitating factor for peri-implant disease: A review. *Clin Implant Dent Relat Res*, 25(4): 710-722.
- Hatano, N., Sennerby, L. & Lundgren, S. (2007). Maxillary sinus augmentation using sinus membrane elevation and peripheral venous blood for implant-supported rehabilitation of the atrophic posterior maxilla: case series. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 9(3): 150-155.
- Held, U., Rohner, D. & Rothamel, D. (2013). Early loading of hydrophilic titanium implants inserted in low-mineralized (D3 and D4) bone: one year results of a prospective clinical trial. *Head & Face Medicine*, 9(1): 37.
- Hernández-Alfaro, F., Torradeflot, M. M. & Marti, C. (2008). Prevalence and management of Schneiderian membrane perforations during sinus-lift procedures. *Clinical Oral Implants Research*, 19(1): 91-98.
- Huang, H., Wu, G. & Hunziker, E. (2020). The clinical significance of implant stability quotient (ISQ) measurements: A literature review. *Journal of oral biology and craniofacial research*, 10(4): 629-638.
- Insua, A., Monje, A., Wang, H. L. & Miron, R. J. (2017). Basis of bone metabolism around dental implants during osseointegration and peri-implant bone loss. *J Biomed Mater Res A*, 105(7): 2075-2089.
- James, E. R. & Boyne, J. J. (1980). Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone. *Journal of oral surgery (American Dental Association: 1965)*.
- Jemt, T., Olsson, M. & Franke Stenport, V. (2015). Incidence of First Implant Failure: A Retrospective Study of 27 Years of Implant Operations at One Specialist Clinic. *Clin Implant Dent Relat Res*, 17 e501-510.

- Jepsen, S., Berglundh, T., Genco, R., Aass, A. M., Demirel, K., Derks, J., Figuero, E., Giovannoli, J. L., Goldstein, M., Lambert, F., Ortiz-Vigon, A., Polyzois, I., Salvi, G. E., Schwarz, F., Serino, G., Tomasi, C. & Zitzmann, N. U. (2015). Primary prevention of peri-implantitis: managing peri-implant mucositis. *J Clin Periodontol*, 42 S152-157.
- Jiang, X., Yao, Y., Tang, W., Han, D., Zhang, L., Zhao, K., Wang, S. & Meng, Y. (2020). Design of dental implants at materials level: An overview. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, 108(8): 1634-1661.
- Jung, U.-W., Unursaikhan, O., Park, J.-Y., Lee, J.-S., Otgonbold, J. & Choi, S.-H. (2015). Tenting effect of the elevated sinus membrane over an implant with adjunctive use of a hydroxyapatite-powdered collagen membrane in rabbits. *Clinical Oral Implants Research*, 26(6): 663-670.
- Kahn, A., Masri, D., Shalev, T., Meir, H., Sebaoun, A. & Chaushu, L. (2021). Patients' Perception of Recovery after Dental Implant Placement. *Medicina (Kaunas)*, 57(10): 1111.
- Kaplan, E. L. & Meier, P. (1958). Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American statistical association*, 53(282): 457-481.
- Karabuda, C., Arisan, V. & Hakan, Ö. (2006). Effects of Sinus Membrane Perforations on the Success of Dental Implants Placed in the Augmented Sinus. *Journal of Periodontology*, 77(12): 1991-1997.
- Katthagen, B.-D., Scheffler, S., Becker, R., Willkomm, D., Mayr, H. O. & Pruß, A. (2008). Gewinnung, Prozessierung und Transplantation allogener muskuloskelettaler Gewebe. *Transfusion Medicine and Hemotherapy*, 35(6): 438-445.
- Kauffmann, F. & Müller-Busch, A. (2023). Knochenersatzmaterialien zur Prophylaxe und Rekonstruktion knöcherner Defekte. *wissen kompakt*, 17(1): 13-24.
- Keir, J. (2009). Why do we have paranasal sinuses? *The Journal of Laryngology & Otology*, 123(1): 4-8.
- Kim, H. R., Choi, B. H., Xuan, F. & Jeong, S. M. (2010). The use of autologous venous blood for maxillary sinus floor augmentation in conjunction with sinus membrane elevation: an experimental study. *Clin Oral Implants Res*, 21(3): 346-349.
- Kim, S. J., Ribeiro, A. L., Atlas, A. M., Saleh, N., Royal, J., Radvar, M. & Korostoff, J. (2015). Resonance frequency analysis as a predictor of early implant failure in the partially edentulous posterior maxilla following immediate nonfunctional loading or delayed loading with single unit restorations. *Clinical oral implants research*, 26(2): 183-190.
- Kim, S. W., Lee, I. K., Yun, K. I., Kim, C. H. & Park, J. U. (2009). Adult stem cells derived from human maxillary sinus membrane and their osteogenic differentiation. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 24(6): 991-998.
- Kingsley, C. S. (1954). Blood Coagulation: Evidence of an Antagonist to Factor VI in Platelet-Rich Human Plasma. *Nature*, 173(4407): 723-724.
- Kopecka, D., Simunek, A., Brazda, T., Rota, M., Slezak, R. & Capek, L. (2012). Relationship between subsinus bone height and bone volume requirements for dental implants: a human radiographic study. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 27(1): 48-54.
- Kühnel, W. (2014) *Taschenatlas Histologie*, Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- Lai, H. C., Zhang, Z. Y., Wang, F., Zhuang, L. F., Liu, X. & Pu, Y. P. (2008). Evaluation of soft-tissue alteration around implant-supported single-tooth restoration in the anterior maxilla: the pink esthetic score. *Clinical Oral Implants Research*, 19(6): 560-564.
- Lambrecht, J. T. H. (2008) *Zahnärztliche Operationen*, Berlin, Quintessenz Verlag.
- Lane, N. E. (2006). Epidemiology, etiology, and diagnosis of osteoporosis. *Am J Obstet Gynecol*, 194(2 Suppl): S3-11.
- Lange, D. E. (1986) *Parodontologie in der täglichen Praxis*, Berlin, Quintessenz.

- Lazzara, R. J. & Porter, S. S. (2006). Platform switching: a new concept in implant dentistry for controlling postrestorative crestal bone levels. *Int J Periodontics Restorative Dent*, 26(1): 9-17.
- Leblebicioglu, B., Ersanli, S., Karabuda, C., Tosun, T. & Gokdeniz, H. (2005). Radiographic evaluation of dental implants placed using an osteotome technique. *J Periodontol*, 76(3): 385-390.
- Lee, C. T., Huang, Y. W., Zhu, L. & Weltman, R. (2017). Prevalences of peri-implantitis and peri-implant mucositis: systematic review and meta-analysis. *J Dent*, 621-12.
- Lee, J.-E., Jin, S.-H., Ko, Y. & Park, J.-B. (2014). Evaluation of anatomical considerations in the posterior maxillae for sinus augmentation. *World Journal of Clinical Cases: WJCC*, 2(11): 683-688.
- Leighton, Y., Rosas, E., De Souza, R. F. & Borie, E. (2022). Simultaneous Implant Placement and Sinus Lift Using Leukocyte-Platelet Rich Fibrin: A Retrospective 40-Month Study. *J Craniofac Surg*, 33(7): e706-e708.
- Lekholm, U. & Zarb, G. A. (1985) *Patientenselektion und Aufklärung der Patienten* Berlin, Quintessenz Verlag-GmbH.
- Lemos, C. a. A., Verri, F. R., De Oliveira Neto, O. B., Cruz, R. S., Luna Gomes, J. M., Da Silva Casado, B. G. & Pellizzer, E. P. (2021). Clinical effect of the high insertion torque on dental implants: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthet Dent*, 126(4): 490-496.
- Lundgren, S., Andersson, S., Gualini, F. & Sennerby, L. (2004). Bone Reformation with Sinus Membrane Elevation: A New Surgical Technique for Maxillary Sinus Floor Augmentation. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 6(3): 165-173.
- Lundgren, S., Andersson, S. & Sennerby, L. (2003). Spontaneous Bone Formation in the Maxillary Sinus after Removal of a Cyst: Coincidence or Consequence? *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 5(2): 78-81.
- Mackie, E., Ahmed, Y., Tatarczuch, L., Chen, K.-S. & Mirams, M. (2008). Endochondral ossification: how cartilage is converted into bone in the developing skeleton. *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology*, 40(1): 46-62.
- Mancini, L., Strauss, F. J., Lim, H.-C., Tavelli, L., Jung, R. E., Naenni, N. & Thoma, D. S. (2024). Impact of keratinized mucosa on implant-health related parameters: A 10-year prospective re-analysis study. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 26(3): 554-563.
- Marconcini, S., Giammarinaro, E., Derchi, G., Alfonsi, F., Covani, U. & Barone, A. (2018). Clinical outcomes of implants placed in ridge-preserved versus nonpreserved sites: A 4-year randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res*, 20(6): 906-914.
- Mardinger, O., Poliakov, H., Beitlitum, I., Nissan, J. & Chaushu, G. (2009). The patient's perception of recovery after maxillary sinus augmentation: a prospective study. *J Periodontol*, 80(4): 572-6.
- Marsell, R. & Einhorn, T. A. (2011). The biology of fracture healing. *Injury*, 42(6): 551-555.
- Marx, R. E., Carlson, E. R., Eichstaedt, R. M., Schimmele, S. R., Strauss, J. E. & Georgeff, K. R. (1998). Platelet-rich plasma: Growth factor enhancement for bone grafts. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 85(6): 638-646.
- Marx, R. E. & Garg, A. K. (1998). Bone structure, metabolism, and physiology: its impact on dental implantology. *Implant Dent*, 7(4): 267-276.
- Matras, H. (1982). The use of fibrin sealant in oral and maxillofacial surgery. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 40(10): 617-622.
- Mazor, Z., Horowitz, R. A., Del Corso, M., Prasad, H. S., Rohrer, M. D. & Dohan Ehrenfest, D. M. (2009). Sinus floor augmentation with simultaneous implant placement using Choukroun's platelet-rich fibrin as the sole grafting material: a radiologic and histologic study at 6 months. *J Periodontol*, 80(12): 2056-2064.
- Mckibbin, B. (1978). The biology of fracture healing in long bones. *The Journal of Bone & Joint Surgery British Volume*, 60(2): 150-162.

- Mercier, P. & Lafontant, R. (1979). Residual alveolar ridge atrophy: classification and influence of facial morphology. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 41(1): 90-100.
- Meredith, N., Alleyne, D. & Cawley, P. (1996). Quantitative determination of the stability of the implant-tissue interface using resonance frequency analysis. *Clinical oral implants research*, 7(3): 261-267.
- Messerklinger, W. (1967). On the Drainage of the Normal Frontal Sinus of Man. *Acta Oto-Laryngologica*, 63(2-3): 176-181.
- Micheelis, W. (2011). Oral health in Germany: an oral epidemiological outline. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*, 54(9): 1022-1026.
- Miron, R. J., Zucchelli, G., Pikos, M. A., Salama, M., Lee, S., Guillemette, V., Fujioka-Kobayashi, M., Bishara, M., Zhang, Y., Wang, H. L., Chandad, F., Nacopoulos, C., Simonpieri, A., Aalam, A. A., Felice, P., Sammartino, G., Ghanaati, S., Hernandez, M. A. & Choukroun, J. (2017). Use of platelet-rich fibrin in regenerative dentistry: a systematic review. *Clin Oral Investig*, 21(6): 1913-1927.
- Misch, C. E. (1990). Density of bone: effect on treatment plans, surgical approach, healing, and progressive boen loading. *The International Journal of Oral Implantology: Implantologist*, 6(2): 23-31.
- Misch, C. E., Perel, M. L., Wang, H.-L., Sammartino, G., Galindo-Moreno, P., Trisi, P., Steigmann, M., Rebaudi, A., Palti, A., Pikos, M. A., Schwartz-Arad, D., Choukroun, J., Gutierrez-Perez, J.-L., Marenzi, G. & Valavanis, D. K. (2008). Implant Success, Survival, and Failure: The International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference. *Implant Dentistry*, 17(1): 5-15.
- Misch, C. M. (2022). Autogenous Bone is Still the Gold Standard of Graft Materials in 2022. *J Oral Implantol*, 48(3): 169-170.
- Molina, A., Sanz-Sánchez, I., Sanz-Martín, I., Ortiz-Vigón, A. & Sanz, M. (2022). Complications in sinus lifting procedures: Classification and management. *Periodontology 2000*, 88(1): 103-115.
- Monje, A., Diaz, K. T., Aranda, L., Insua, A., Garcia-Nogales, A. & Wang, H. L. (2016). Schneiderian Membrane Thickness and Clinical Implications for Sinus Augmentation: A Systematic Review and Meta-Regression Analyses. *Journal of Periodontology*, 87(8): 888-899.
- Moon, J.-W., Sohn, D.-S., Heo, J.-U., Shin, H.-I. & Jung, J.-K. (2011). New bone formation in the maxillary sinus using peripheral venous blood alone. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 69(9): 2357-2367.
- Mordenfeld, A., Hallman, M., Johansson, C. B. & Albrektsson, T. (2010). Histological and histomorphometrical analyses of biopsies harvested 11 years after maxillary sinus floor augmentation with deproteinized bovine and autogenous bone. *Clinical oral implants research*, 21(9): 961-970.
- Mullender, M. G., Van Der Meer, D. D., Huiskes, R. & Lips, P. (1996). Osteocyte density changes in aging and osteoporosis. *Bone*, 18(2): 109-113.
- Neukam, F. W., Wichmann, M. & Wildfang, J. (2007) *Zahnärztliche Implantologie unter schwierigen Umständen*, Stuttgart, Georg Thieme Verlag KG.
- Nguyen, X. T., Le, L. N., Do, T. T. & Le, K. P. V. (2024). Increasing Bone Regeneration in Maxillary Sinus Augmentation Using Platelet-rich Fibrin: An Interventional Pre-Post Study. *J Contemp Dent Pract*, 25(9): 814-819.
- Nissan, J., Marilena, V., Gross, O., Mardinger, O. & Chaushu, G. (2012). Histomorphometric analysis following augmentation of the anterior atrophic maxilla with cancellous bone block allograft. *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, 27(1): 84-89.
- Nissen, K. J. & Starch-Jensen, T. (2019). Maxillary Sinus Floor Augmentation With Autogenous Bone Graft From the Ascending Mandibular Ramus. *Implant Dentistry*, 28(1): 46-53.

- Nizam, N., Eren, G., Akcalı, A. & Donos, N. (2018). Maxillary sinus augmentation with leukocyte and platelet-rich fibrin and deproteinized bovine bone mineral: A split-mouth histological and histomorphometric study. *Clinical oral implants research*, 29(1): 67-75.
- O' Dwyer, S. & Riordain, R. N. (2021). The patient experience of dental implant surgery: a literature review of pertinent qualitative studies. *Ir J Med Sci*, 190(2): 835-842.
- Ogle, O. E. (2015). Implant Surface Material, Design, and Osseointegration. *Dental Clinics of North America*, 59(2): 505-520.
- Oh, T. J., Yoon, J., Misch, C. E. & Wang, H. L. (2002). The causes of early implant bone loss: myth or science? *J Periodontol*, 73(3): 322-33.
- Ortega-Mejia, H., Estrugo-Devesa, A., Saka-Herrán, C., Ayuso-Montero, R., López-López, J. & Velasco-Ortega, E. (2020). Platelet-Rich Plasma in Maxillary Sinus Augmentation: Systematic Review. *Materials (Basel)*, 13(3).
- Otero, A. I. P., Fernandes, J. C. H., Borges, T., Nassani, L., Castilho, R. M. & Fernandes, G. V. O. (2022). Sinus Lift Associated with Leucocyte-Platelet-Rich Fibrin (Second Generation) for Bone Gain: A Systematic Review. *J Clin Med*, 11(7): 1888.
- Pai, U. Y., Rodrigues, S. J., Talreja, K. S. & Mundathaje, M. (2018). Osseodensification - A novel approach in implant dentistry. *J Indian Prosthodont Soc*, 18(3): 196-200.
- Parra, M., Atala-Acevedo, C., Fariña, R., Haidar, Z. S., Zaror, C. & Olate, S. (2018). Graftless Maxillary Sinus Lift Using Lateral Window Approach: A Systematic Review. *Implant Dentistry*, 27(1): 111-118.
- Pauletto, N., Lahiffe, B. J. & Walton, J. N. (1999). Complications associated with excess cement around crowns on osseointegrated implants: a clinical report. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 14(6): 865-868.
- Pawinska, M., Kondrat, A., Jamiolkowski, J. & Paszynska, E. (2023). Dental Status and Oral Health Behaviors of Selected 45-74-Year-Old Men from Northeastern Poland. *Int J Environ Res Public Health*, 20(11): 6005.
- Pinchasov, G. & Juodzbalys, G. (2014). Graft-free sinus augmentation procedure: a literature review. *Journal of oral & maxillofacial research*, 5(1): e1.
- Pommer, B., Hof, M., Fädler, A., Gahleitner, A., Watzek, G. & Watzak, G. (2014). Primary implant stability in the atrophic sinus floor of human cadaver maxillae: impact of residual ridge height, bone density, and implant diameter. *Clinical Oral Implants Research*, 25(2): e109-e113.
- Pommer, B., Unger, E., Sütö, D., Hack, N. & Watzek, G. (2009). Mechanical properties of the Schneiderian membrane in vitro. *Clinical Oral Implants Research*, 20(6): 633-637.
- Pontoriero, R., Tonelli, M. P., Carnevale, G., Mombelli, A., Nyman, S. R. & Lang, N. P. (1994). Experimentally induced peri-implant mucositis. A clinical study in humans. *Clin Oral Implants Res*, 5(4): 254-259.
- Pradyachaipimol, N., Tangsathian, T., Supanimitkul, K., Sophon, N., Suwanwichit, T., Manopattanasoontorn, S., Arunyanak, S. P. & Kungsadalpipob, K. (2023). Patient satisfaction following dental implant treatment: A survey. *Clin Implant Dent Relat Res*, 25(3): 613-623.
- Putz, R. & Papst, R. (2000) *Sobotta - Atlas der Anatomie des Menschen*, Urban und Schwarzenberg.
- Quesada-García, P. M., Prados Sánchez, E., Olmedo-Gaya, M. V. M., Muñoz-Soto, E., González Rodríguez, P. M. & Vallecillo-Capilla, M. (2009). Measurement of dental implant stability by resonance frequency analysis: a review of the literature. *Medicina Oral Patología Oral y Cirugía Bucal*, 14(10): e538-e546.
- Raggatt, L. J. & Partridge, N. C. (2010). Cellular and Molecular Mechanisms of Bone Remodeling. *Journal of Biological Chemistry*, 285(33): 25103-25108.
- Reich, K. M., Huber, C. D., Lippnig, W. R., Ulm, C., Watzek, G. & Tangl, S. (2011). Atrophy of the residual alveolar ridge following tooth loss in an historical population. *Oral diseases*, 17(1): 33-44.

- Righeso, L. a. R., Blatt, S., Kwon, Y.-D. & Al-Nawas, B. (2016). Primärstabilität dentaler Implantate - Eine Übersichtsarbeit. *Implantologie*, 24(3): 261-268.
- Roethlisberger, F. J. & Dickson, W. J. (2003) *Management and the Worker*, Psychology press.
- Romandini, M., Lima, C., Pedrinaci, I., Araoz, A., Soldini, M. C. & Sanz, M. (2021). Prevalence and risk/protective indicators of peri-implant diseases: A university-representative cross-sectional study. *Clin Oral Implants Res*, 32(1): 112-122.
- Romeo, D., Chochlidakis, K., Barmak, A. B., Agliardi, E., Lo Russo, L. & Ercoli, C. (2023). Insertion and removal torque of dental implants placed using different drilling protocols: An experimental study on artificial bone substitutes. *J Prosthodont*, 32(7): 633-638.
- Sakkas, A., Wilde, F., Heufelder, M., Winter, K. & Schramm, A. (2017). Autogenous bone grafts in oral implantology-is it still a "gold standard"? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures. *Int J Implant Dent*, 3(1): 23.
- Sala, Y. M., Lu, H. & Chrcanovic, B. R. (2024). Clinical Outcomes of Maxillary Sinus Floor Perforation by Dental Implants and Sinus Membrane Perforation during Sinus Augmentation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 13(5): 1253.
- Salvi, G. E., Aglietta, M., Eick, S., Sculean, A., Lang, N. P. & Ramseier, C. A. (2012). Reversibility of experimental peri-implant mucositis compared with experimental gingivitis in humans. *Clin Oral Implants Res*, 23(2): 182-190.
- Sathyendra, V. & Darowish, M. (2013). Basic Science of Bone Healing. *Hand Clinics*, 29(4): 473-481.
- Satwalekar, P., Nalla, S., Reddy, R. & Chowdary, S. G. (2015). Clinical evaluation of osseointegration using resonance frequency analysis. *The Journal of the Indian Prosthodontic Society*, 15(3): 192-199.
- Saxer, U. & Mühlemann, H. (1975). Motivation und Aufklärung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*, 85(9): 905-919.
- Schiavo-Di Flaviano, V., Egido-Moreno, S., González-Navarro, B., Velasco-Ortega, E., López-López, J. & Monsalve-Guil, L. (2024). Influence of Schneiderian Membrane Perforation on Implant Survival Rate: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 13(13): 3751.
- Schliephake, H., Gruber, R., Dard, M., Wenz, R. & Scholz, S. (2004). Repair of calvarial defects in rats by prefabricated hydroxyapatite cement implants. *J Biomed Mater Res A*, 69(3): 382-390.
- Schmidt, A. H. (2021). Autologous bone graft: Is it still the gold standard? *Injury*, 52S18-S22.
- Schmidt, M. B. (1937). Atrophie und Hypertrophie des Knochens einschließlich der Osteosklerose. In: *Knochen und Gelenke*. AXHAUSEN, G., BERGMANN, E., HASLHOFER, L., LANG, F. J., LAUCHE, A., PUTSCHAR, W. & SCHMIDT, M. B. (Hrsg.). Berlin, Heidelberg: Springer
- Schnürer, S. M., Gopp, U., Kühn, K.-D. & Breusch, S. J. (2003). Knochenersatzwerkstoffe. *Der Orthopäde*, 1(32): 2-10.
- Schulte, W. & Lukas, D. (1992). The Periotest method. *International dental journal*, 42(6): 433-440.
- Schünke, M., Schulte, E. & Schumacher, U. (2022) *Prometheus Kopf, Hals und Neuroanatomie: LernAtlas Anatomie*, Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag.
- Schwarz, F. & Becker, J. (2016). S3-Leitlinie (Langversion) Die Behandlung periimplantärer Infektionen an Zahnimplantaten. *AWMF online*, AWMF-Registernummer: 083-023.
- Schwarz, F., Derks, J., Monje, A. & Wang, H. L. (2018). Peri-implantitis. *J Periodontol*, 89 S267-s290.
- Schwarz, L., Schiebel, V., Hof, M., Ulm, C., Watzek, G. & Pommer, B. (2015). Risk Factors of Membrane Perforation and Postoperative Complications in Sinus Floor Elevation Surgery: Review of 407 Augmentation Procedures. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 73(7): 1275-1282.

- Sennerby, L. (2013). 20 Jahre Erfahrung mit der Resonanzfrequenzanalyse. *Implantologie*, 21(1): 21-33.
- Sennerby, L. & Meredith, N. (2008). Implant stability measurements using resonance frequency analysis: biological and biomechanical aspects and clinical implications. *Periodontology 2000*, 47(1): 51-66.
- Shanbhag, S., Shanbhag, V. & Stavropoulos, A. (2014). Volume changes of maxillary sinus augmentations over time: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 29(4): 881-892.
- Shapiro, F. (2008). Bone development and its relation to fracture repair. The role of mesenchymal osteoblasts and surface osteoblasts. *Eur Cell Mater*, 1553-76.
- Sharan, A. & Madjar, D. (2008). Maxillary sinus pneumatization following extractions: a radiographic study. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 23(1): 48-56.
- Silva, L. D., De Lima, V. N., Faverani, L. P., De Mendonça, M. R., Okamoto, R. & Pellizzer, E. P. (2016a). Maxillary sinus lift surgery-with or without graft material? A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg*, 45(12): 1570-1576.
- Silva, L. D. F., De Lima, V., Faverani, L., De Mendonca, M., Okamoto, R. & Pellizzer, E. (2016b). Maxillary sinus lift surgery—with or without graft material? A systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 45(12): 1570-1576.
- Silvestre, F. J., Perez-Herbera, A., Puente-Sandoval, A. & Bagán, J. V. (2010). Hard palate perforation in cocaine abusers: a systematic review. *Clinical oral investigations*, 14621-628.
- Smeets, R., Arnhold, S., Henningsen, A., Jung, O., Barbeck, M., Schnettler, R. & Wenisch, S. (2018). Knochenersatzmaterialien. *wissen kompakt*, 1255-64.
- Smeets, R., Henningsen, A., Grubeanu, D., Sikken, S. & Gaudin, R. (2017). Allogene Knochenersatzmaterialien. *Der Freie Zahnarzt*, 61(9): 74-82.
- Smeets, R., Henningsen, A., Jung, O., Heiland, M., Hammächer, C. & Stein, J. M. (2014). Definition, etiology, prevention and treatment of peri-implantitis--a review. *Head Face Med*, 1034.
- Smeets, R., Jung, O., Hanken, H., Gröbe, A., Heiland, M., Rothamel, D., Grubeanu, D., Iglhaut, G., Kolk, A. & Kasaj, A. (2015). Regenerative Verfahren in der Zahnmedizin—was ist heute möglich? *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*, 6448-457.
- Sohn, D.-S., Lee, J.-S., Ahn, M.-R. & Shin, H.-I. (2008). New bone formation in the maxillary sinus without bone grafts. *Implant Dentistry*, 17(3): 321-331.
- Sohn, D.-S., Moon, J.-W., Moon, K.-N., Cho, S.-C. & Kang, P.-S. (2010). New Bone Formation in the Maxillary Sinus Using Only Absorbable Gelatin Sponge. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 68(6): 1327-1333.
- Spin-Neto, R., Stavropoulos, A., Coletti, F. L., Pereira, L. a. V. D., Marcantonio Jr, E. & Wenzel, A. (2015). Remodeling of cortical and corticocancellous fresh-frozen allogeneic block bone grafts – a radiographic and histomorphometric comparison to autologous bone grafts. *Clinical Oral Implants Research*, 26(7): 747-752.
- Srouji, S., Ben-David, D., Lotan, R., Riminucci, M., Livne, E. & Bianco, P. (2010). The innate osteogenic potential of the maxillary sinus (Schneiderian) membrane: an ectopic tissue transplant model simulating sinus lifting. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 39(8): 793-801.
- Srouji, S., Kizhner, T., Ben David, D., Riminucci, M., Bianco, P. & Livne, E. (2009). The Schneiderian membrane contains osteoprogenitor cells: in vivo and in vitro study. *Calcif Tissue Int*, 84(2): 138-145.
- Stacchi, C., Andolsek, F., Berton, F., Perinetti, G., Navarra, C. O. & Di Lenarda, R. (2017). Intraoperative Complications During Sinus Floor Elevation with Lateral Approach: A Systematic Review. *The International Journal of Oral und Maxillofacial Implants*, 32(3): 107-118.
- Stefanski, S., Svensson, B. & Thor, A. (2017). Implant survival following sinus membrane elevation without grafting and immediate implant installation with a

- one-stage technique: an up-to-40-month evaluation. *Clinical Oral Implants Research*, 28(11): 1354-1359.
- Streiner, D. L. (2003). Starting at the Beginning: An Introduction to Coefficient Alpha and Internal Consistency. *Journal of Personality Assessment*, 80(1): 99-103.
- Summers, R. B. (1994). A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique. *Compendium (Newtown, Pa.)*, 15(2): 152, 154-156, 158 passim; quiz 162.
- Tajima, N., Ohba, S., Sawase, T. & Asahina, I. (2013). Evaluation of sinus floor augmentation with simultaneous implant placement using platelet-rich fibrin as sole grafting material. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 28(1): 77-83.
- Tatullo, M., Marrelli, M., Cassetta, M., Pacifici, A., Stefanelli, L. V., Scacco, S., Dipalma, G., Pacifici, L. & Inchingolo, F. (2012). Platelet Rich Fibrin (PRF) in reconstructive surgery of atrophied maxillary bones: clinical and histological evaluations. *International journal of medical sciences*, 9(10): 872.
- Testori, T., Weinstein, R. L., Taschieri, S. & Del Fabbro, M. (2012). Risk factor analysis following maxillary sinus augmentation: a retrospective multicenter study. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, 27(5).
- Testori, T., Weinstein, T., Taschieri, S. & Wallace, S. S. (2019). Risk factors in lateral window sinus elevation surgery. *Periodontology 2000*, 81(1): 91-123.
- Thor, A., Sennerby, L., Hirsch, J. M. & Rasmusson, L. (2007). Bone formation at the maxillary sinus floor following simultaneous elevation of the mucosal lining and implant installation without graft material: an evaluation of 20 patients treated with 44 Astra Tech implants. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 65(7): 64-72.
- Ting, M., Craig, J., Balkin, B. E. & Suzuki, J. B. (2018). Peri-implantitis: a comprehensive overview of systematic reviews. *Journal of Oral Implantology*, 44(3): 225-247.
- Tischler, M. (2002). Platelet rich plasma. The use of autologous growth factors to enhance bone and soft tissue grafts. *N Y State Dent J*, 68(3): 22-4.
- Toffler, M., Toscano, N. & Holtzclaw, D. (2010). Osteotome-mediated sinus floor elevation using only platelet-rich fibrin: an early report on 110 patients. *Implant dentistry*, 19(5): 447-456.
- Tomar, S., Saxena, D. & Kaur, N. (2023). Marginal bone loss around implants with platform switching and platform matched connection: A systematic review. *J Prosthet Dent*.
- Traini, T., Valentini, P., Iezzi, G. & Piattelli, A. (2007). A histologic and histomorphometric evaluation of anorganic bovine bone retrieved 9 years after a sinus augmentation procedure. *Journal of periodontology*, 78(5): 955-961.
- Tsiridis, E., Upadhyay, N. & Giannoudis, P. (2007). Molecular aspects of fracture healing: which are the important molecules? *Injury*, 38 S11-25.
- Underwood, A. S. (1910). An inquiry into the anatomy and pathology of the maxillary sinus. *Journal of anatomy and physiology*, 44(Pt 4): 354.
- Valente, N. A., Wu, M., Toti, P., Derchi, G. & Barone, A. (2020). Impact of Concave/Convergent vs Parallel/ Divergent Implant Transmucosal Profiles on Hard and Soft Peri-implant Tissues: A Systematic Review with Meta-Analyses. *Int J Prosthodont*, 33(5): 553-564.
- Vlassis, J. M. & Fugazzotto, P. A. (1999). A classification system for sinus membrane perforations during augmentation procedures with options for repair. *Journal of periodontology*, 70(6): 692-699.
- Waldeyer, A. J. (2003) *Waldeyer - Anatomie des Menschen*, Berlin, New York, De Gruyter.
- Wallace, S. S., Mazor, Z., Froum, S. J., Cho, S.-C. & Tarnow, D. P. (2007). Schneiderian membrane perforation rate during sinus elevation using piezosurgery: clinical results of 100 consecutive cases. *International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, 27(5): 413-419.
- Wang, X., Ma, S., Lin, L. & Yao, Q. (2023). Association between smoking and Schneiderian membrane perforation during maxillary sinus floor augmentation:

- A systematic review and meta-analysis. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 25(1): 166-176.
- Weber, F. E. (2019). Reconsidering Osteoconduction in the Era of Additive Manufacturing. *Tissue Engineering Part B: Reviews*, 25(5): 375-386.
- Weigl, P., Schlegel, K. A. & Lutz, R. (2008). 13 Implantatwerkstoffe und Knochenersatzmaterialien. In: *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung*. (Hrsg.) 6., vollst. überarb. u. erw. Auflage ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Wiltfang, J., Schultze-Mosgau, S., Nkenke, E., Thorwarth, M., Neukam, F. & Schlegel, K. (2005). Onlay augmentation versus sinuslift procedure in the treatment of the severely resorbed maxilla: a 5-year comparative longitudinal study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 34(8): 885-889.
- Yong-Tao, X., Li-Xin, X. & Jian-Zhong, S. (2007). Bone morphogenetic protein. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 362(3): 550-553.
- Young, J. Z. & Medawar, P. B. (1940). FIBRIN SUTURE OF PERIPHERAL NERVES: MEASUREMENT OF THE RATE OF REGENERATION. *The Lancet*, 236(6101): 126-128.
- Zill, A., Precht, C., Beck-Broichsitter, B., Sehner, S., Smeets, R., Heiland, M., Rendenbach, C. & Henningsen, A. (2016). Implants inserted with graftless osteotome sinus floor elevation—A 5-year post-loading retrospective study. *European Journal of Oral Implantology*, 9(3): 277-289.
- Zitzmann, N. U. & Schärer, P. (1998). Sinus elevation procedures in the resorbed posterior maxilla. Comparison of the crestal and lateral approaches. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 85(1): 8-17.

## 7 Abkürzungsverzeichnis

A	Ateria
Aa.	Ateriales
Abb.	Abbildung
API	Approximaler Plaque Index
BIC	Bone Implant Contact
BMP	Bone Morphogenetic Protein
bzw.	Beziehungsweise
BOP	Bleeding on Probing (Blutung auf Sondieren)
CBL	crestal bone level
DIB	distance implantat shoulder bone level
DVT	Digitale Volumen Tomografie
FZB	Frontzahnbereich
IAV	Implantat-Abutment-Verbindung
IS	implantat shoulder

ISQ	Implantat Stabilitäts Quotient
KEM	Knochenersatzmaterial
N.	Nervus
OK	Oberkiefer
PSA	Panoramaschichtaufnahme
PBI	Papillen Blutungs Index
PES	Pink Esthetic Score
PRF	Platelet Rich Fibrin
PRP	Platelet Rich Plasma
PSI	Parodontal Screening Index
RCT	randomized controlled trial (randomisiert kontrollierte Studie)
RFA	Resonanz Frequenz Analyse
UK	Unterkiefer
z.B.	zum Beispiel

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Frontale Ansicht auf die Sinus maxillares, Alveolarfortsatz, Nase und Orbita (Putz and Papst, 2000) .....	9
Abbildung 2: Laterale Ansicht auf die mediale Wand der Kiefer- und Augenhöhle (Waldeyer, 2003) .....	9
Abbildung 3: Ausgangssituation 2. Quadrant .....	22
Abbildung 4: Darstellung der lateralen Kieferhöhlenwand und des krestalen Knochens .....	23
Abbildung 5: Sammeln von Eigenknochen mittels Safescraper (Meta Technologies S.R.L., Reggio Emilia, Italien) und Zugang zur Kieferhöhle .....	23
Abbildung 6: gesammelter Eigenknochen im Safescraper (Meta Technologies S.R.L., Reggio Emilia, Italien).....	24
Abbildung 7 Elevation der Schneiderschen Membran.....	24
Abbildung 8: elevierte Schneidersche Membran .....	25
Abbildung 9: Einbringen des Eigenknochens unter die Schneidersche Membran .....	26
Abbildung 10: Einbringen des A-PRF Clotstest test .....	27
Abbildung 11: erfolgte Implantation Regio 25,26 mit Camlog Conelog Progressive Line .....	27
Abbildung 12: ISQ Messung mit Ostell Beacon (Ostell AB, Göteborg, Schweden) .....	28
Abbildung 13: verschlossener Zugang mit Eigenknochen.....	29
Abbildung 14: Zustand nach erfolgter Naht mit Supramid 4-0 (LuxSutures, Weiswampbach, Luxembourg) .....	29
Abbildung 15: Vermessung der apikalen Knochenverhältnisse (Beispiel einer postoperativ aufgenommenen PSA).....	33
Abbildung 16: Darstellung der Referenzpunkte CBL (crestal bone level) und IS (implantat shoulder), sowie des DIB-Wert (distance implantat bone contact), sowie der apikalen Knochenverhältnisse nach Einheilung (gleiches Beispiel wie in Abbildung 16).....	33
Abbildung 17: Darstellung der bukkopalatinalen Distanzen auf Höhe des geplanten Implantat apex in mm .....	42
Abbildung 18: Boxplot zur Darstellung des ISQ aller untersuchten Implantate (n=28). 44	
Abbildung 19: Boxplot zur Darstellung des ISQ, aufgeteilt nach Residualknochen (n=28 Implantate).....	46
Abbildung 20: Darstellung des Insertions-Torque aller untersuchten Implantate (n=28 Implantate).....	47
Abbildung 21: Darstellung des Insertions-Torque aufgeteilt nach Residualknochen (n=28 Implantate).....	47

Abbildung 22: Boxplot zur Darstellung des gesamten Beobachtungszeitraum .....	49
Abbildung 23: Boxplot zur Darstellung des Zeitraums zwischen prothetischer Versorgung und 1-Jahreskontrolle.....	50
Abbildung 24: Darstellung des statistisch ermittelten apikalen Knochenzugewinns anhand der Residualknochenhöhe .....	57
Abbildung 25: Darstellung des apikalen Knochenzugewinns aufgeteilt nach Residualknochen (n=27 Implantate).....	58
Abbildung 26: Darstellung des krestalen Knochenverlusts gruppiert nach Residualknochen (n=27 Implantate).....	59
Abbildung 27: Darstellung der Abhängigkeit der Zunahme des ISQ von der ausgehenden Residualknochenhöhe .....	60
Abbildung 28: Darstellung des Implantatüberleben nach Kaplan und Meier (n=28 Implantate).....	63
Abbildung 29: Regio 26 1-Jahreskontrolle PES 13 (weibliche Patientin, 52 Jahre) .....	87
Abbildung 30: Regio 26 1-Jahreskontrolle PES 13 (weibliche Patientin, 44 Jahre) .....	87
Abbildung 31: Regio 26 1-Jahreskontrolle PES 4 (männlicher Patient, 43 Jahre) .....	88
Abbildung 32: Regio 16,15 1-Jahreskontrolle PES 9 (männlicher Patient, 61 Jahre) .	88

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation des Resorptionsgrades nach Lekholm und Zarb (1985).....	1
Tabelle 2: Definition der Knochenqualität nach Misch (1990) .....	2
Tabelle 3: Pink Esthetic Score übersetzt in Deutsch in Anlehnung an Fürhauser et al. (2005) .....	17
Tabelle 4: Implantaterfolg nach Misch et al. (2008).....	37
Tabelle 5: Häufigkeiten der Residualknochenhöhe aufgeteilt in 3 Gruppen.....	40
Tabelle 6: Übersicht über die implantatbezogenen Daten.....	41
Tabelle 7: Übersicht über die Implantationsregionen (n=28).....	42
Tabelle 8: Übersicht über die intraoperativen Komplikationen .....	43
Tabelle 9: Zusammenhang zwischen ISQ und Residualknochenhöhe .....	45
Tabelle 10: Übersicht über die prothetischen Versorgungs- und Befestigungsarten ...	48
Tabelle 11: PSI Code bei n=19 Patienten .....	50
Tabelle 12: PSI Code bei n=27 Implantaten.....	51
Tabelle 13: Übersicht über die Häufigkeiten des PES bei n=16 Patienten.....	53
Tabelle 14: Übersicht über die Häufigkeiten des PES n=21 Implantaten.....	54
Tabelle 15: Darstellung der Intraobserverreliabilität des Pink Esthetic Score .....	61
Tabelle 16: Darstellung der Interobserverreliabilität des Pink Esthetic Score .....	61
Tabelle 17: Darstellung der Intraobserverreliabilität Auswertung der Röntgenbilder ...	62
Tabelle 18: Darstellung der Interobserverreliabilitäten Auswertung der Röntgenbilder	62
Tabelle 19: Übersicht patientenbezogener Parameter auf apikalen Knochenzugewinn, krestalen Knochenverlust, Insertions-Torque und ISQ .....	65

## 10 Erklärung des Eigenanteils

Die Arbeit wurde unter der Betreuung von PD Dr. Dr. Anders Henningsen durchgeführt. Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Prof Dr. Dr. Ralf Smeets (Leiter der Sektion Regenerative Orofaziale Medizin und Leiter der Forschung MKG in der Klinik und Poliklinik für Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf) und PD Dr. Dr. Henningsen (Externer Dozent der Klinik und Poliklinik für Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf). Sämtliche Voruntersuchungs-, Operations- und Nachuntersuchungsprotokolle wurden von mir aufgenommen, pseudonymisiert und ausgewertet. Die statistische Auswertung erfolgte eigenständig durch mich nach Anleitung von Eric Bibiza-Freiwald, Mitarbeiter der Abteilung Statistik und Methodik der Klinik und Poliklinik für Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf (Institutionsdirektor: Prof. Dr. Dr. Martin Gosau).

## 11 Anhang

## 11.1 Fragebogen 1

## Kurzfragebogen der Patientenbelastung zum Forschungsprojekt:

„Externer Sinuslift mit intraoperativ gewonnenem Eigenknochen“

Patientennummer:

Datum:

	trifft zu	trifft eher zu	weder noch	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
Die Operation ist insgesamt gut verlaufen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich wurde im Vorgespräch gut über den Eingriff aufgeklärt und vorbereitet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Verlauf der Operation entsprach meinen Vorstellungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Verlauf <b>nach der Operation</b> entsprach meinen Vorstellungen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Während der Operation habe ich keine Schmerzen gespürt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Eingriff war insgesamt gut zu ertragen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hatte <b>starke Schmerzen</b> in den Tagen nach der Operation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hatte eine <b>starke Schwellung</b> in den Tagen nach der Operation.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich war durch die angeratenen Verhaltensmaßnahmen im Alltag stark eingeschränkt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 11.2 Fragebogen 2

**Kurzfragebogen der Patientenzufriedenheit zum Forschungsprojekt:**

„Externer Sinuslift mit intraoperativ gewonnenem Eigenknochen“

**Patientennummer:****Datum:**

	trifft zu	trifft eher zu	weder noch	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
Ich bin zufrieden mit dem neuen Zahnersatz auf den Implantaten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Tragekomfort des neuen Zahnersatzes ist sehr hoch.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Kaufähigkeit hat sich durch das Implantat verändert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Geschmacksempfindung hat sich mit der neuen Versorgung geändert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe Probleme mit dem implantatgetragenen Zahnersatz.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir gefällt das Aussehen der neuen Versorgung besser als die Vorherige.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mein Selbstbewusstsein hat sich durch die neue Versorgung geändert.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich spreche mit anderen <b>positiv</b> über meine Erfahrung mit den neuen Zahnimplantaten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	trifft zu	trifft eher zu	weder noch	trifft eher nicht zu	trifft nicht zu
Ich musste meine Speisewahl aufgrund der <b>vorherigen</b> Versorgung einschränken.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich traue mich seit der Implantatversorgung öfter, mich in der Öffentlichkeit zu äußern.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hatte ein Fremdkörpergefühl <b>bei der früheren</b> Versorgung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe mit der <b>neuen Implantatversorgung</b> ein Fremdkörpergefühl.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Implantatversorgung hat meine Erwartungen erfüllt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe es bereut, mir das Implantat setzen zu lassen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde mich nochmal für eine Implantatversorgung entscheiden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich denke, dass das Implantat eine dauerhafte Lösung für mich ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde diese Versorgung weiterempfehlen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich gehe regelmäßig zur Implantatkontrolle und Prophylaxe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 12 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe, insbesondere ohne entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten, verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Das gilt insbesondere auch für alle Informationen aus Internetquellen.

Soweit beim Verfassen der Dissertation KI-basierte Tools („Chatbots“) verwendet wurden, versichere ich ausdrücklich, den daraus generierten Anteil deutlich kenntlich gemacht zu haben. Die „Stellungnahme des Präsidiums der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum Einfluss generativer Modelle für die Text- und Bilderstellung auf die Wissenschaften und das Förderhandeln der DFG“ aus September 2023 wurde dabei beachtet.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: .....

## 13 Danksagung

Ich bedanke mich herzlich für die Überlassung des Promotionsthema bei Herrn PD Dr. Dr. Anders Henningsen und die ausgezeichnete, engagierte und verlässliche Betreuung über die gesamte Zeit. Für die Möglichkeit meine Dissertation an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf durchführen zu können bedanke ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Dr. Smeets. Ein besonderer Dank gilt Frau Dr. Catarina Zimmermann für die Möglichkeit das Forschungsvorhaben in ihrer Praxis umsetzen zu dürfen und die jederzeit freundschaftliche, motivierende und herzliche Begleitung während meiner Arbeit. Im Rahmen der statistischen Beratung möchte ich mich bei Herrn Eric Bibiza-Freiwald für seine fachliche Expertise und die durchgehende Unterstützung bedanken.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei meinen Eltern Frau Frauke Flender-Schneider und Herrn Martin Schneider für die Möglichkeit das Studium der Zahnmedizin absolvieren zu können und die Unterstützung während dieser Dissertation. Weiterhin bedanke ich mich bei meinem Mann Herrn Jan Frederik Nixdorf für die geduldige Unterstützung und sein Verständnis im Verlauf der gesamten Zeit.