

Aus der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Norbert R. Kübler

Der Einfluss von intraoperativer Perforation der Schneiderschen
Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapie auf den
Therapieerfolg von externen Sinusliftoperationen

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf

vorgelegt von
Marc Hermes
2023

„Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan:	Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker
Erstgutachter:	Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Norbert Kübler
Zweitgutachter:	Univ.-Prof. Dr. med. Uwe Maus“

Publikationen

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

- [1] Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Holtmann, H., *Advantages of the Additional use of Autologous Bone Substitute Materials at Major Sinus Lift Operations*, Ger Med J, 2018. **23**(2): p. 54-63

- [2] Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Schorn, L., Holtmann, H., *Influence of Schneiderian Membrane Perforations on the Prognosis and Outcomes of Lateral Window Sinus Lift Operations: A Retrospective Case Series Study*, J Dent Oral Disord Ther, 2018. **6**(2): 1-9

Zusammenfassung

Ziel dieser retrospektiven Studie war die Untersuchung des Einflusses von Perforationen der Schneiderschen Membran, des Tabakkonsums sowie einer Strahlentherapie auf den Therapieerfolg von externen Sinusliftoperationen. Hierbei wurde der Therapieerfolg sowohl für die operative Knochenaugmentation als auch für die eingebrachten Implantate bestimmt. Zusätzlich wurde untersucht, ob die Verwendung einer Kombination aus autologer Beckenkammpongiosa und xenogenem BioOss®-Granulat L (1-2 mm Partikel) der Kombination vorwiegend xenogenem BioOss® mit geringen Anteilen autologer Knochenspäne des Implantatlagers hinsichtlich des Augmentations- und Implantaterfolgs überlegen ist.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet die retrospektive Analyse von 182 Patienten mit 298 externen Sinusliftoperationen und 833 ein- oder zweizeitig inserierten Implantaten im Zeitraum von 2003 bis 2013. Untersuchte Einflussfaktoren auf den Therapieerfolg waren Perforation der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum sowie eine stattgehabte Strahlentherapie. Intraoperativ wurden alle Schneiderschen Membranen mit einer BioMend® Membran (Zimmer Biomet Holdings Inc., Warsaw; USA) abgedeckt. Die statistische Auswertung wurde mit der SPSS Statistics Software Version 22 (IBM®, Armonk; USA) als binär logistische Regressionsanalyse durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich Perforationen der Schneiderschen Membran ($p < 0,001$), Tabakkonsum ($p = 0,035$) sowie eine stattgehabte Strahlentherapie ($p = 0,010$) negativ signifikant auf den Augmentationserfolg auswirken. Auch der Implantaterfolg korrelierte negativ signifikant mit Perforationen der Schneiderschen Membran ($p = 0,001$), Tabakkonsum ($p = 0,001$) und einer stattgehabten Strahlentherapie ($p = 0,001$). Bei der Analyse des verwendeten Augmentationsmaterials zeigte sich ein positiv signifikanter Einfluss bei der Verwendung autologer Beckenkammpongiosa auf den Augmentations- ($p = 0,003$) sowie Implantaterfolg ($p = 0,013$).

Die alleinige Deckung von Perforationen der Schneiderschen Membran mit Kollagenmembranen zeigte in der vorliegenden Studie keine signifikante Verbesserung. Die intraoperative Perforation der Schneiderschen Membran bleibt, ähnlich wie Tabakkonsum und die Strahlentherapie, ein relevanter Risikofaktor für den Erfolg externer Sinusliftoperationen und inserierter Implantate. Eine Modifikation der Perforationsabdeckung durch die Kombination einer Kollagenmembran mit Fibrinkleber scheint einen positiven Effekt zu haben und bietet Ansatz für weitere Untersuchungen.

Abstract

The aim of this retrospective study was to investigate the influence of perforations of the Schneiderian membrane, tobacco consumption and radiation therapy on the therapeutic success of external sinus lift operations. Here, the success of the therapy was determined both for the surgical bone augmentation and for the inserted implants. In addition, it was examined whether the use of a combination of autologous iliac crest spongiosa and xenogeneic BioOss® granulate L (1-2 mm particles) is superior to the combination of mainly xenogeneic BioOss® with small amounts of autologous bone chips from the operation site in terms of augmentation and implant success.

The study includes the retrospective analysis of 182 patients with 298 external sinus lift operations and 833 simultaneously or delayed inserted implants in the period from 2003 to 2013. The investigated factors influencing the success of the therapy were perforation of the Schneiderian membrane, tobacco consumption and previous radiation therapy. Intraoperatively, all Schneiderian membranes were covered with a BioMend® membrane (Zimmer Biomet Holdings Inc., Warsaw; USA). The statistical evaluation was carried out with the SPSS Statistics Software Version 22 (IBM®, Armonk; USA) as a binary logistic regression analysis.

The results show that perforations of the Schneiderian membrane ($p < 0.001$), tobacco consumption ($p = 0.035$) and radiation therapy ($p = 0.010$) have a negative and significant effect on the success of the augmentation. Implant success also correlated negatively and significantly with perforations of the Schneiderian membrane ($p = 0.001$), tobacco consumption ($p = 0.001$) and radiation therapy ($p = 0.001$). The analysis of the augmentation material showed a positive, significant influence when using autologous iliac crest cancellous bone on the augmentation ($p = 0.003$) and implant success ($p = 0.013$).

The sole covering of perforations of the Schneiderian membrane with collagen membranes did not show any significant improvement in the present study. Like tobacco consumption and radiotherapy, intraoperative perforation of the Schneiderian membrane remains a relevant risk factor for the success of external sinus lift operations and inserted implants. A modification of the perforation cover by combining a collagen membrane with fibrin glue seems to have a positive effect and offers a starting point for further investigations.

Abkürzungsverzeichnis

AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften
BMP	Knochenmorphogenetisches Protein (von engl. <i>bone morphogenetic protein</i>)
BOP	Blutung auf Sondierung (von engl. <i>bleeding on probing</i>)
CT	Computertomographie
DFDB	Demineralisierter, gefriergetrockneter Knochen (von engl. <i>demineralized-freeze-dried-bone</i>)
DGI	Deutsche Gesellschaft für Implantologie im Zahn-, Mund- und Kieferbereich
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
DVT	Digitale Volumentomographie
GBR	Gesteuerte Knochenregeneration (von engl. <i>guided bone regeneration</i>)
GF	Wachstumsfaktor (von engl. <i>growth factor</i>)
IBM	International Business Machines Corporation
ISQ	Implantatstabilitätsquotient (von engl. <i>implant stability quotient</i>)
L-PRF	autologe, fibrinreiche Matrix (von engl. <i>leukocyte-platelet rich fibrin</i>)
MAV	Mund-Antrum-Verbindung
MFDB	Mineralisierter, gefriergetrockneter Knochen (von engl. <i>mineralized-freeze-dried-bone</i>)
MRONJ	Medikamentenassoziierte Osteonekrose des Kiefers (von engl. <i>medication-related-osteonecrosis of the jaw</i>)
OPTG	Orthopantomogramm
PRGF	<i>plasma rich growth factor</i>
PTFE	Polytetrafluorethylen
TGF	<i>tissue growth factor</i>
USA	Vereinigte Staaten von Amerika (von engl. <i>United States of America</i>)

Hinweis zur gendergerechten Sprache

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im nachfolgenden Text vorrangig der Begriff „Patienten“ verwandt, welcher im Sinne der Gleichbehandlung für alle Geschlechter und Geschlechtsidentitäten gilt. In der Regel wird hierbei die genaue Geschlechterverteilung beschrieben, sofern diese wissenschaftlich relevant ist. Dies hat rein praktische Gründe und ist frei von jeglicher Wertung.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Abstract	II
Abkürzungsverzeichnis	III
Hinweis zur gendergerechten Sprache	III
Inhaltsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Anatomie der Kieferhöhle	1
1.2 Entstehungsgeschichte der Implantologie und des Sinuslifts	3
1.3 Operatives Verfahren des internen und externen Sinuslifts	5
1.4 Komplikationen der Sinusliftoperation	8
1.5 Entstehung von Perforationen der Schneiderschen Membran	9
1.6 Risikofaktoren zur Entstehung von Perforationen	10
1.7 Unterschiede in den Verfahren des Sinuslifts und der Implantatversorgung	11
1.8 Augmentationsmaterialien und Verfahren zur Deckung von Perforationen	16
1.9 Ziele der Arbeit	19
2 Material und Methode	20
2.1 Patientenkollektiv	20
2.2 Datenerhebung und Einschlusskriterien	21
2.3 Operatives Vorgehen und verwendete Materialien	22
2.4 Hauptuntersuchungskriterien	24
2.5 Statistik	25
2.6 Deskriptive Analysen	26
3 Ergebnisse	29
3.1 Altersverteilung	29

3.2 Einfluss von intraoperativen Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapien auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg	30
3.3 Einfluss von Augmentationsmaterialien auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg	36
3.4 Einfluss der präoperativen krestalen Knochenhöhe auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen, den Implantaterfolg und die Entstehung von Perforationen	42
3.5 Einfluss des Implantationszeitpunktes auf den Implantaterfolg	43
4 Diskussion	45
4.1 Einfluss von Perforationen der Schneiderschen Membran auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg	45
4.2 Einfluss von Tabakkonsum auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg	48
4.3 Einfluss von Strahlentherapien auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg	51
4.4 Einfluss des Augmentationsmaterials auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg	53
4.5 Einfluss der präoperativen krestalen Knochenhöhen auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen, den Implantaterfolg und die Häufigkeit von Perforationen	56
4.6 Einfluss des Implantationszeitpunktes auf den Implantaterfolg	56
5 Schlussfolgerungen	58
5.1 Perforationen der Schneiderschen Membran	58
5.2 Tabakkonsum	58
5.3 Strahlentherapien	59
5.4 Verwendung von autologem Knochen	60
5.5 Implantationszeitpunkt und krestale Restknochenhöhe	60
Literatur- und Quellenverzeichnis	61
Abbildungsverzeichnis	76

1 Einleitung

1.1 Anatomie der Kieferhöhle

Die Kieferhöhle (*Sinus maxillaris*) ist ein bilateral angelegter Hohlraum im Oberkiefer, welcher zusammen mit der ebenfalls paarigen Stirnhöhle (*Sinus frontalis*), den durchschnittlich acht bis zehn Siebbeinzellen (*Cellulae ethmoidales*) und der Keilbeinhöhle (*Sinus sphenoidalis*) zu den Nasennebenhöhlen (*Sinus paranasales*) zählt.

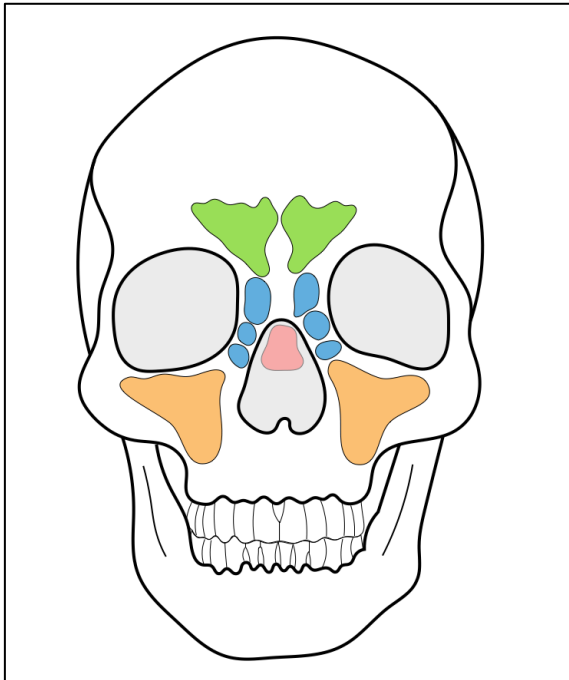


Abb. 1: Topografie der Nasennebenhöhlen (*Sinus paranasales*): Die Kieferhöhlen (orange) bilden den kaudalsten Anteil der Nasennebenhöhlen. Sie sind über die Siebbeinzellen (blau) mit den kranial gelegenen Stirnhöhlen (grün) und der dorsal gelegenen Keilbeinhöhle (rosa) verbunden. Skizze erstellt nach Prometheus Kopf, Hals Neuroanatomie; 2. Auflage; Georg Thieme Verlag 2009

Über das Ostium naturale im mittleren Nasengang sind die Kieferhöhlen, Stirnhöhlen und Siebbeinzellen mit der Nasenhaupthöhle verbunden. Der *Sinus sphenoidalis* ist als einzige Nasennebenhöhle nicht paarig angelegt und liegt im mittleren Schädelanteil, unterhalb der Hypophysengrube. Er mündet kranial der *Tuba auditiva* (Eustachische Röhre) auf Höhe der *Concha nasalis superior* in den oberen Nasengang. Die topografische Lage der Nasennebenhöhlen ist in Abbildung 1 illustriert.

Die Kieferhöhle hat die Form einer umgekehrten Pyramide. Eine aktuelle Studie von Bangi et al. (2017) beschreibt das durchschnittliche Volumen des *Sinus maxillaris* zwischen 12 und 15 Kubik-

zentimetern (cm³) [3]. Da die Kieferhöhle etwa zehn Millimeter (mm) kaudal der Nasenhaupthöhle endet, ist ein Sekretabfluss nur aufgrund des respiratorischen Flimmerepithels der Kieferhöhlenschleimhaut möglich. Die Kieferhöhlenschleimhaut wird nach ihrem Entdecker Konrad Viktor Schneider (*1616; †1680) auch als Schneidersche Membran bezeichnet. Gemäß aktuellen wissenschaftlichen Auswertungen mittels digitaler Volumentomographie (DVT) wird ihre Dicke mit durchschnittlich 1,82 mm ($\pm 1,59$ mm) angegeben [4]. Neben Flimmerepithelzellen enthält die Schneidersche Membran schleimproduzierende Becherzellen. Durch Bewegungen des Flimmerepithels

wird der produzierte Schleim mit einer Schlagfrequenz von etwa 1000 Schlägen pro Minute in Richtung *Ostium naturale* befördert [5]. Das *Ostium naturale* ist die einzige Verbindung der Kieferhöhle zur Nasenhaupthöhle. Verlegungen des *Ostium naturale*, zum Beispiel durch Entzündungen der Oberkieferseitenzähne oder der Schneiderschen Membran, können zu einem gestörten Sekretabfluss (Obstruktion) und somit zu einer Kieferhöhlenentzündung (*Sinusitis maxillaris*) führen. Das Dach der Kieferhöhle bildet gleichzeitig den Boden der Augenhöhle (*Orbita*). Hier befindet sich der *Canalis infraorbitalis* durch den die *Arteria*, *Vena* und der *Nervus infraorbitalis* ziehen.

Im Laufe des Lebens nimmt das Volumen der Kieferhöhlen nach kaudal zu. Zum Zeitpunkt der Geburt sind sie noch nicht angelegt. Dennoch lässt sich keine direkte Korrelation zwischen Kieferhöhlenvolumen und Alter herstellen [6]. Kaudal grenzen die Kieferhöhlen an die Alveolen der Oberkieferseitenzähne. Im Bereich des Kieferhöhlenbodens zeigen die *Recessi alveolares* die Ausdehnung der Zahnwurzeln der Molaren und Prämolaren [7]. Nach einem Zahnverlust nimmt das Knochenvolumen im betreffenden Bereich ab. Die genaue Ursache ist in der Fachliteratur umstritten [8]. Als Ursache werden vor allem verminderte Kaukräfte sowie eine verringerte Durchblutung im betroffenen Knochenabschnitt diskutiert. Insgesamt scheint der Knochenverlust in erster Linie krestal stattzufinden [8, 9]. In der gesunden, zahntragenden Alveole bewirken die Zugkräfte der Sharpeyschen-Fasern auf den umliegenden Knochen eine knöcherne Apposition, sodass der Alveolarkamm erhalten bleibt. Fehlen diese, zum Beispiel nach einer Zahnextraktion, bewirkt der Funktionsverlust eine Knochenresorption. Bei langjährigen Trägern von Zahnprothesen sorgt der vertikale Prothesendruck für eine Druckatrophie des knöchernen Alveolarkamms. Der Höhenverlust des knöchernen Alveolarkamms ist für die Insertion von Zahnimplantaten von Nachteil, da diese eine ausreichende knöchernen Begrenzung zur Osseointegration benötigen.

Aufgrund der engen topographischen Lage der Oberkieferseitenzähne zum Kieferhöhlenboden kann es bei Zahnentfernungen zu einer Verbindung von Mund- und Kieferhöhle (Mund-Antrum-Verbindung; MAV) kommen. Bleibt diese unerkannt, gelangen Keime der Mundhöhle in die weitgehend sterile Kieferhöhle. In der Folge kann es zur Entstehung einer Kieferhöhlenentzündung mit vorwiegend anaerobem Erregerspektrum kommen [10]. Bei längerer Persistenz einer MAV ist mitunter eine langwierige Therapie mit täglichen Kieferhöhlenspülungen bis zur Beschwerdefreiheit und Entleerung klaren Sekrets erforderlich [11]. Daher ist ein chirurgischer,

speicheldichter Wundverschluss bei Auftreten einer MAV obligat [12]. Ferner können apikale Zahnentzündungen im Seitenzahnbereich des Oberkiefers direkt in den Sinus maxillaris durchbrechen und somit zu einer dentogenen Sinusitis führen. Etwa ein Viertel aller Sinusitiden der Kieferhöhle sind dentogenen Ursprungs [13]. Diese sind im Gegensatz zu den vorwiegend viralen und häufig bakteriell superinfizierten, rhinogenen Sinusitiden nahezu immer bakteriellen Ursprungs. Eine Sonderstellung ist eine mykotische Infektion im Sinne eines Aspergilloms [14]. Das Aspergillom entsteht häufig durch überstopftes Wurzelfüllmaterial nach endodontischer Behandlung der Oberkieferseitenzähne.

1.2 Entstehungsgeschichte der Implantologie und des Sinuslifts

Die Implantologie zählt zweifelsfrei zu den wichtigsten Innovationen der Zahnmedizin innerhalb der letzten Jahrzehnte. Sie ermöglicht neue Behandlungskonzepte, welche für die Patienten weitaus komfortablere Möglichkeiten bieten als eine rein zahn- und/oder schleimhautgetragene prothetische Versorgung.

Als Ausgangspunkt für die Entstehung der heutigen zahnärztlichen Implantologie ist die Forschungsarbeit des schwedischen Orthopäden Per-Ingvar Brånemark (*1929; †2014) anzusehen. Dieser entdeckte im Jahre 1952 erstmals die Biokompatibilität und Osseointegration von Titan und gilt als Pionier der Implantologie [15-24]. Die erste Implantatinsertion in den Kiefer führte er bereits im Jahre 1965 durch. Im Laufe der Jahre entstanden mehrere Zahnimplantattypen diverser Geometrien. Aufgrund zahlreicher Forschungsergebnisse haben sich heutzutage nahezu ausschließlich die konischen und zylinderförmigen Schraubenimplantate durchgesetzt. Trotz unzähliger Herstellerfirmen sind die Unterschiede zwischen den angebotenen und zugelassenen Implantaten eher gering und beschränken sich vor allem auf Oberflächenbeschichtung, Materialzusammensetzung, Länge und Durchmesser. Weitere Unterschiede zeigen sich in der Verbindung zwischen Zahnimplantat und prothetischem Aufbau, dem sogenannten *abutment*. Als Implantatmaterial kommt vorwiegend Titan, in Einzelfällen auch Keramik (Zirkonoxid) zum Einsatz. Beide Materialien weisen eine gute Biokompatibilität auf und gewährleisten somit eine sichere Osseointegration [25-27]. Ziel der Einheilung ist ein fester Verbund zwischen Implantatoberfläche und Knochen. Ein osseointegriertes Implantat weist ähnliche Eigenschaften auf wie ein ankylosierter Zahn und hat keine physiologische Resilienz. Dies ist vor allem bei Hybridversorgungen zu bedenken, bei

denen die Prothetik auf Implantaten und natürlichen Zähnen befestigt ist. Im Gegensatz zum festen Verbund zwischen Implantat und Kieferknochen, findet keine direkte Anhaftung der oralen Weichgewebe an die Implantatoberfläche statt. Auch hier zeigt sich ein wichtiger Unterschied zu natürlichen Zähnen, die im Bereich des Saumepithels mit der Schleimhaut verbunden sind. Somit ist in der Nachsorge nicht die Taschensondierungstiefe, sondern vor allem die Sulkusblutung auf Sondierung (BOP = *bleeding on probing*) ein relevanter Faktor für die Erkennung periimplantärer Entzündungen. Aufgrund der weiten Verbreitung dentaler Implantate ist auch die Untersuchung periimplantärer Entzündungen von steigender klinischer Relevanz [28]. Mit zunehmendem Einsatz zahnmedizinischer Implantate stieg im Laufe der Jahre jedoch auch der Bedarf an adäquaten Augmentationsverfahren. Da jeder Zahnverlust früher oder später mit einer Atrophie des knöchernen Alveolarkamms einhergeht, gerät die Implantologie ohne knöcherne Augmentation früh an ihre klinischen Grenzen. Insbesondere im Seitenzahnbereich des Oberkiefers ist diese Atrophie teils stark ausgeprägt und führt durch die Nähe zum Sinus maxillaris zu Problemen bei der Implantatinsertion.

Über die letzten Jahrzehnte haben sich zahlreiche Verfahren zur Knochenaugmentation im Oberkiefer entwickelt [29]. Als Standardverfahren zur Augmentation in diesem Bereich gilt der Sinuslift, welcher heutzutage als externes und internes Verfahren Anwendung findet. Beide Verfahren sind insofern einzigartig, als dass sie den Alveolarknochen nicht etwa im krestalen Bereich aufbauen, sondern den kaudalen Anteil des Sinus maxillaris unterhalb der Schneiderschen Membran mit Knochen oder Knochenersatzmaterial vergrößern und damit den Boden des Sinus maxillaris anheben (*sinus* = dt. Nebenhöhle, *lift* = dt. anheben). Generell gilt dieses Verfahren als eines der sichersten und verlässlichsten Augmentationsverfahren [30]. Es ist krestal auflagernden Kieferkammerhöhungen mit Blockaugmentationen überlegen [31].

Die wissenschaftliche Erstbeschreibung des externen Sinuslifts geht zurück auf die amerikanischen Chirurgen Boyne und James im Jahr 1980 [32]. Entwickelt hatte es der amerikanische Zahnarzt Tatum bereits im Jahr 1974. Eine exakte Beschreibung seines Verfahrens erfolgte jedoch erst in einer Publikation im Jahre 1986 [33]. Durch Elevation der Schneiderschen Membran und Auffüllung des Hohlraums mit Knochenersatzmaterial wird ein ausreichendes Knochenlager zur Implantation geschaffen.

Der interne Sinuslift ist zwar nicht Inhalt der vorliegenden Studie, jedoch ebenfalls ein wichtiges Verfahren zur Schaffung eines Knochenlagers im Seitenzahnbereich des Oberkiefers. Er geht zurück auf den amerikanischen Chirurgen Summers und wurde im Jahr 1994 erstmals publiziert und beschrieben [34]. Hier wird bei ausreichendem Knochenlager ein krestaler Zugang gewählt, über den die Kieferhöhlenschleimhaut angehoben und Augmentationsmaterial eingebracht wird.

Der Sinuslift zählt in beiden oben genannten Formen zu den Augmentationsverfahren mit relativer Alveolarkammerhöhung. Dies bedeutet, dass der Abstand der Kieferkämme des Ober- und Unterkiefers zueinander nicht verändert wird und auch das Verhältnis von Kieferkamm und Vestibulum bestehen bleibt, sofern keine Vestibulumplastik erfolgt. Dennoch wird vertikale Knochenhöhe gewonnen, die zur Implantation zur Verfügung steht und den Einsatz ausreichender Implantatlängen ermöglicht. Somit ist eine Verbesserung der Implantatstabilität möglich [35].

Der Sinuslift ist nicht ausschließlich auf autologes Knochenersatzmaterial angewiesen, sondern kann teilweise oder allein mit xenogenen Materialien durchgeführt werden. Somit kann das Trauma der Knochenentnahme reduziert oder gänzlich vermieden werden. Aufgrund der Menge an gewonnenen Daten soll in dieser Studie, neben der Untersuchung von Membranperforationen, auch der Einfluss des verwendeten Augmentationsmaterials untersucht werden. Hierbei steht im Vordergrund, ob und inwieweit die zusätzliche Verwendung autologen Materials gegenüber vorwiegend xenogenem Material von Vorteil ist.

1.3 Operatives Verfahren des internen und externen Sinuslifts

Der interne Sinuslift, welcher auch als indirekter Sinuslift bezeichnet wird, ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt. Diese Technik ist in Einzelfällen nutzbar, wenn geringfügige Augmentationen bei Einzelimplantationen erforderlich sind. Hierbei wird von krestal ein Implantatlager gebohrt, welches bis kurz vor Erreichen des Kieferhöhlenbodens präpariert wird. Anschließend wird die verbliebene Knochenlamelle mit Hilfe von speziellen Osteotomen angehoben, wobei der Knochen sich nicht von der Kieferhöhlenschleimhaut löst. Über den krestalen Zugang kann das

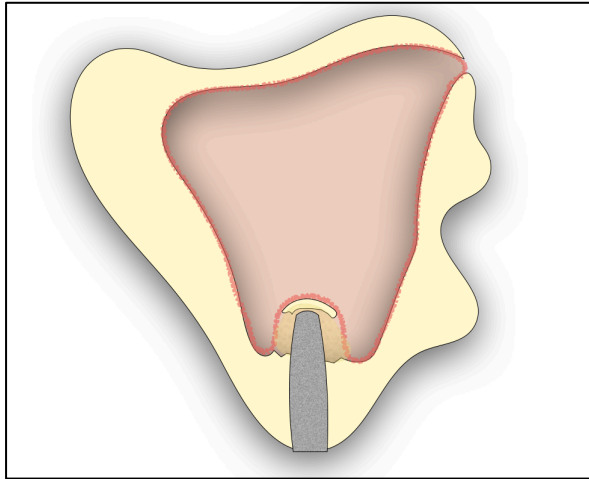


Abb. 2: Der interne (indirekte) Sinuslift eignet sich vor allem für kleinere Augmentationen und Einzelimplantate. Über einen minimalinvasiven krestalen Zugang wird die Kieferhöhlenschleimhaut (rot) angehoben und Augmentationsmaterial (orange) eingebracht. Der Zugang dient ferner als Bohrstollen zur Implantatinsertion.

Augmentationsmaterial eingebracht werden. Ebenfalls existieren jedoch Beschreibungen, welche gänzlich auf Augmentationsmaterial verzichten [36]. Bei der Insertion des Implantats hebt sich die Knochenlamelle mitsamt Schneiderscher Membran an, sodass das Implantat auch im apikalen Anteil knöchern begrenzt ist und keinen direkten Kontakt zur Schneiderschen Membran oder der Kieferhöhle hat. Wie in Kapitel 1.2 erwähnt, wurde dieses Verfahren maßgeblich von Summers

entwickelt [34] und existiert heute in zahlreichen unterschiedlichen Formen. Für kleine Augmentationen wird dieses Verfahren, vor allem aufgrund des geringen technischen Aufwandes und guter Prognosen, gern verwendet. Dennoch ist eine direkte visuelle oder taktile Kontrolle der Schneiderschen Membran hierbei nicht möglich, wodurch sich Verletzungen der Kieferhöhlenschleimhaut klinisch nicht feststellen lassen. Als Variation dieses Verfahrens ist vor allem der sogenannte minimalinvasive Intralift zu nennen. Dieser ist ein ultraschallgestütztes, hydrodynamisches Verfahren, welches mittels *Piezo-Surgery* die Schneidersche Membran darstellt und diese hydraulisch ablöst [37, 38]. Hierdurch sollen Schädigungen der Membran durch besonders schonende und dosierte Präparation verringert werden.

Eine ausreichende Primärstabilität ist stets Grundvoraussetzung für die Umsetzbarkeit des internen Sinusliftes. Ist dieser initiale Halt des Implantats unmittelbar nach Insertion nicht ausreichend, so ist die suffiziente Einheilung und somit der langfristige Erhalt deutlich erschwert. Eine detaillierte Erläuterung der Begriffe Primär- und Sekundärstabilität findet sich in Kapitel 1.7. Um dies zu erreichen ist eine gewisse Mindesthöhe an verbleibendem Kieferknochen erforderlich. In der Literatur sind hier meist residuale Knochenhöhen von mindestens fünf bis neun Millimetern beschrieben, welche als Voraussetzung für einen internen Sinuslift gelten [36].

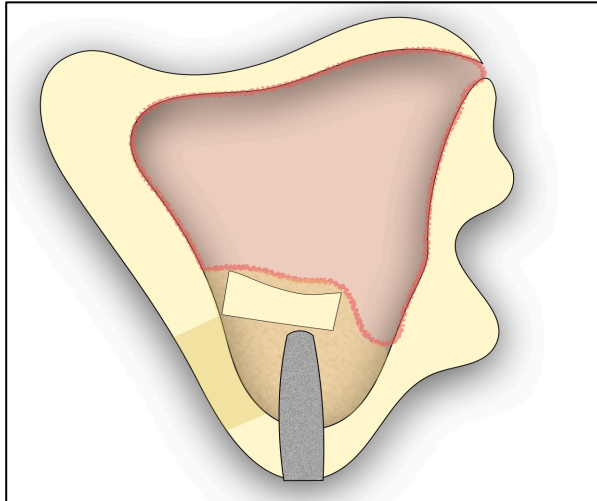


Abb. 3: Der externe (direkte) Sinuslift erfolgt über einen lateralen Zugang mit Bildung eines Knochendeckels. Nach Elevation der in Rot dargestellten Schneiderschen Membran wird Augmentat (orange) in den Hohlraum zwischen knöchernem Kieferhöhlenboden und der Schneiderschen Membran eingebracht.

Vor allem bei größeren Augmentationen im Seitenzahnbereich des Oberkiefers findet der externe Sinuslift Verwendung (Abbildung 3).

Er wird, aufgrund des direkten Zugangs zum Augmentationsbereich, auch als direkter Sinuslift bezeichnet. Hierbei erfolgt der Zugang im Gegensatz zum internen Sinuslift nicht von krestal, sondern über die faziale oder laterale Kieferhöhlenwand. Diese wird freigelegt und ein Kieferhöhlenfenster im

Bereich der Kieferhöhlenwand, ähnlich dem einer osteoplastischen Kieferhöhlenoperation, angelegt (Abbildung 4). Hierbei wird jedoch die fragile Schneidersche Membran geschont, sodass es nicht zur Eröffnung der Kieferhöhle kommt. Nach vorsichtiger Entnahme oder Einklappen des Knochendeckels wird nun die Kieferhöhlenschleimhaut weiter mobilisiert und vom Knochenlager abgelöst (Abbildung 5), sodass der knöcherne Kieferhöhlenboden im zu augmentierenden Bereich freiliegt. In den so geschaffenen Hohlraum zwischen knöchernem Boden des Sinus maxillaris und angehobener Schneiderscher Membran wird nun Augmentationsmaterial eingebracht. Nach Rückverlagerung der Schleimhaut und gegebenenfalls des Knochendeckels erfolgt zunächst die Einheilphase, welche zwischen vier und neun Monaten dauert. Die Länge der Einheilphase hängt, neben den Wundverhältnissen, maßgeblich von den verwendeten Augmentationsmaterialien ab. Generell wird die Einheilzeit durch autologe Materialien mit vitalen knochenbildenden Zellen verkürzt. Bei ausreichendem Knochenangebot beziehungsweise adäquater Primärstabilität ist auch eine einzeitige Implantation möglich. Hierdurch kann die Dauer bis zur abschließenden prothetischen Versorgung verkürzt werden, da die Einheilzeit des Augmentationsmaterials und der Implantate zusammenfällt. Wie in Kapitel 1.2 erwähnt, wurde das Verfahren des externen Sinuslifts maßgeblich vom amerikanischen Zahnarzt Tatum im Jahr 1974 entwickelt und 1986 erstmals publiziert [33]. Bis heute ist dieses Verfahren weitgehend unverändert und wurde lediglich durch technische Entwicklungen wie die *Piezo-Surgery* und Augmentations- und Membranmaterialien stetig optimiert [39].

Insgesamt ist es im Seitenzahnbereich des Oberkiefers grundsätzlich überlegen gegenüber Augmentationsverfahren zur absoluten Alveolarkammerhöhung, da mittels externem Sinuslift deutlich bessere Erfolgsraten erzielt werden können und auf die aufwändige Gewinnung adäquater Knochentransplantate verzichtet werden kann. Aufgrund der geringen Kontaktfläche zur ossären Einheilung, die Blockaugmentate im Verhältnis zu ihrem Gesamtvolumen besitzen, ist die suffiziente Einheilung von Knochenblöcken deutlich schwieriger und die Prognose insgesamt schlechter [40] als bei Sinusbodenaugmentationen.

1.4 Komplikationen der Sinusliftoperation

Obwohl die beschriebenen Verfahren als Standardaugmentationsverfahren anzusehen sind und klinisch als gut prognostizierbar und sicher gelten, gibt es zahlreiche Komplikationen, die auftreten können. Hierzu zählen allgemeine chirurgische Komplikationen, wie Wundheilungsstörungen, Blutungen, Entzündungsreaktionen und spezielle Risiken, wie die Perforation der Schneiderschen Membran. Infolge von Perforationen kommt es häufig zur Entwicklung einer Kieferhöhlenentzündung mit Infektion oder Dislokation des eingebrachten Augmentationsmaterials [41]. Dieser Komplikation ist insbesondere deshalb eine besondere Bedeutung beizumessen, da in der Regel der Erfolg des operativen Eingriffs hierdurch gefährdet wird. Darüber hinaus werden möglicherweise aufwändige Folgeeingriffe erforderlich. Lange Wundheilungsphasen verzögern die Versorgung des Patienten mit suffizientem Zahnersatz teils erheblich.

Perforationen der Schneiderschen Membran im Rahmen der externen Sinusliftoperation werden in einer Studie von Al-Dajani et al. (2016) mit Inzidenzen zwischen 3,6 % und 41,8 % beschrieben [42]. In ihrer Studie untersuchten sie wissenschaftliche Publikationen zwischen 1975 und 2015, die Risikofaktoren bei Sinusliftoperationen darstellen. Hier zeigte sich die Inzidenz von Perforationen der Schneiderschen Membran in durchschnittlich 23,5 % aller Fälle [42]. Geht man von diesem Wert aus, so entstehen Perforationen in knapp einem Viertel der externen Sinuslifte. Die zuvor beschriebenen internen Sinuslifte werden hierbei nicht näher betrachtet. Dies liegt zum einen an der deutlich reduzierten Anwendung dieses Verfahrens, zum anderen jedoch vor allem daran, dass Perforationen klinisch meist nicht erkannt werden können. Eine repräsentative Erhebung von Perforationsraten für den indirekten Sinuslift ist somit nicht,

beziehungsweise nur eingeschränkt möglich. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden daher die internen Sinuslifts ausgeschlossen und ausschließlich die externen Sinuslifts untersucht.

Der Grund, warum Perforationen der Schneiderschen Membran in der Literatur nur wenig Erwähnung finden, liegt sicherlich auch darin begründet, dass nicht jede Perforation Einfluss auf das Operationsergebnis hat [43, 44]. Ferner ist nicht grundsätzlich ein Zusammenhang zwischen Perforation – sofern diese überhaupt klinisch erkannt wird – und Folgekomplikationen erkennbar. Neben Größe und Lokalisation von Perforationen ist auch die Methode der Perforationsdeckung entscheidend für das Operationsergebnis. Auch hier gibt es bislang keine klaren Empfehlungen, sodass sich zahlreiche verschiedene Verfahren zur Perforationsdeckung entwickelt haben. Dennoch zählt die Deckung mit resorbierbaren Kollagenmembranen, wie sie in Kapitel 1.8 thematisiert und in dieser Studie untersucht wird, sicherlich zu den verbreitetsten Verfahren [45].

1.5 Entstehung von Perforationen der Schneiderschen Membran

Im Rahmen der Sinusliftoperation gibt es drei Schritte, bei denen ein erhöhtes Perforationsrisiko besteht.

Der erste kritische Schritt ist die Präparation des Knochendeckels im Bereich der fazialen oder lateralen Kieferhöhlenwand. Obwohl der Einsatz moderner Techniken wie *Piezo-Surgery* (siehe Abbildung 4) das Risiko für Perforationen minimieren [46], ist eine Verletzung der Schneiderschen Membran auch hierbei nicht auszuschließen. Die schonende Präparation des Weichgewebes mittels *Piezo-Surgery* [47] bedingt ein geringeres haptisches Feedback, weshalb diese Technik nicht generell als Standard gilt. Generell sollte der Behandler die Operationstechnik anwenden, mit der er selbst am besten vertraut ist.

Der kritischste Schritt der Sinusliftoperation ist die Elevation der Schneiderschen Membran (Abbildung 5). Hierbei ist äußerste Vorsicht geboten, um ein Einreißen der Membran zu verhindern. Nicht nur durch Mobilisation der Schneiderschen Membran, sondern auch durch akzidentielle Berührung mit Saugern oder Präparationshaken kann eine Perforation entstehen.

Zuletzt ist das Einbringen des Augmentationsmaterials ein kritischer Schritt, der zur Perforation führen kann. Kausal ist hier ein Überstopfen des Augmentationsmaterial am wahrscheinlichsten. Auch können scharfkantige, vor allem xenogene Augmentations-

materialien zu einer direkten Schädigung der Schneiderschen Membran führen. Aus diesem Grund werden häufig Kollagenmembranen eingesetzt, um die Schneidersche Membran zu präventiv zu schützen oder bereits entstandene Perforationen abzudecken (siehe Kapitel 1.8). Es sollte jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass durch Augmentationsmaterialien verursachte Perforationen klinisch häufig nicht erkannt werden können.

1.6 Risikofaktoren zur Entstehung von Perforationen

Wie die vorab erwähnten Inzidenzen zeigen, sind gelegentliche Perforationen der Schneiderschen Membran unvermeidbar. Ardekian et al. (2006) beschreiben die Bedeutung verschiedener Faktoren für die Entstehung von Perforationen [48]. Je größer die operative Freilegung der Schneiderschen Membran ist, desto höher ist das Perforationsrisiko. Auch das Vorhandensein von Underwoodschen Septen im Sinus maxillaris beeinflusst das Perforationsrisiko [49]. Diese natürlichen Kieferhöhlensepten können, je nach Lage, die Präparation erschweren und durch die Entstehung scharfer Knochenkanten zur Perforation der Schneiderschen Membran führen [50]. Dies hat nicht zuletzt zur zunehmenden Anwendung der DVT im Rahmen der präoperativen Diagnostik geführt [47, 51]. Die DVT ermöglicht eine präzise Darstellung ossärer Strukturen bei geringer Strahlenbelastung. Verglichen mit anderen dreidimensionalen Verfahren wie der Computertomographie (CT) zeigt bietet die DVT eine wesentlich geringere Strahlendosis [52]. Dennoch ist die Strahlenbelastung einer modernen DVT etwa drei- bis sechsmal höher als bei einem konventionellen Orthopantomogramm (OPTG) [53]. Mit zunehmender technischer Entwicklung werden jedoch auch die Strahlenbelastungen radiologischer Verfahren geringer und somit Verhältnismäßigkeiten zwischen einzelnen Verfahren relativiert. Dennoch ist die Entscheidung für zusätzliche radiologische Diagnostik stets patienten- und indikationsabhängig [54]. Die Anwendung sollte somit nur dann erfolgen, wenn ein klinischer Nutzen erwartet werden kann, der eine rechtfertigende Indikation darstellt [55]. Neben anatomischen Besonderheiten zählen auch vorbestehende Infektionen zu den Risikofaktoren. Eine Sinusitis maxillaris erhöht das Risiko einer Infektion des Augmentationsmaterials in Folge einer Perforation der Schneiderschen Membran zusätzlich, auch wenn diese rein rhinogen bedingt ist und keine dentogene Ursache hat. Erkrankungen der Hals-Nasen-Ohrenregion sollten daher präoperativ behandelt werden [56]. Zusätzlich ist auch das Ausmaß der Augmentation

entscheidend. Je größer der zu augmentierende Bereich ist und je ausgedehnter die Präparation der zu augmentierenden Kavität ausfällt, desto größer ist das Risiko einer Perforation der Schneiderschen Membran.

Die chirurgische Expertise zählt ebenfalls zu den Einflussfaktoren, da viel Erfahrung im Umgang mit den fragilen anatomischen Strukturen erforderlich ist. Auch wenn der Sinuslift mittlerweile als Standardverfahren der dentalen Implantologie gilt, ist die chirurgische Erfahrung von höchster Relevanz.

Perforationen der Schneiderschen Membran können die Prognose des Sinuslifts potenziell beeinträchtigen und zu schwerwiegenden Komplikationen führen. Perforationen können nicht nur Infektionen des Augmentationsmaterials bedingen, sondern ebenso zu einer Dislokation von Augmentationsmaterial in den *Sinus maxillaris* mit daraus folgender Kieferhöhlenentzündung führen. Aufwändige Nachbehandlungen sowie die verzögerte prothetische Versorgung sind die Folge. Erhöhte Kosten und eine Verschlechterung des geplanten Behandlungsergebnisses können hieraus resultieren.

Neben den operativen Risiken bestehen weitere anamnestiche Risikofaktoren mit Einfluss auf die Wundheilung. Hierzu zählen in erster Linie Tabakkonsum, onkologische Therapien – wie zum Beispiel Strahlentherapien – sowie immunsuppressive Therapien. Die beiden erstgenannten Risikofaktoren wurden ebenfalls in der vorliegenden Arbeit untersucht.

1.7 Unterschiede in den Verfahren des Sinuslifts und der Implantatversorgung

Für die Implantologie und ihre multiplen Augmentationsverfahren gibt es aktuell noch keine klar definierten Leitlinien. Somit existieren mehrere etablierte Verfahren, die mehr oder weniger stark von dem oben genannten Verfahren nach Tatum abweichen. Dies gilt sowohl für die Augmentation selbst als auch für die spätere Weiterbehandlung; von der Implantatinsertion bis zur Eingliederung der prothetischen Versorgung.

Auch wenn das Verfahren des externen Sinuslifts nach Tatum heute in seinen Grundzügen unverändert ist, gibt es vor allem technische Unterschiede, die je nach Behandler und Lehrmeinung variieren. Erste Unterschiede finden sich bereits bei der chirurgischen Schnittführung zur Darstellung der Kieferhöhlenwand sowie nachfolgenden Fensterung des *Sinus maxillaris* (siehe Abbildung 4) und Freilegung der Schneiderschen Membran (siehe Abbildung 5). Im Seitenzahnbereich des Oberkiefers

gibt es hier zwei grundlegende Arten der Schnittführung, deren jeweilige Anwendung maßgeblich von der Bezaehlung im angrenzenden Kieferanteil abhängt.

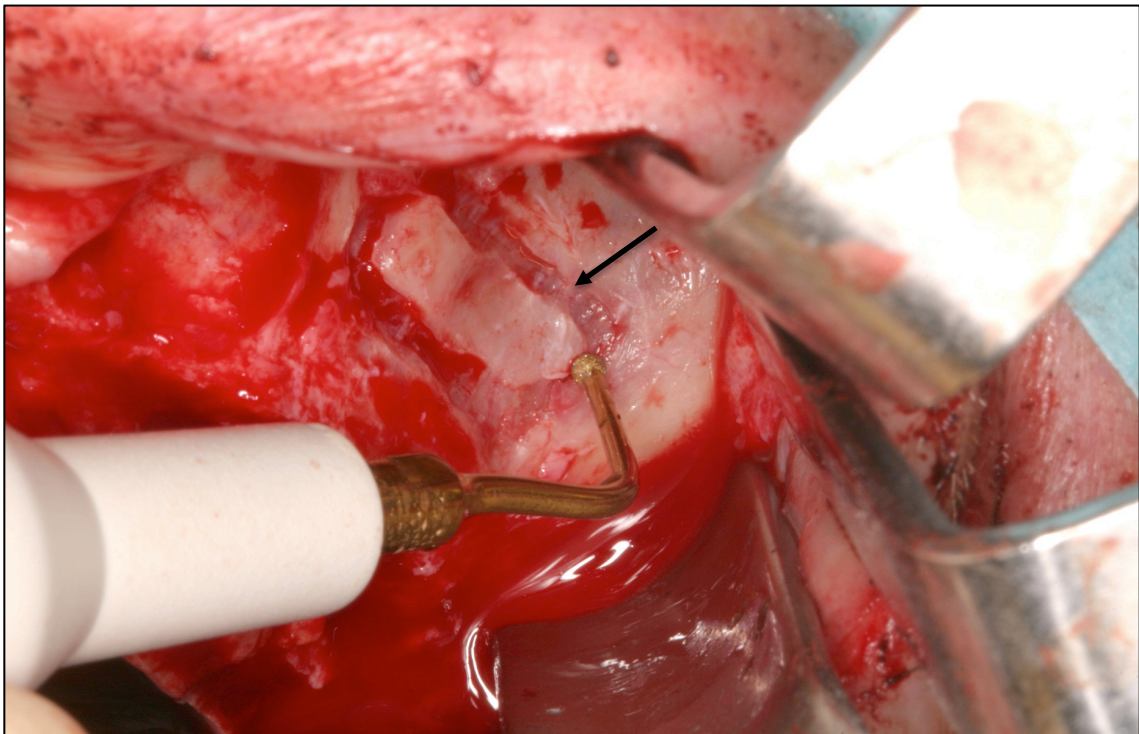


Abb. 4: Präparation des Kieferhöhlenfensters nach krestaler Schnittführung. Die Präparation erfolgt unter strenger Schonung der Schneiderschen Membran (Pfeil). Schonende Techniken wie die Anwendung von *Piezo-Surgery* finden hier Verwendung. Nach: Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Schorn, L., Holtmann, H., *Influence of Schneiderian Membrane Perforations on the Prognosis and Outcomes of Lateral Window Sinus Lift Operations: A Retrospective Case Series Study*, J Dent Oral Disord Ther, 2018. 6(2): 1-9

Die häufigste Schnittführung ist die marginale beziehungsweise krestale Schnittführung, bei der ein zentraler Schnitt entlang des krestalen Kieferkamms erfolgt (siehe Abbildung 4). Je nach Bedarf können mesiale und distale Entlastungsinzisionen ins Vestibulum erfolgen, wobei Rücksicht auf die gingivale Blutversorgung genommen werden sollte. In bezahnten Anteilen wird der Schnitt entlang des marginalen Gingivasaums fortgeführt, woraus sich der Name dieser Schnittführung ableitet. Das Periost wird vom Knochen abgehoben und ein Mukoperiostlappen gebildet, welcher später in seine Ursprungsposition zurückverlagert werden kann. Ferner ist es möglich, den Mukoperiostlappen durch Periostschlitzung zu verlängern und so mögliche Schleimhautdefekte zu überbrücken. Vorteile des Verfahrens sind die gute intraoperative Übersicht des Operationsgebiets, die Darstellung der gesamten Höhe des Kieferkamms und die bessere Durchführbarkeit eines speicheldichten Wundverschlusses. Ebenso ermöglicht sie die Erweiterung der Präparation nach kaudal. Da die marginale Schnittführung im Bereich der keratinisierten Gingiva verläuft, kann sie einen Verlust

keratinisierter Gingiva nach sich ziehen, welche für die Implantatversorgung und Einheilung von großer Bedeutung ist.

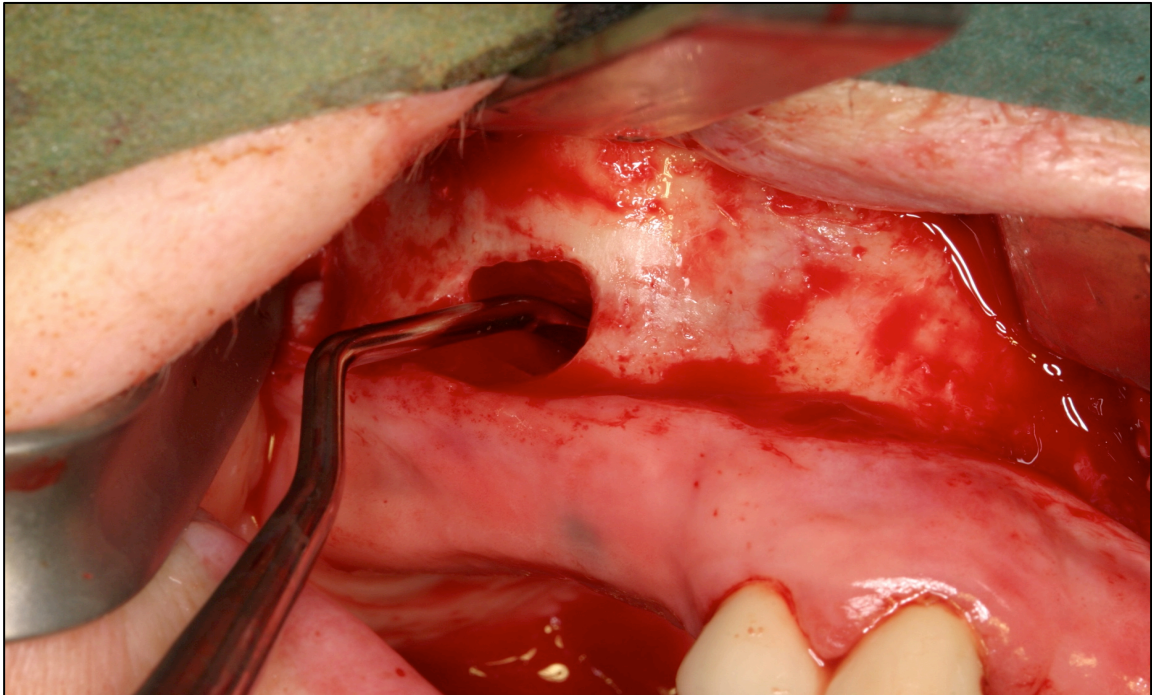


Abb. 5: Die Elevation der fragilen Schneiderschen Membran nach paramarginaler Schnittführung und Präparation der Zugangskavität. Zur Schaffung des Augmentatlagers erfolgt die weitere Präparation mittels speziell geformter, stumpfer Instrumente. Dies bedarf äußerster Vorsicht, da Perforationen das Risiko einer Dislokation des eingebrachten Knochens bergen und so direkten Einfluss auf die Prognose nehmen können. Nach: Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Schorn, L., Holtmann, H., *Influence of Schneiderian Membrane Perforations on the Prognosis and Outcomes of Lateral Window Sinus Lift Operations: A Retrospective Case Series Study*, J Dent Oral Disord Ther, 2018. 6(2): 1-9

Eine Alternative, welche die keratinisierte Gingiva schont, ist die sogenannte paramarginale Schnittführung (siehe Abbildung 5). Hier erfolgt der Schnitt nicht krestal, sondern vestibulär wenige Millimeter unterhalb der keratinisierten Gingiva. Auch hier können Entlastungsinzisionen ins Vestibulum erfolgen. Ebenfalls wird ein Mukoperiostlappen gebildet und das Operationsgebiet dargestellt. Neben der Schonung keratinisierter Gingiva ist dieses Verfahren auch in teilbezahnten Abschnitten von Vorteil, da im Gegensatz zur marginalen Schnittführung der Schnitt nicht sulkulär verläuft und somit Rezessionen an den natürlichen Zähnen vorgebeugt wird. Von Nachteil sind Narbenzüge im Vestibulum, sowie die fehlende Erweiterbarkeit der Präparation zum Kieferkamm. Wie in Abbildung 5 ersichtlich, grenzt die ossäre Fensterung an die Schnittführung, was sich nachteilig auf die Wundheilung auswirken kann. Ebenso ist die Schleimhaut vestibulär sehr viel feiner und fragiler sodass ein sicherer Wundverschluss erschwert wird.

Weitere Verfahrensunterschiede zeigen sich bei der Fensterung der Kieferhöhlenwand. Es erfolgt eine kreisförmige oder rechteckige Fensterung des Knochens. Anschließend wird der Knochendeckel nach innen mobilisiert und in den zu augmentierenden Bereich eingeschlagen (siehe Abbildung 6). Die Präparation kann mittels chirurgischen Handstücken oder *Piezo-Surgery* erfolgen. Trotz der deutlichen Vorteile in der Schonung von Weichgewebe bei der *Piezo-Surgery*, ist dieses Verfahren nicht grundsätzlich von Vorteil [57]. Bei Verwendung chirurgischer Handstücke sind die Erfahrungen im Umgang oft größer, sodass diese Technik mindestens ebenso häufig Anwendung findet. Ein haptisch kontrolliertes Arbeiten ist hier in der Regel besser möglich als mittels *Piezo-Surgery*.

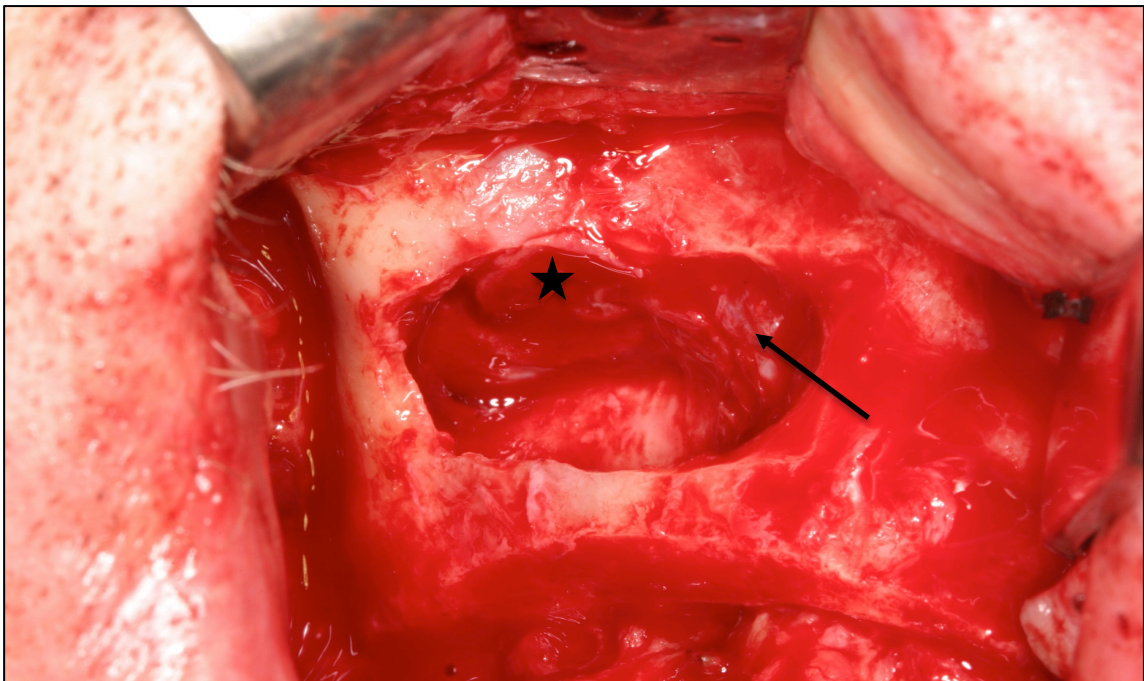


Abb. 6: Die freigelegte und angehobene Schneidersche Membran (Pfeil). Das vestibuläre Knochenfenster ist in Richtung des oberen neu geschaffenen Augmentatlagers verdrängt (Stern). Nach: Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Schorn, L., Holtmann, H., *Influence of Schneiderian Membrane Perforations on the Prognosis and Outcomes of Lateral Window Sinus Lift Operations: A Retrospective Case Series Study*, J Dent Oral Disord Ther, 2018. 6(2): 1-9

Ebenfalls entscheidend ist der Insertionszeitpunkt der Implantate. Hierbei wird zwischen einzeitiger und zweizeitiger Implantation unterschieden. Bei der einzeitigen Implantation erfolgen die Augmentation und Implantation im selben operativen Eingriff. Hierfür sind insbesondere die Knochenqualität und die daraus resultierende Implantatstabilität entscheidend. Bei der Implantatstabilität wird zwischen Primär- und Sekundärstabilität unterschieden. Während die Primärstabilität in der Regel durch direkte, rein mechanische Verblockung des Implantates im Knochen bedingt ist [58], entsteht die Sekundärstabilität durch Osseointegration des Implantats. Da Hartgewebe im Vergleich zu Weichgewebe

eine verlängerte Regenerationszeit aufweist, dauert die Osseointegration mehrere Wochen bis Monate. Somit entwickelt sich die Sekundärstabilität erst deutlich später. Demgegenüber nimmt die Primärstabilität durch Knochenresorptionen in Folge von Druck- und Präparationstraumata im Verlauf ab. Generell gilt: Eine ausreichende Primärstabilität und belastungsfreie Heilungsphase sind die Voraussetzung zur Entstehung einer Sekundärstabilität. Insgesamt nimmt die Primärstabilität im Verlauf zunächst ab und erhöht sich erst deutlich später durch Entwicklung der Sekundärstabilität. Die Belastbarkeit von Implantaten ist somit nicht etwa unmittelbar nach Implantation, sondern erst wenige Wochen später am geringsten. Die Primärstabilität stellt somit kein Maß für die Belastbarkeit von Implantaten dar [59]. Für die einzeitige Implantation ist eine ausreichende Primärstabilität die zentrale Voraussetzung. Ist die Primärstabilität nicht ausreichend, erfolgt die Implantation erst drei bis sechs Monate nach der Knochenaugmentation. Dieses Vorgehen wird als zweizeitige Implantation bezeichnet wird. Der Zeitpunkt der Implantatinsertion hängt also von den knöchernen Verhältnissen und der Primärstabilität ab. Die zeitlichen Verhältnisse zwischen Primär- und Sekundärstabilität sind in Abbildung 7 grafisch dargestellt.

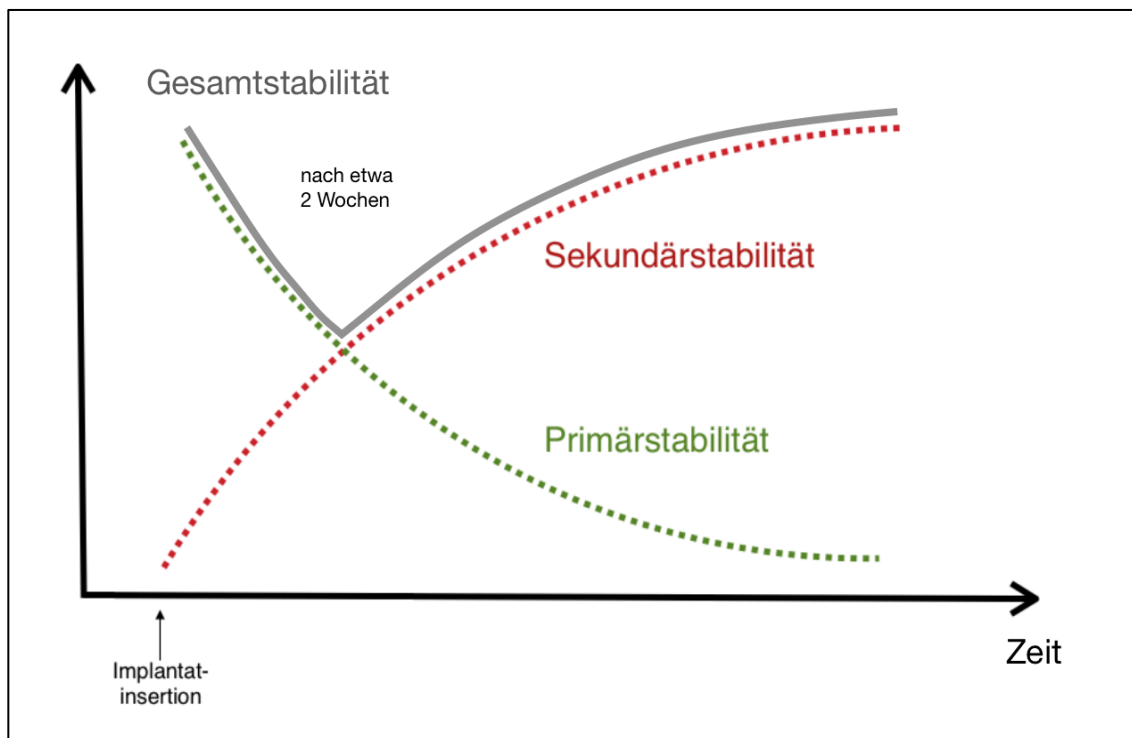


Abb. 7: Schematische Darstellung der Primär- und Sekundärstabilität. Während die Primärstabilität (grün) direkt nach Insertion am höchsten ist, nimmt die Sekundärstabilität (rot) im Verlauf zu, sobald das Implantat osseointegriert. Für einen langfristigen Implantaterhalt ist die Sekundärstabilität entscheidend. Die Entwicklung einer suffizienten Sekundärstabilität bedarf wiederum ausreichender Primärstabilität. Nach etwa zwei Wochen zeigt sich eine deutliche Verringerung der Gesamtstabilität (grau). Nach Smeets et al. *Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration*. Biomed Res Int, 2016. **2016:** p. 6285620.

1.8 Augmentationsmaterialien und Verfahren zur Deckung von Perforationen

Große Variationen zeigen sich beim externen Sinuslift vor allem in der Verwendung der jeweiligen Augmentationsmaterialien. Hierbei unterscheidet man zwischen vier Hauptgruppen relevanter Augmentationsmaterialien:

1. Autologer Knochen: Für zahnärztliche Eingriffe wird er meist intraoral von retromandibulär oder aus der Kinnregion entnommen. Hierbei wird zwischen spongiossem und kortikalem Knochen unterschieden. Spongioser Knochen ist biomechanisch weniger stabil, enthält jedoch mehr knochenbildende Zellen. Er kommt immer dann zur Anwendung, wenn Knochenaufbauten modelliert oder spaltförmige Knochendefekte überbrückt werden sollen. Kortikaler Knochen hingegen wird vor allem für Blockaugmentationen verwendet [60]. In der zahnärztlichen Implantologie werden häufig Knochenfallen oder -filter (siehe Abbildung 8) verwendet, mit denen kortikale Knochenspäne, welche bei der Präparation des Knochendeckels oder der Implantatbohrung anfallen, gesammelt und als Augmentationsmaterial verwendet werden. Die Knochenspäne enthalten in geringer Anzahl vitale knochenbildende Zellen und besitzen daher eine osteogenetische Potenz. Bei umfangreicherem Knochenbedarf kommt häufig Knochen aus dem Beckenkamm zum Einsatz.

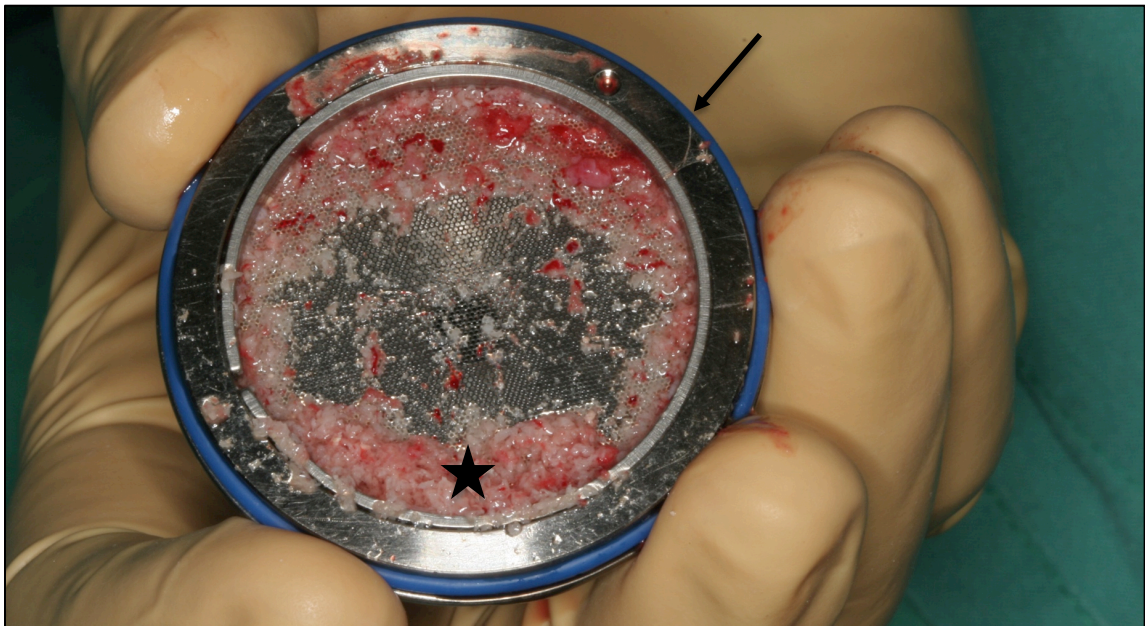


Abb. 8: Frisch entnommener autologer Knochen (Stern) der mit Hilfe eines Knochenfilters (Pfeil) bei der Kavitätenpräparation gesammelt wurde. Der Knochenfilter wird in den Ansatz des Saugers eingesetzt, sodass Knochensplinter aufgefangen werden können. Nach: Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Holtmann, H., *Advantages of the Additional use of Autologous Bone Substitute Materials at Major Sinus Lift Operations*, Ger Med J, 2018. **23**(2): p. 54-63

2. Xenogene Knochenersatzmaterialien: Hierbei handelt es sich oftmals um deproteinierten Knochen, welcher häufig bovinen Ursprungs ist (zum Beispiel Geistlich BioOss®). Daneben werden jedoch auch Materialien porcinen oder equinen Ursprungs verwendet. Die xenogenen Materialien haben rein osteokonduktive Eigenschaften [61], da sie als rein anorganischer Knochenbestandteil eine Platzhalterfunktion besitzen und dem einsprossenden Knochen somit als Leitstruktur dienen.
3. Alloplastische Knochenersatzmaterialien: Synthetisch hergestellte, alloplastische Materialien basieren in der Regel auf Trikalziumphosphat oder Hydroxylapatit. Darüber hinaus gibt es noch biologisch aktive Gläser auf Basis von Natrium-, Kalzium-, Silizium- und Phosphoroxiden. Die knochenbildenden Eigenschaften von alloplastischen Knochenersatzmaterialien beruhen auf ihrem osteokonduktiven Effekt.
4. Allogener Knochen: Hierbei handelt es sich um unbehandelten oder chemisch bearbeiteten humanen Knochen von Gewebespendern, welcher mittels spezieller Konservierungs- und Sterilisationsverfahren aufbereitet wird. Man unterscheidet Materialien in mineralisierter (MFDB; *mineralized freeze-dried bone*) oder demineralisierter (DFDB; *demineralized freeze-dried bone*) Form.

Die verbreitetsten Materialien in der Zahnmedizin sind sicherlich xenogene und autologe Augmentationsmaterialien. Während autologer Knochen aufgrund seiner hervorragenden knochenbildenden Eigenschaften und des fehlenden Infektions- und Fremdkörperreaktionsrisikos als Goldstandard gilt, wird xenogener Knochen vor allem wegen seiner einfachen und kostengünstigen Verfügbarkeit häufig angewendet.

Ebenso wird häufig eine Kombination beider Materialien genutzt (siehe Abbildung 9). Dies hat den Vorteil, dass resorptionsstabile Materialien mit osteokonduktiven und -induktiven Eigenschaften entstehen, welche ohne übermäßigen operativen Aufwand in ausreichender Menge gewonnen werden können. Hierdurch kann das Komplikationsrisiko größerer EntnahmeprozEDUREN verringert oder gar auf zusätzliche Eingriffe verzichtet werden. Ferner wird durch die Zugabe von nicht resorbierbarem, xenogenem Material eine frühzeitige Resorption verhindert und somit ein langfristiger Erhalt des Knochens im augmentierten Bereich erzielt.



Abb. 9: Die Kombination von Augmentationsmaterialien: Mittels Beckenkammstanze entnommenes autologes Knochenmaterial (Pfeil) in Kombination mit xenogenem Material (Geistlich BioOss®; Stern). Neben den oben genannten Vorteilen des autologen Knochens verhindert der xenogene Knochen in diesem Gemisch eine vorzeitige Resorption. Nach: Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Holtmann, H., *Advantages of the Additional use of Autologous Bone Substitute Materials at Major Sinus Lift Operations*, Ger Med J, 2018. **23**(2): p. 54-63

Neben den Augmentationsmaterialien werden heutzutage vor allem resorbierbare und nicht resorbierbare Membranen auf Basis von Kollagen, Titan oder Polytetrafluorethylen (PTFE) zur gesteuerten Knochenregeneration (GBR; *guided bone regeneration*) genutzt. Membranen schützen nicht nur das Augmentationsmaterial, sondern verhindern auch die frühzeitige Einsprossung von Bindegewebe und somit den bindegewebigen Durchbruch des Augmentationsbereichs. Kollagenmembranen werden häufig eingesetzt, da sie resorbierbar sind und somit kein erneuter Eingriff zur Entnahme erforderlich ist. Sie existieren in unterschiedlichen Stärken und mit unterschiedlicher Resorptionsdauer. Diese sind angepasst an die jeweiligen Anwendungsbereiche. Titan- und PTFE-Membranen hingegen müssen in einem weiteren Eingriff, nach Konsolidierung des Augmentationsmaterials, entfernt werden. Dennoch werden sie aufgrund ihrer guten Eigenschaften bezüglich Dichte und Verarbeitung noch gelegentlich angewendet. Neben der reinen Abdeckung des Augmentationsmaterials im Rahmen der GBR werden resorbierbare Membranen ebenfalls zur Deckung von Perforationen der Schneiderschen Membran verwendet. Hierbei sollen ein Austritt von Augmentationsmaterial in die Kieferhöhle und somit Infektionen und Sinusitiden verhindert werden. Häufig werden sie nicht ausschließlich auf perforierte Stellen aufgelegt, sondern als protektive

Maßnahme verwendet, um eine Verletzung der Membran im Rahmen der Augmentation zu verhindern.

Weitere Verfahren zum Verschluss von Perforationen sind die Anwendung von Gewebekleber sowie spezielle Nahttechniken [62]. Ferner werden kleinere Perforationen häufig belassen. Hierfür existieren jedoch keine klaren Grenzwerte und Richtlinien, sodass die Auswirkungen derartiger Perforationen zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abschließend untersucht sind.

1.9 Ziele der Arbeit

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den Auswirkungen von Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapien auf die Erfolgsraten von externen Sinusliftoperationen.

Das Auftreten von Perforationen wird zwar als eine der häufigsten Komplikationen des externen Sinuslifts bezeichnet, jedoch ist der prognostische Einfluss dieser Komplikation weitgehend unerforscht. Ferner existieren zahlreiche Verfahren zur Deckung dieser Perforationen, deren Effektivität nicht abschließend geklärt ist.

Die Erfolgsraten der externen Sinusliftoperationen und der inserierten Implantate wurden zwischen unperforierten und perforierten Membranen verglichen, um festzustellen, ob Perforationen nach Abdeckung der Schneiderschen Membran mit einer Kollagenmembran eine klinische Relevanz haben. Zusätzlich wurde der Einfluss von Tabakkonsum sowie eine stattgehabte Strahlentherapie im Operationsgebiet untersucht. Beide Faktoren wurden auf ihren prognostischen Einfluss hin untersucht und in Relation zum Einfluss der Perforationen der Schneiderschen Membran gesetzt.

Ebenfalls wurde die Bedeutung des verwendeten Augmentationsmaterials untersucht. Hierbei wurde evaluiert, ob die zusätzliche Verwendung von autologer Beckenkammpongiosa, die Erfolgsraten von externen Sinusliftoperationen und inserierten Implantate verbessert.

Zuletzt wurde der Einfluss der präoperativen krestalen Restknochenhöhe und sein Einfluss auf die Häufigkeit von Perforationen sowie die Erfolgsraten des externen Sinuslifts und der inserierten Implantate untersucht.

2 Material und Methode

2.1 Patientenkollektiv

Die vorliegende retrospektive Studie untersuchte alle Patienten, welche in den Jahren 2003 bis 2013 in der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf mittels externem Sinuslift implantologisch versorgt wurden.

Anhand der Anamnese wurde zudem erfasst, ob die Patienten Raucher oder Nichtraucher waren. Da keine aussagekräftigen Daten über die jeweilige Menge des Tabakkonsums erhoben wurden, konnte lediglich eine rein dichotome Datenerhebung erfolgen. Quantitative Untersuchungen von tabakassoziierten Komplikationen, zum Beispiel in Abhängigkeit von den jeweiligen Packungsjahren (*pack-years*), wurden daher nicht erstellt. Packungsjahre errechnen sich als Produkt aus täglich konsumierten Zigarettenpackungen und den Jahren des Konsums und sind ein geeignetes wissenschaftliches Maß zur quantitativen Bewertung.

Viele der untersuchten Patienten wurden im Rahmen von oralen Tumorerkrankungen bereits vorab am Universitätsklinikum Düsseldorf operiert. Hierbei handelte es sich überwiegend um Patienten mit einem oralen Plattenepithelkarzinom. Darüber hinaus wurden zahlreiche Patienten postoperativ durch eine Strahlentherapie behandelt. Vor Beginn der Strahlentherapie erfolgte eine chirurgisch-dentoalveoläre Sanierung zur Prävention von Osteoradionekrosen. Die Strahlentherapie wurde als Risikofaktor für einen externen Sinuslift untersucht. Eine genauere Unterteilung in alleinige Strahlentherapie und kombinierte Radio-Chemotherapie erfolgte nicht. Demnach wird im Folgenden der Begriff Strahlentherapie allgemein verwendet. Es wurden lediglich Strahlentherapien des Kopf-Hals-Bereichs erfasst. Strahlentherapien operationsferner Gebiete wurden nicht mit einbezogen, da sie keinen direkten Einfluss auf die oralen Gewebe haben.

Neben dem Tabakkonsum sowie einer stattgehabten Strahlentherapie wurden die Patienten bezüglich der verwendeten Augmentationsmaterialien untersucht. In diesem Zusammenhang wurde untersucht, ob sich durch den Einsatz autologer Beckenkamm-spongiosa Vorteile hinsichtlich des Therapieerfolgs des externen Sinuslifts ergeben (siehe Kapitel 2.3).

Alle untersuchten Patienten wurden ausschließlich vom selben Behandler operiert. Hierdurch wurde eine maximale Homogenität der Daten erzielt und eine Beeinflussung durch verschiedene operative Behandlungskonzepte und Vorgehensweisen verhindert. Die Eingriffe erfolgten nach einem strikt einheitlichen operativen Vorgehen, welches in Kapitel 2.3 genauer erklärt wird.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden vor Beginn der Datenerhebung bei der Ethikkommission der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf zur Prüfung vorgelegt. Erst nach Freigabe durch die Kommission wurden die Daten erhoben und ausgewertet. Die Prüfung und Freigabe erfolgte am 19.12.2014 durch ein positives Ethikvotum unter der Studiennummer 4912.

2.2 Datenerhebung und Einschlusskriterien

Alle Daten wurden anhand von digital vorliegenden Operationsberichten erhoben. Die Operationsberichte aus den Jahren 2003 bis 2013 wurden nach den Schlagwörtern „Sinuslift“, „Sinus“ und „Augmentation“ durchsucht. Interne Sinuslifte wurden ausgeschlossen. In der Recherche fanden sich insgesamt 314 Operationsberichte. Sofern sich in diesen Berichten oder den nachfolgend ausgewerteten Patientenakten Hinweise auf weitere Operationen ergaben, wurden diese in die Datenerfassung mit einbezogen. Aus den ausgewählten Berichten wurden folgende Daten gewonnen:

- Datum der Operation
- Alter des Patienten zum Zeitpunkt der Operation
- Geschlecht
- präoperative Diagnose
- Art des Eingriffs
- Augmentationsmaterialien und Kollagenmembranen
- Auftreten von Perforationen und die Vorgehensweise zur Deckung
- Zeitpunkt der Implantatinsertion
- Anzahl und Typ der inserierten Implantate
- Komplikationen
- Zweiteingriffe

Die erhobenen Daten wurden in einer eigens konzipierten Tabelle im Microsoft® Excel-Format dokumentiert. Zusätzlich zu den oben genannten Daten wurden der Zeitpunkt der

Implantation, getrennt nach einzeitigen und zweizeitigen Implantationen, sowie die spätere prothetische Versorgung erfasst. Die Weiterversorgung der Patienten sowie die Nachsorge wurde teilweise durch die betreuenden Hauszahnärzte durchgeführt, sodass eine suffiziente Nachverfolgung über das Nachsorgeintervall von sechs Monaten hinaus nicht in allen Fällen möglich war. Sofern weitere Operationen – zum Beispiel zweizeitige Implantationen, Explantationen und Re-Implantationen, Kieferhöhlenrevisionen oder Vestibulumplastiken – erfolgten, wurden auch hierfür die entsprechenden Operationsberichte zur weiteren Datengewinnung herangezogen. Ebenso wurde die Anamnese der entsprechenden Patienten ausgewertet. Hierbei lag der Fokus insbesondere auf:

- Tabakkonsum
- Strahlentherapien im Kopf-Hals-Bereich

Die Patienten wurden mindestens sechs Monate nach Implantation im postoperativen Recall untersucht und betreut. Implantatverluste, Wundheilungsstörungen sowie weitere Komplikationen wurden in dieser Zeit aufgezeichnet. Ebenso wurden prä- und postoperative Röntgenaufnahmen verglichen, um radiologisch feststellbare Dislokationen von Augmentationsmaterialien zu erfassen und die implantologische Knochenhöhe zu bestimmen. Die Röntgenaufnahmen mussten entweder in digitaler oder analoger Form als OPTG vorliegen und zur exakten Vermessung einen Referenzkörper enthalten. Für die Untersuchung wurde die geringste gemessene Knochenhöhe im augmentierten Bereich herangezogen. Bei Unvollständigkeit der oben angegebenen Daten wurden die Patienten aus der Studie ausgeschlossen. Ferner wurden Patienten ausgeschlossen bei denen zusätzlich eine Alveolarkammaugmentation mit Knochenblöcken erfolgte. Die Homogenität der untersuchten Daten wurde durch ein einheitliches Behandlungsschema durch immer denselben Behandler gewährleistet.

2.3 Operatives Vorgehen und verwendete Materialien

Für alle Eingriffe galt ein einheitliches operatives Vorgehen. Nach lateraler Kieferhöhlenfensterung und Elevation der Schneiderschen Membran wurde diese stets mit einer BioMend® Extend Membran (Zimmer Biomet Holdings, Inc., Warsaw, USA) abgedeckt. Hierdurch sollten eventuell vorhandene Perforationen abgedeckt und eine spätere Verletzung der Schneiderschen Membran bei Einbringung des

Augmentationsmaterials verhindert werden. Insgesamt war es hierbei unerheblich, ob eine Perforation auftrat oder nicht. Es erfolgte grundsätzlich in allen Fällen die Einlage einer Membran, um die Schneidersche Membran zu schützen und zu stabilisieren. Bei Feststellung einer Perforation wurde dies im Operationsbericht dokumentiert und die Kollagenmembran auf die perforierte Stelle platziert. Bei größeren Perforationen wurde die Membran gegebenenfalls zusätzlich mittels Fibrinkleber fixiert (insgesamt 18 Fälle). Des Weiteren erhielten alle Patienten für mindestens 5 Tage eine antibiotische Prophylaxe mittels zweimal täglich 875 mg Amoxicillin / 125 mg Clavulansäure *per os* oder dreimal täglich 600 mg Clindamycin *per os* im Falle einer Penicillinallergie.

Die Augmentation erfolgte entweder mit xenogenem BioOss®-Granulat L (1-2 mm Partikelgröße) der Firma Geistlich Biomaterials (Wolhusen; Schweiz) kombiniert mit geringen Mengen an Knochenspänen aus dem Knochensieb oder mit einer Kombination aus autologer Beckenkammpongiosa und BioOss®-Granulat L. Nach Einbringung des Materials wurde das Knochenfenster mit einer Membran abgedeckt. Hierbei wurden entweder Reste der zuvor genutzten BioMend® Extend Membran oder aber eine BioGide Membran der Firma Geistlich Biomaterials (Wolhusen; Schweiz) verwendet. Der Grund für die Verwendung unterschiedlicher Kollagenmembranen lag in der unterschiedlichen Steifigkeit und in den unterschiedlichen Resorptionszeiten. Untersuchungen zeigten, dass die BioMend® Extend Membran gerade in den ersten vier bis acht Wochen eine sehr hohe Resorptionsstabilität aufweist, während die BioGide Membran bereits nach zwei Wochen deutliche Resorptionen zeigt [63].

Es wurden Implantatsysteme unterschiedlicher Hersteller verwendet, sodass keine gesonderte Auswertung der Implantatsysteme erfolgte. Die Vielzahl der Implantathersteller liegt in der Tatsache begründet, dass im Untersuchungszeitraum von zehn Jahren verschiedene Systeme erhältlich waren. Ebenso wurden, häufig auf Wunsch der behandelnden Zahnärzte, Implantate bestimmter Hersteller und entsprechende Systeme verwendet, um die prothetische Versorgung anzupassen. Die jeweiligen Implantathersteller und verwendeten Systeme sind im Folgenden aufgeführt:

- Camlog Biotechnologies AG (Basel; Schweiz)
 - Typ: Camlog Screw Line
- Dentsply Sirona Inc. (York, PA; USA)
 - Typen: Ankylos®, XiVE®, ASTRA TECH Osseospeed Implant System™
- Nobel Biocare (Kloten; Schweiz)

- Typen: Active, Replace Straight, Replace Tapered, Replace Select Straight, Speedy
- Straumann Holding AG (Basel; Schweiz)
 - Typen: Standard Plus, Standard Plus SL Active
- Z-Systems (Oensingen; Schweiz)
 - Typ: Z3-411

Bei allen Implantaten handelte es sich um enossale Schraubenimplantate. Abgesehen von vier Zirkonimplantaten (Z-Systems Z3-411) handelte es sich bei allen Implantaten ausschließlich um Titanimplantate. Insgesamt wurden 833 Implantate nachuntersucht.

2.4 Hauptuntersuchungskriterien

Zur Bewertung des angewendeten Augmentationsverfahrens wurde der Erfolg des Sinuslifts untersucht. Dieser definierte sich über das Ausbleiben von Komplikationen innerhalb des Beobachtungszeitraums von mindestens 6 Monaten. Die Sinusliftoperation wurde als nicht erfolgreich bewertet, wenn eine Kieferhöhlenrevision, eine Entfernung des Augmentationsmaterials oder eine erneute Augmentation erforderlich waren sowie beim Verlust aller eingebrachter Implantate. Grundsätzlich wurde dies bei beidseitiger Knochenaugmentation für jede Seite getrennt ausgewertet. Die Erfolgsrate des Sinuslifts berechnete sich aus der Anzahl der erfolgreichen Operationen im Verhältnis zur Anzahl aller erfolgten Operationen.

Neben der Erfolgsrate der Augmentationsmaterialien wurde die Erfolgsrate der Implantate untersucht. Zur Bewertung des Implantaterfolgs wurde die suffiziente Osseointegration bewertet. Die Osseointegration wurde apparativ mittels einer sogenannten OssTell®-Resonanzfrequenzmessung (W&H Dentalwerk GmbH, Bürmoos, Österreich) bestimmt. Bei diesem Verfahren wird das Implantat mit einem Frequenzmodulator in Schwingung versetzt. Anhand der bestimmten Resonanzfrequenz des Implantates, kann nun ein Implantatstabilitätsquotient (ISQ; *implant stability quotient*) berechnet werden, welcher im Bereich von 1-100 liegt. Je höher der Wert liegt, desto weniger Beweglichkeit lässt das Implantat zu und desto ausgeprägter ist seine Osseointegration. Werte unter 55 werden im klinischen Alltag als Indikator für eine unzureichende Osseointegration angesehen. Implantate, die aufgrund unzureichender Osseointegration nicht prothetisch versorgt werden konnten, wurden als Implantatverlust

gewertet. Somit erfasst die Erfolgsrate der Implantate nicht nur klinisch verloren gegangene, sondern auch unzureichend prothetisch versorgte Implantate.

Es wurden vier verschiedene Einflussfaktoren auf den Augmentations- und Implantaterfolg untersucht:

1. Perforationen der Schneiderschen Membran im Rahmen der Sinusliftoperation
2. Tabakkonsum
3. präoperative Strahlentherapie
4. Verwendung von autologer Beckenkammspongiosa neben xenogenem BioOss®-Granulat als Augmentationsmaterial

Die Implantatinsertion wurde entweder einzeitig im Rahmen der Augmentation oder zweizeitig nach Einheilung des Augmentationsmaterials durchgeführt. Die Implantaterfolgsraten wurden sowohl als Gesamtrate als auch für das einzeitige und zweizeitige Verfahren getrennt ausgewertet.

2.5 Statistik

Die erfassten Daten wurden in einer Microsoft® Excel® Tabelle (Microsoft® Excel® für Mac 2011 Software Version 14.4.8) gesammelt. Nach Erfassung aller Daten wurden die jeweiligen patientenbezogenen Informationen aus der Tabelle entfernt, um die Daten für die weitere Auswertung zu anonymisieren.

Zur statistischen Auswertung wurden binär logistische Regressionsanalysen durchgeführt. Hierzu wurde die Gesamtdatenmenge mittels der Software IBM® SPSS Statistics Version 22 (International Business Machines Corporation, Armonk, USA) aufbereitet und mehrere Regressionsanalysen durchgeführt. Um eine Vermischung der Daten zu verhindern, mussten alle Sinusliftoperationen einzeln bewertet werden. Somit wurden beidseitig durchgeführte Sinuslifte getrennt voneinander in die Regressionsanalyse aufgenommen.

Für die Gesamtdatenmenge waren die Hauptuntersuchungskriterien die Augmentations- und Implantaterfolgsraten. Als abhängige Variablen wurden Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapie festgelegt.

In einer weiteren Analyse, die ausschließlich unbestrahlte Patienten umfasste, wurde die zusätzliche Verwendung autologer Beckenkammspongiosa als weitere abhängige Variable festgelegt.

Für die Gruppe der einzeitigen Implantationen wurde eine weitere Analyse durchgeführt und die Perforationsrate in Abhängigkeit von der präoperativen Knochenhöhe untersucht. Da die Ergebnisse für die unterschiedlichen Untersuchungskriterien jeweils einer dichotomen Verteilung unterlagen, waren herkömmliche statistische Verfahren insuffizient. Die binär logistische Regressionsanalyse wurde vom statistischen Beratungsbüro der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf empfohlen. Die abgeschlossene statistische Auswertung wurde zur Überprüfung der Ergebnisse, gemäß der Empfehlung der Medical Research School Düsseldorf, abschließend der punkt05-Statistikberatung in Düsseldorf vorgelegt.

2.6 Deskriptive Analysen

Anhand der oben genannten Excel[®]-Tabelle wurde eine Unterteilung der Daten für zusätzliche deskriptive Analysen vorgenommen. Diese differenzieren die Gesamtmenge der Daten mittels stufenweiser, dichotomer Aufteilung in kleinere Untergruppen. Die Analyse des Einflusses von Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapien erfasste alle erhobenen Daten. Die Untersuchung der Augmentationsmaterialien erfasste hingegen ausschließlich Daten unbestrahlter Patienten.

Für alle untersuchten Gruppen wurden binär logistische Regressionsanalysen durchgeführt. Hierbei konnten jedoch keine statistisch auswertbaren Signifikanzen bestimmt werden, da die Stichprobengruppen die Grenze von $n \geq 25$ unterschritten.

Die erste deskriptive Analyse untersucht die Erfolgsraten der Sinusaugmentationen sowie der inserierten Implantate jeweils in Bezug auf:

- 1.) Perforationen der Schneiderschen Membran
- 2.) Tabakkonsum
- 3.) Strahlentherapien

Die Daten werden in entsprechender Reihenfolge stufenweise aufgeteilt. Im Rahmen der nachfolgenden Auflistungen im Ergebnisteil dieser Arbeit (siehe Kapitel 3) kommt es zwischenzeitlich zu Schwankungen der jeweiligen Gesamtsummen der Patientenzahlen. Da die Unterteilung der Fälle in perforierte und unperforierte Membranen nicht patientenabhängig ist und Patienten teils beidseitig operiert wurden, aber Perforationen gegebenenfalls nur einseitig auftraten, kann die Gesamtsumme der Patienten im Vergleich zu den Gesamtdaten abweichen. Dennoch ist die Summe der Sinuslifts sowie

der inserierten Implantate über alle Unterteilungsebenen gleich. Abbildung 10 stellt die Aufbereitung der Daten grafisch dar.

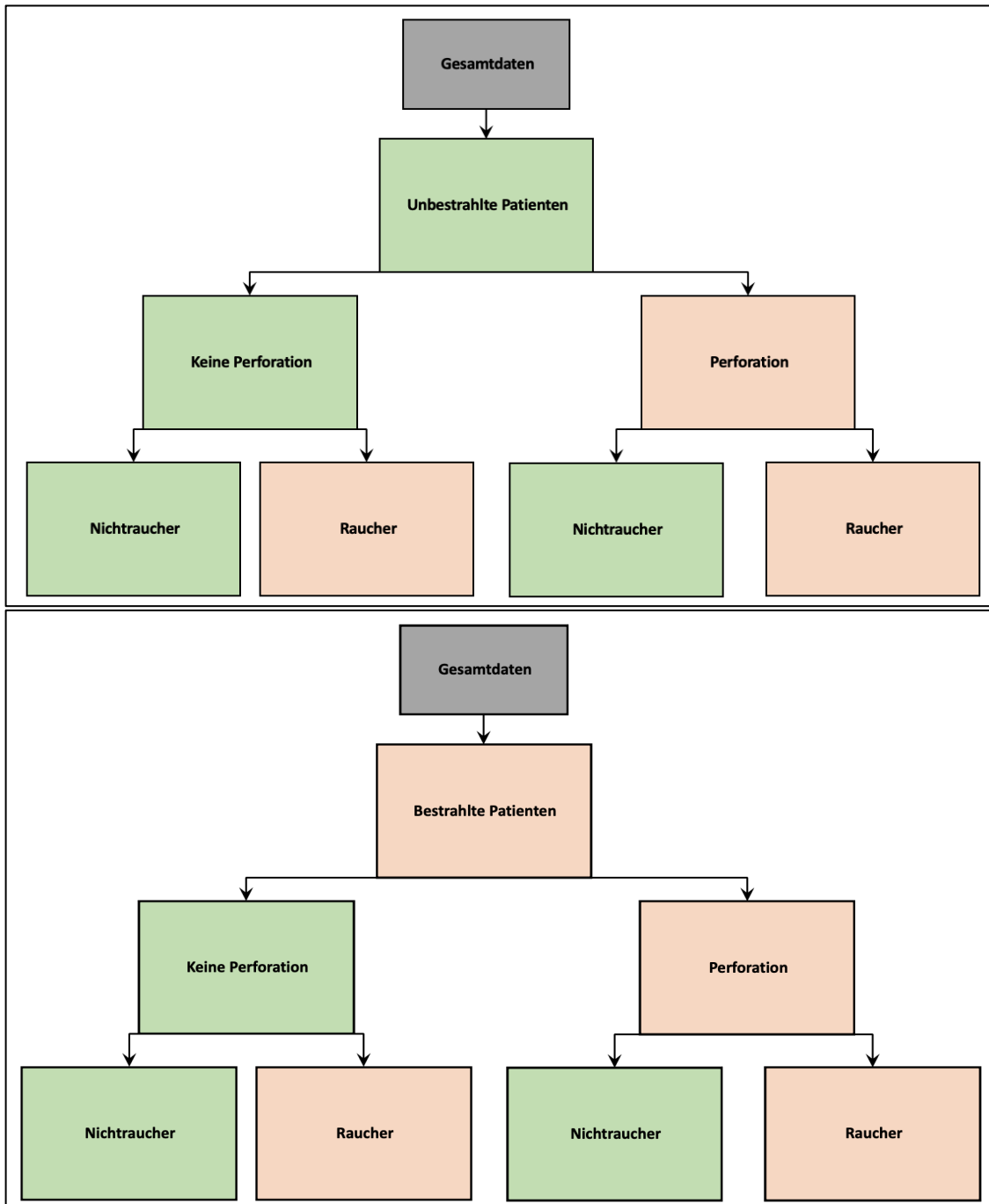


Abb. 10: Der Einfluss von Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapien: Die Gesamtdaten werden zunächst unterteilt in unbestrahlte (obere Grafik) und bestrahlte Patienten (untere Grafik). Danach erfolgt die Unterteilung jeweils von oben nach unten in unperforierte und perforierte Schneidersche Membranen sowie zuletzt in Nichtraucher und Raucher. Die Patientenzahlen und Ergebnisse sind im Ergebnisteil in analogen Abbildungen veranschaulicht.

In einer weiteren deskriptiven Analyse wurden die verwendeten Augmentationsmaterialien untersucht. Hierbei wurden ausschließlich unbestrahlte Patienten untersucht. Diese Fälle wurden zuerst unterteilt in unperforierte und perforierte Membranen. Anschließend erfolgte die Unterteilung in Augmentationen mit einem Gemisch aus

autologer Beckenkammpongiosa und xenogenem BioOss®-Granulat sowie Augmentationen mit vorwiegend xenogenem BioOss®-Granulat und lediglich geringen Anteilen intraoperativ gesammelter autologer Knochenspäne (nachfolgend als xenogenes Material bezeichnet). Zuletzt werden erneut Nichtraucher und Raucher gegenübergestellt. Die nachfolgende Abbildung 11 stellt die Aufbereitung der Daten grafisch dar.

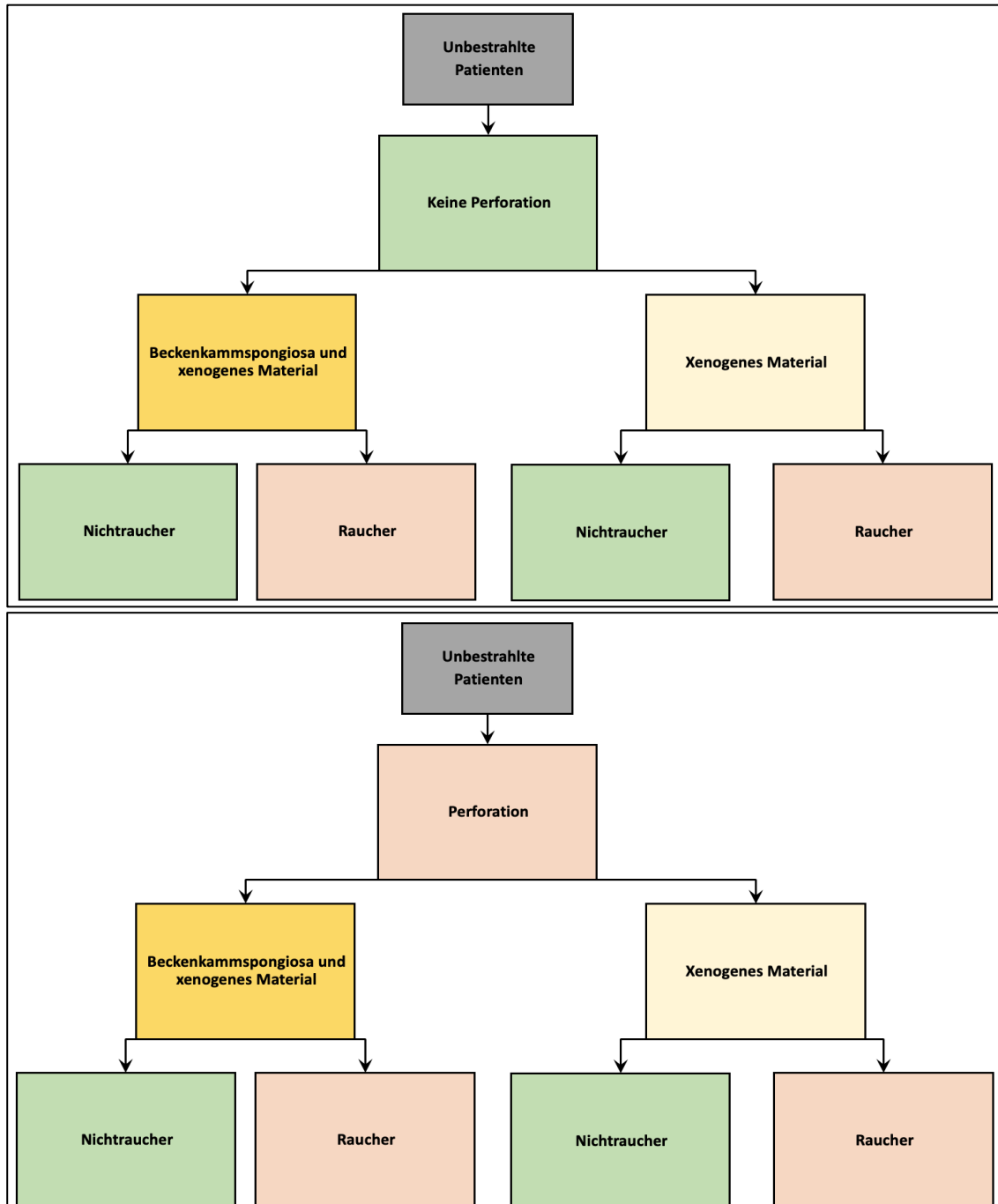


Abb. 11: Der Einfluss der verwendeten Augmentationsmaterialien: Für diese Auswertung wurden lediglich unbestrahlte Patienten herangezogen. Diese Datenmenge wurde zunächst unterteilt in Fälle mit unperforierter (obere Grafik) und perforierter (untere Grafik) Schneiderscher Membran. Danach erfolgt die Unterteilung in Augmentationen ohne und mit Beckenkammpongiosa. Zuletzt wurde erneut zwischen Nichtrauchern und Rauchern unterschieden.

3 Ergebnisse

3.1 Altersverteilung

Insgesamt 182 Patienten, bestehend aus 97 Frauen (53,3 %) und 85 Männern (46,7 %), mit 298 durchgeführten externen Sinusliftoperationen (ein- und beidseitig) erfüllten die Einschlusskriterien. Das Patientenalter reichte von 20 bis 88 Jahren bei einem Durchschnittsalter von 58,4 Jahren (Median 61,0 Jahre).

Die Altersverteilung ist in der nachfolgenden Abbildung 12 grafisch dargestellt.

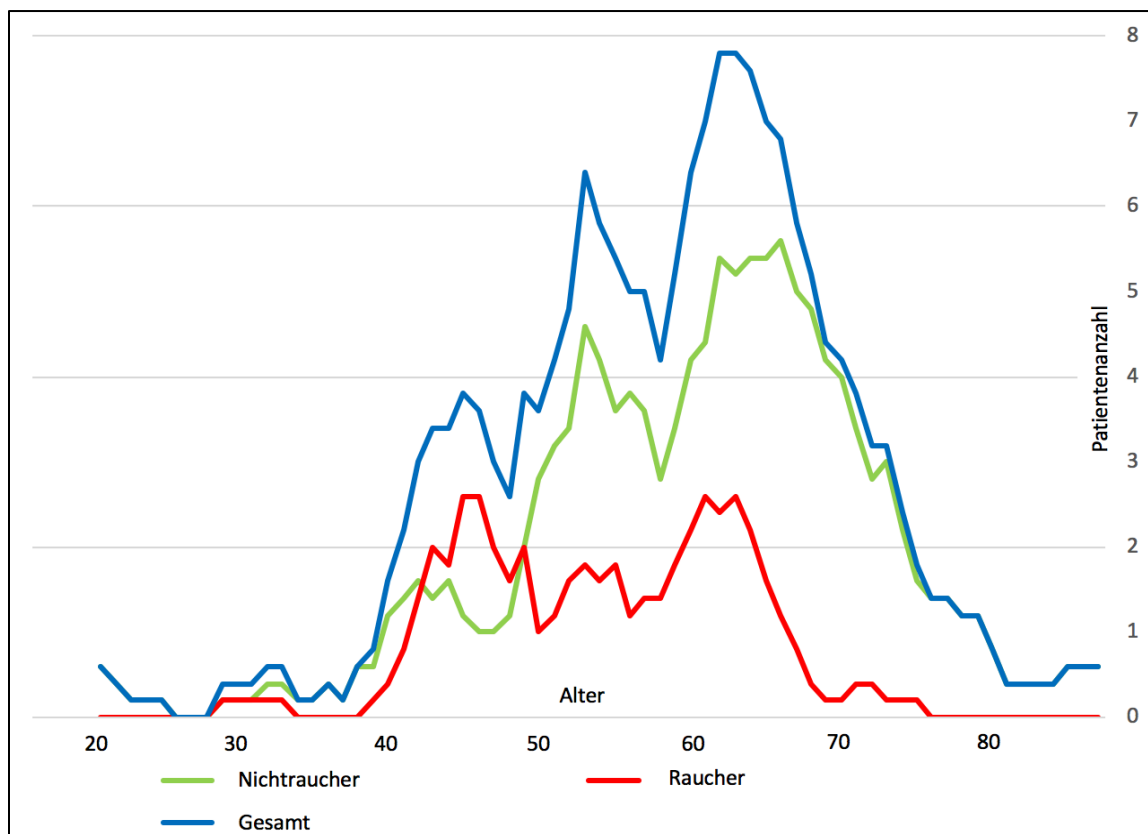


Abb. 12: Die Altersverteilung der Patienten, die mittels Sinuslift und Implantation versorgt wurden, ist hier grafisch dargestellt. Das Maximum zeigt sich zwischen dem 50. und 70. Lebensjahr. Der jüngste Patient war zum Operationszeitpunkt 20, der älteste 88 Jahre alt. Zur grafischen Darstellung wurde eine Trendlinie erstellt. Ebenso sind Raucher und Nichtraucher einander gegenübergestellt.

Zur Untersuchung des Einflusses von Tabakkonsum wurde die oben gezeigte Altersverteilung nochmals getrennt für Raucher und Nichtraucher aufgeführt, da sich hierbei eine deutliche Unterscheidung in der Altersverteilung zeigte. Für die Bewertung sind die Altersintervalle, bei denen die jeweiligen Peaks der Kurven erreicht wurden, entscheidend. Diese traten bei Rauchern etwa fünf Jahre früher auf.

3.2 Einfluss von intraoperativen Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapien auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg

Die erste Analyse befasst sich primär mit dem Einfluss von Perforationen der Schneiderschen Membran auf die Erfolgsraten der Sinuslifte sowie der inserierten Implantate. Neben der Perforation der Schneiderschen Membran wurden die Risikofaktoren Tabakkonsum und Strahlentherapie untersucht. In diese Auswertung sind alle 182 Patienten und 298 externen Sinuslifte einbezogen.

Die Analyse der Erfolgsraten für die externen Sinuslifte zeigte, dass sich die drei Risikofaktoren Perforation ($p < 0,001$), Tabakkonsum ($p = 0,035$) und Strahlentherapie ($p = 0,010$) signifikant negativ auf das Eintreten eines Erfolgs auswirken. Somit stellen alle drei untersuchten Variablen signifikante Risikofaktoren für die Erfolgsrate der externen Sinusliftoperationen dar und führen zu einem erhöhten Auftreten von Misserfolgen. Das Gesamtmodell der Analyse war signifikant ($p < 0,001$) bei akzeptabler Varianzgüte (Nagelkerkes R-Quadrat = 0,26) gemäß der Interpretation nach Backhaus et al. (2006) [64].

Ähnliche Ergebnisse zeigte die statistische Auswertung für die Erfolgsrate der Implantate. Auch hier hatten die drei Risikofaktoren Perforation ($p = 0,001$), Tabakkonsum ($p = 0,001$) und Strahlentherapie ($p = 0,001$) einen signifikant negativen Einfluss auf die Erfolgsrate der inserierten Implantate. Das Untersuchungsmodell zeigte sich insgesamt signifikant ($p < 0,001$) mit akzeptabler Varianzgüte (Nagelkerkes R-Quadrat = 0,23) [64].

Die zusätzliche deskriptive Analyse soll dazu dienen die Einflüsse der einzelnen Risikofaktoren besser zu veranschaulichen. Eine detaillierte tabellarische Auflistung der Daten ist in den Abbildungen 14 und 15 am Ende dieses Kapitels, analog zu Abbildung 10 (siehe Kapitel 2.6), ersichtlich. Die Erfolgsraten der Implantate wurden zusätzlich für ein- und zweizeitige Implantatinsertionen aufgeführt.

Bei den 298 Sinusliftoperationen traten insgesamt 69 Perforationen auf, wodurch die Perforationsrate bei 23,2 % lag. Die Augmentation selbst war in 277 von 298 Fällen erfolgreich, was einer Erfolgsrate von 93,0 % entsprach. Von den 833 inserierten Implantaten gingen im Verlauf der postoperativen Nachsorge 59 verloren oder mussten aufgrund fehlender Einheilung explantiert werden, sodass sich eine Implantaterfolgsrate (einzeitig und zweizeitig) von 92,9 % ergab. Neben der Implantaterfolgsrate für ein- und

zweizeitige Implantationen zusammen, wird in der nachfolgenden deskriptiven Analyse jeweils auch die Implantaterfolgsrate für ein- und zweizeitige Implantationen getrennt angegeben (siehe Abbildungen 14, 15, 17 und 18). Die oben genannten Daten der kompletten Patientenkohorte gelten als Referenzwerte zur Bewertung der einzelnen Ergebnisse aller nachfolgenden Untersuchungsgruppen.

Zuerst erfolgt eine Unterteilung der Patientengruppe in unbestrahlte und bestrahlte Patienten. Insgesamt umfasste die Untersuchung 148 unbestrahlte Patienten. Bei diesen Patienten wurden 241 Sinuslifte durchgeführt und 666 Implantate inseriert. Demgegenüber stehen 34 bestrahlte Patienten. Die Gesamtzahl der Sinuslifte lag in dieser Gruppe bei 57, die der inserierten Implantate lag bei 167.

Insgesamt zeigten sich auf Seiten der unbestrahlten Patienten deutlich höhere Erfolgsraten. Während die Erfolgsrate der externen Sinusliftoperationen für unbestrahlte Patienten bei 94,2 % lag, so lag diese bei bestrahlten Patienten bei 87,7 %. Für die unbestrahlten Patienten ergab sich eine Implantaterfolgsrate von 95,2 %. Bei bestrahlten Patienten lag die Implantaterfolgsrate hingegen bei 83,3 %.

Weiter unterteilt wurden die vorgenannten Gruppen jeweils in Sinuslifte mit unperforierter und perforierter Membran. Es sei erneut darauf hingewiesen, dass hier die Gesamtzahl der Patienten verglichen mit der Gesamtkohorte inkonstant ist. Dies liegt darin begründet, dass mit den Perforationen nicht patienten- sondern operationsabhängige Kriterien zur weiteren Unterteilung herangezogen wurden. Trat bei Patienten mit beidseitigem Sinuslift eine einseitige Perforation auf, so sind diese Patienten in beiden Gruppen zu finden und es ergibt sich im Vergleich eine erhöhte Gesamtzahl an Patienten. Die insgesamt 241 Sinuslifte bei unbestrahlten Patienten teilten sich auf in 182 ohne Perforation sowie 59 mit Perforation der Schneiderschen Membran. Auf Seiten der unperforierten Membranen wurden 514 Implantate inseriert, während bei perforierten Membranen 152 Implantate inseriert wurden. Der direkte Vergleich der Erfolgsraten zeigte bessere Ergebnisse bei unperforierten Membranen. Hier lag die Erfolgsrate der externen Sinusliftoperationen bei 95,6 % und die Implantaterfolgsrate bei 95,5 %. Bei perforierten Membranen lag die Erfolgsrate der Sinusliftoperationen bei 89,8 %, während die Implantaterfolgsrate bei 94,1 % lag.

In Abbildung 13 sind die Ergebnisse unbestrahlter Patienten veranschaulicht.

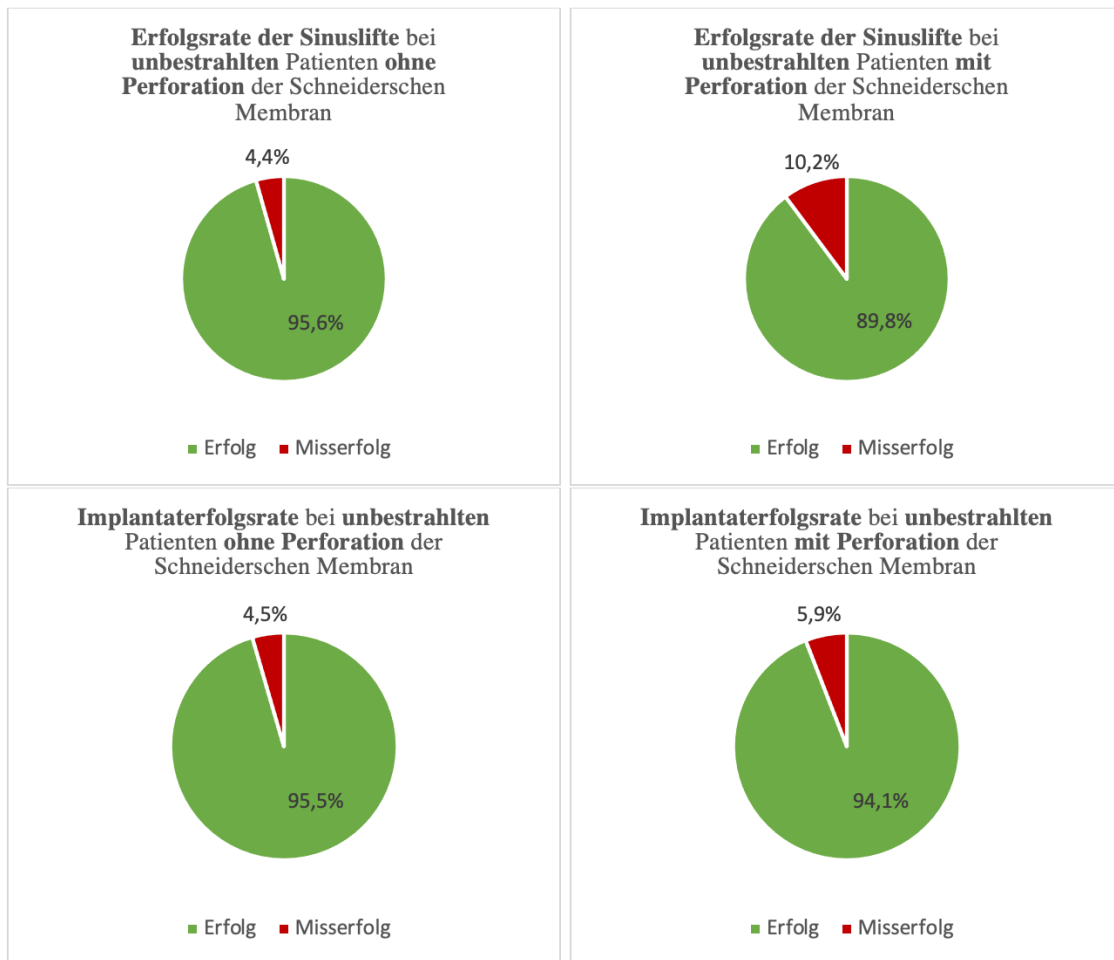


Abb. 13: Erfolgsraten für unperforierte und perforierte Membranen im Vergleich: Die obere Zeile zeigt die Erfolgsraten der Sinusliftoperationen links ohne und rechts mit Perforation. In der zweiten Zeile sind dementsprechend die Erfolgsraten der Implantate aufgezeigt. Die Ergebnisse sind hier veranschaulicht für Patienten ohne Strahlentherapien. Insgesamt zeigt sich, dass bei Auftreten von Perforationen der Schneiderschen Membran, erhöhte Misserfolge für die Sinusliftoperationen und inserierten Implantate zu verzeichnen sind.

Bei den bestrahlten Patienten wurden 57 Sinusliftoperationen durchgeführt und 167 Implantate inseriert. Auch hier zeigte sich, dass durch die Perforation der Schneiderschen Membran bei bestrahlten Patienten die Erfolgsraten für Sinusliftoperationen und inserierte Implantate vermindert waren: Die 47 Sinuslifte bei bestrahlten Patienten mit unperforierten Membranen zeigten eine Erfolgsrate von 89,4 %. Die Erfolgsrate der 126 Implantate in der entsprechenden Gruppe lag bei 92,9 %. Bei perforierten Membranen lag die Erfolgsrate der 10 Sinuslifte bei 80,0 % und die Implantaterfolgsrate der 41 inserierten Implantate bei 56,1 %.

Nach der Unterteilung in unbestrahlte und bestrahlte Patienten sowie unperforierte und perforierte Schneidersche Membranen erfolgt die weitere Unterteilung in Nichtraucher und Raucher. Da die Stichprobengrößen hier insgesamt sehr klein wurden, zeigten sich für die perforierten Membranen bei bestrahlten Patienten keine statistisch auswertbaren

Ergebnisse (Anzahl der Sinuslifte $n \leq 10$). Diese Ergebnisse werden im Folgenden nicht detailliert erläutert und wurden aus der Datenerhebung ausgeschlossen. Unter Ausschluss dieser Daten zeigten die Sinuslifte ohne Perforationen bei unbestrahlten Nichtrauchern, die höchste Erfolgsrate von 95,7 %. Ebenso zeigte diese Patientengruppe die höchste Implantaterfolgsrate von 97,2 %. Im Gegensatz dazu zeigten Sinuslifte ohne Perforation bei unbestrahlten Rauchern bereits merkbar schlechtere Ergebnisse für den Augmentations- und Implantaterfolg: Die externen Sinuslifte waren hier in 95,2 %, die Implantationen in 90,5 % erfolgreich.

Die niedrigste Erfolgsrate zeigten bestrahlte Raucher mit unperforierten Membranen. Die Erfolgsrate der Sinuslifte lag hier bei 80,0 %. Die Implantaterfolgsrate betrug 90,5 %. Hier ist zu berücksichtigen, dass die perforierten Membranen dieser Gruppe aus der Auswertung ausgeschlossen wurden. Dennoch zeigte sich im direkten Vergleich der unperforierten und perforierten Membranen bei bestrahlten Patienten eine deutliche Verschlechterung der Ergebnisse bei Auftreten von Perforationen.

Die Nichtraucher unter den bestrahlten Patienten ohne Perforationen zeigten im Vergleich zu den Rauchern deutlich bessere Ergebnisse: Hier lag die Erfolgsrate der externen Sinuslifte bei 93,8 % und die Implantaterfolgsrate bei 94,0 %.

Zuletzt seien die Ergebnisse für unbestrahlte Patienten mit Perforation der Schneiderschen Membran genannt: Auch hier zeigten sich insgesamt bessere Ergebnisse für Nichtraucher. Die Erfolgsrate der Sinuslifte lag für Nichtraucher bei 91,2 %. Bei Rauchern lag sie demgegenüber bei 88,0 %. Gegenteilig verhielt es sich mit der Implantaterfolgsrate, welche mit 95,3 % bei Rauchern geringfügig höher war. Hier zeigten Nichtraucher erstaunlicherweise eine niedrigere Implantaterfolgsrate von 93,2 %. Ein entscheidender Unterschied zeigte sich in den insgesamt 18 Sinusliften mit Perforation der Schneiderschen Membran bei denen Fibrinkleber zur Fixierung der Kollagenmembran genutzt wurde. In dieser Gruppe kam es lediglich in einem Falle zum Misserfolg des Sinuslifts, sodass die Erfolgsrate in dieser Gruppe bei 94,4% lag. Gleichzeitig gingen 2 der 38 inserierten Implantate verloren, sodass die Implantaterfolgsrate bei 94,7 % lag. Aufgrund der Gruppengröße von $n < 25$ sind diese Ergebnisse allerdings nicht mittels Regressionsanalyse statistisch auswertbar.

Die nachfolgenden Abbildungen 14 und 15 zeigen die Gesamtergebnisse. Die nicht statistisch auswertbaren Ergebnisse sind in der Abbildung grau schraffiert hinterlegt. Die Auflistung der Ergebnisse ist analog zur Darstellung in vorgenannter Abbildung 10.

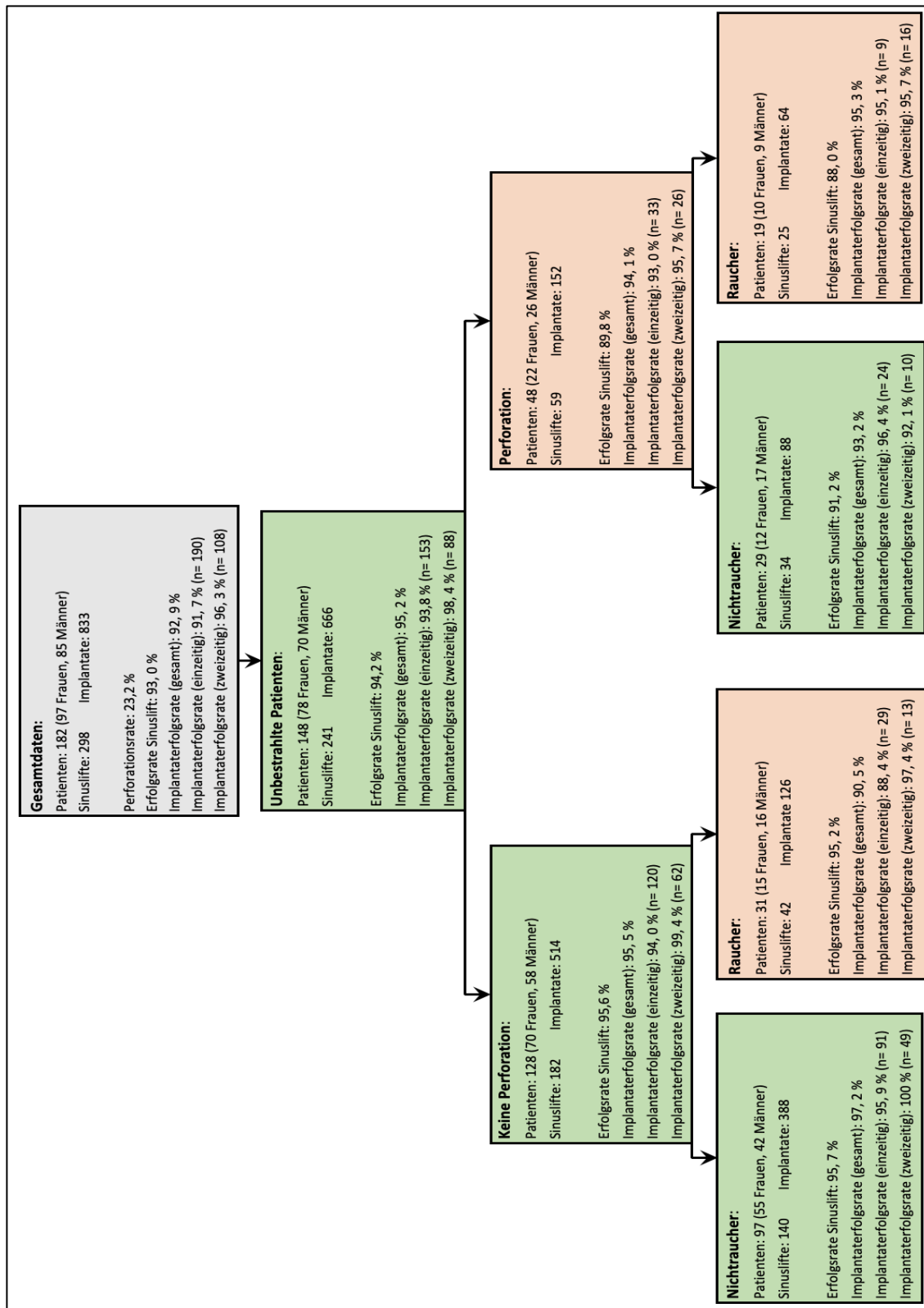


Abb. 14: Deskriptive Analyse des Einflusses von Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapien auf den Erfolg von externen Sinusliftoperationen – unbestrahlte Patienten: Die Grafik zeigt die Erfolgsraten der externen Sinuslifts sowie der inserierten Implantate. Die Implantaterfolgsrate ist darüber hinaus unterteilt in ein- und zweizeitige Implantationen. Die Anzahl (n) der Sinusliftoperationen, bei denen der jeweilige Insertionsmodus zum Einsatz kam, ist hinter den Erfolgsraten angegeben. Ferner sind die Patientenzahlen, Geschlechterverteilung, die Anzahl der erfolgten Sinusliftoperationen sowie die Anzahl der inserierten Implantate für jede Gruppe angegeben.



Abb. 15: Deskriptive Analyse des Einflusses von Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapien auf den Erfolg von externen Sinusliftoperationen – bestrahlte Patienten: Die Grafik zeigt die Ergebnisse der deskriptiven Analyse analog zu Abbildung 14. Die Gruppe der bestrahlten Patienten mit Perforation der Schneiderschen Membran und dessen nachfolgenden Untergruppen sind aufgrund der geringen Stichprobengröße von $n \leq 10$ schraffiert dargestellt und aus der Bewertung ausgeschlossen.

3.3 Einfluss von Augmentationsmaterialien auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg

Die zweite Analyse befasst sich mit dem Einfluss des Augmentationsmaterials auf die Prognose der externen Sinuslifte sowie der inserierten Implantate. In der Analyse des Augmentationsmaterials wurden nur unbestrahlte Patienten erfasst. Somit wurde in dieser Analyse eine kleinere Kohorte untersucht und der Einfluss der Bestrahlung ausgeschlossen.

Um den Einfluss der zusätzlichen Verwendung autologer Beckenkammpongiosa als Augmentationsmaterial statistisch zu untersuchen, wurde ebenfalls eine binär logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Als Untersuchungskriterien wurden die Erfolgsraten des externen Sinuslifts und der inserierten Implantate untersucht. Neben dem Einfluss des Augmentationsmaterials wurden auch hier die Risikofaktoren Perforation der Schneiderschen Membran und Tabakkonsum untersucht.

Für die Erfolgsraten der Sinuslifte zeigte sich ein signifikant positiver Einfluss durch die zusätzliche Verwendung autologer Beckenkammpongiosa als Augmentationsmaterial ($p = 0,003$). Wie auch in der vorherigen Auswertung, konnte für das Auftreten von Perforationen ($p = 0,001$) ein signifikant negativer Einfluss festgestellt werden. Aufgrund der kleineren Stichprobengruppen konnte für den Risikofaktor Tabakkonsum kein signifikanter Einfluss festgestellt werden ($p = 0,476$). Das Gesamtmodell zeigte sich trotz der kleineren Stichprobengruppe insgesamt signifikant ($p = 0,001$) mit akzeptabler Varianzgüte (Nagelkerkes R-Quadrat = 0,21) [64].

Die Analyse der Implantaterfolgsrate zeigte ebenfalls einen signifikant positiven Einfluss der zusätzlichen Verwendung autologer Beckenkammpongiosa ($p = 0,013$). Perforationen der Schneiderschen Membran ($p = 0,047$) und Tabakkonsum ($p = 0,009$) zeigten jeweils einen signifikant negativen Einfluss auf die Erfolgsrate der inserierten Implantate. Das Gesamtmodell zeigte sich als statistisch signifikant ($p < 0,001$) bei geringer Varianzgüte (Nagelkerkes R-Quadrat = 0,15) [64].

Analog zur vorigen Analyse wurde auch hier eine zusätzliche deskriptive Analyse mit detaillierteren Einzelgruppenuntersuchungen durchgeführt. Als Referenzergebnis sollen erneut die Erfolgsraten der Gesamtkohorte herangezogen werden. Die Erfolgsrate der Sinuslifte lag in der Gesamtkohorte bei 94,2 %, die Implantaterfolgsrate bei 95,2 %.

Insgesamt wurden zur Untersuchung der Augmentationsmaterialien 148 unbestrahlte Patienten mit 241 Sinusliftoperationen und 666 inserierten Implantaten erfasst.

Diese Sinuslifte wurden zunächst unterteilt in jene ohne und mit intraoperativer Perforation der Schneiderschen Membran. Auf Seiten der unperforierten Membranen wurden insgesamt 128 Patienten erfasst bei denen 182 Sinuslifte durchgeführt und 514 Implantate inseriert wurden. Die Erfolgsrate der Sinuslifte lag für die unbestrahlten Patienten ohne Perforationen der Schneiderschen Membran bei 95,6 %, die Implantaterfolgsrate bei 95,5 %. Auf Seiten der perforierten Membranen wurden 48 Patienten mit 59 Sinusliftoperationen und 152 inserierten Implantate erfasst. Hierbei ergab sich eine Erfolgsrate der externen Sinuslifte von 89,8 % und eine Implantaterfolgsrate von 94,1 %.

Nachfolgend werden die beiden Gruppen anhand der verwendeten Augmentationsmaterialien unterschieden. In der ersten Gruppe wurde eine Mixtur aus autologer Beckenkammpongiosa und xenogenem BioOss®-Granulat verwendet (nachfolgend auch als autolog/xenogenes Material bezeichnet). Die zweite Gruppe wurde vorwiegend mit xenogenem BioOss®-Granulat und lediglich geringen Anteilen an autologem Knochen aus der Knochenfalle (nachfolgend allgemein als xenogenes Material bezeichnet) augmentiert.

Bei den unperforierten Membranen zeigte die Verwendung einer Kombination autologen Knochens vom Beckenkamm mit xenogenem Material eine Erfolgsrate von 95,8 %. Die Implantaterfolgsrate lag bei 96,2 %. Diese Gruppe zeigte die höchsten Erfolgsraten für die externen Sinuslifte und die inserierten Implantate. Verglichen hierzu lagen die Erfolgsraten – bei Verwendung vorwiegend xenogenen Materials – bei 95,0 % für die 40 untersuchten externen Sinuslifte und 92,6 % für die 94 inserierten Implantate.

Abbildung 16 stellt die Erfolgsraten der externen Sinusliftoperationen und inserierten Implantate im Vergleich zwischen vorwiegend xenogenen und gemischt autologen und xenogenen Augmentationsmaterialien dar. Hierbei sind sowohl bestrahlte Patienten als auch Sinuslifte mit Perforation der Schneiderschen Membran ausgeschlossen. Damit wird eine Beeinflussung der Ergebnisse durch andere Risikofaktoren verhindert, um möglichst repräsentative Ergebnisse darzustellen. Auch hier wird der Begriff xenogen für BioOss®-Granulat mit geringen Mengen an autologem Knochen verwendet. Gemischt autologes und xenogenes Material beschreibt Beckenkammpongiosa in Kombination mit xenogenem BioOss®-Granulat.

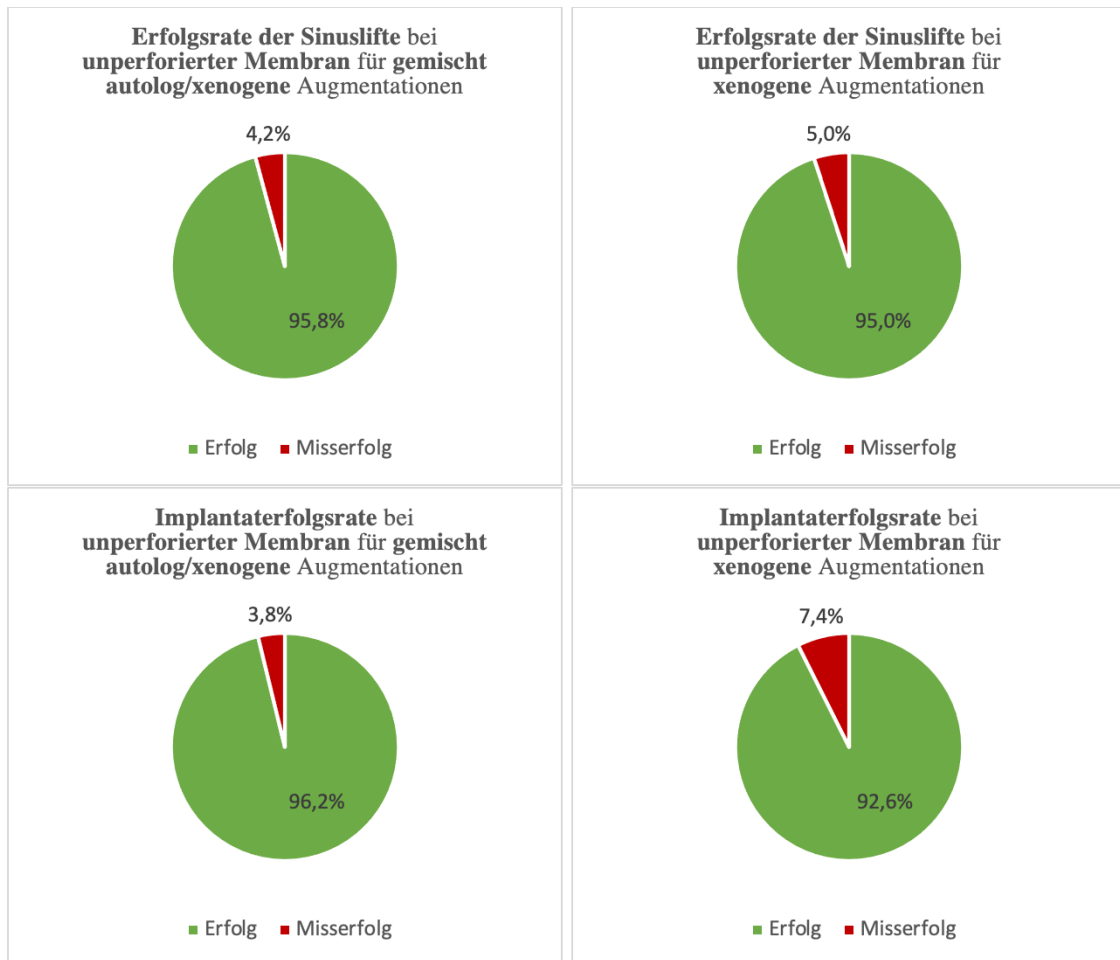


Abb. 16: Erfolgsraten der externen Sinuslifte und inserierten Implantate für gemischt autolog/xenogenes und vorwiegend xenogenes Augmentationsmaterial im Vergleich: Die obere Zeile zeigt die Erfolgsraten der Sinusliftoperationen; rechts mit autolog/xenogenem und links mit vorwiegend xenogenem Augmentationsmaterial. In der zweiten Zeile sind die Implantaterfolgsraten angezeigt. Hier wurden ausschließlich Ergebnisse für unperforierte Membranen angezeigt, um eine negative Beeinflussung der Ergebnisse zu vermeiden.

Bei den Sinusliften mit perforierten Membranen wurden 47 Sinuslifte mit einer Kombination aus autologer Beckenkammspongiosa und xenogenem BioOss®-Granulat durchgeführt. In dieser Gruppe wurden 129 Implantate inseriert. Die Erfolgsrate der Sinuslifte lag bei 89,4 %, die Implantaterfolgsrate bei 94,6 %.

Beim vorwiegend xenogenem Augmentationsmaterial lag die Erfolgsrate der Sinuslifte mit 91,7 % geringfügig höher als in der vorgenannten Vergleichsgruppe. Dadurch, dass diese Gruppe lediglich 12 Sinuslifte erfasst, sind diese Ergebnisse jedoch nur eingeschränkt repräsentativ. Deutlichere Unterschiede zeigten sich bei der Implantaterfolgsrate, die mit 91,3 % deutlich niedriger lag. Diese Gruppe umfasste insgesamt 23 inserierte Implantate.

Bei der weiteren Unterteilung in Nichtraucher und Raucher zeigten sich, ähnlich wie in der deskriptiven Analyse des Kapitels 3.2, aufgrund zu kleiner Stichprobengrößen

($n \leq 10$) nicht bewertbare Ergebnisse. Dies führte zu einem Ausschluss von insgesamt vier Gruppen. Die verbliebenden Gruppen sind im Folgenden der Vollständigkeit halber erläutert. Dennoch sollten zur Bewertung des Einflusses von Tabakkonsum auf den Augmentations- und Implantaterfolg in erster Linie die Ergebnisse der vorherigen Analyse (Kapitel 3.2) herangezogen werden, da sie eine größere Patientengruppe umfassen. In den Abbildungen 16 und 17 sind daher die Unterteilungen in Nichtraucher und Raucher komplett schraffiert dargestellt.

Zunächst werden Sinuslifte mit unperforierten Membranen, welche mit einer Kombination aus autologer Beckenkammpongiosa und xenogenem BioOss[®]-Granulat augmentiert wurden, betrachtet:

Die 110 Sinuslifte bei Nichtrauchern zeigten eine Erfolgsrate von 96,4 %. In dieser Gruppe wurden 317 Implantate inseriert. Die Implantaterfolgsrate lag bei 98,1 %. Damit zeigte diese Gruppe, verglichen zu den drei anderen verbliebenen Gruppen, die höchsten Erfolgsraten für die externen Sinusliftoperationen und inserierten Implantate.

Auf Seiten der Raucher wurden 32 Sinusliftoperationen ohne Perforation der Schneiderschen Membran durchgeführt. In dieser Gruppe wurden 103 Implantate inseriert. Die Erfolgsrate der Sinuslifte lag bei 93,8 %, die Implantaterfolgsrate bei 90,3 %.

Die letzten beiden Gruppen umfassten Sinuslifte mit perforierten Membranen, welche mit einer Kombination aus autologer Beckenkammpongiosa und xenogenem BioOss[®]-Granulat augmentiert wurden:

Für die 25 Sinuslifte bei Nichtrauchern, bei denen es zu einer Perforation der Schneiderschen Membran kam, lag die Erfolgsrate bei 92,0 %. Für die 129 inserierten Implantate ergab sich eine Implantaterfolgsrate von 94,6 %.

Dem gegenüber stehen 22 Sinuslifte mit Perforation der Schneiderschen Membran, die bei Rauchern durchgeführt wurden. In dieser Gruppe ergab sich eine Erfolgsrate von 86,4 %. Die Implantaterfolgsrate für die insgesamt 57 inserierten Implantate lag in dieser Gruppe bei 94,7 %.

Abbildungen 17 und 18 zeigen alle Ergebnisse der deskriptiven Analyse. Aufgrund der großen Menge an nicht statistisch auswertbaren Ergebnissen sind die Unterteilungsgruppen nach Tabakkonsum komplett schraffiert dargestellt. Die Auflistung der Ergebnisse ist analog zur Darstellung in vorgenannter Abbildung 11 (siehe Kapitel 2.6).

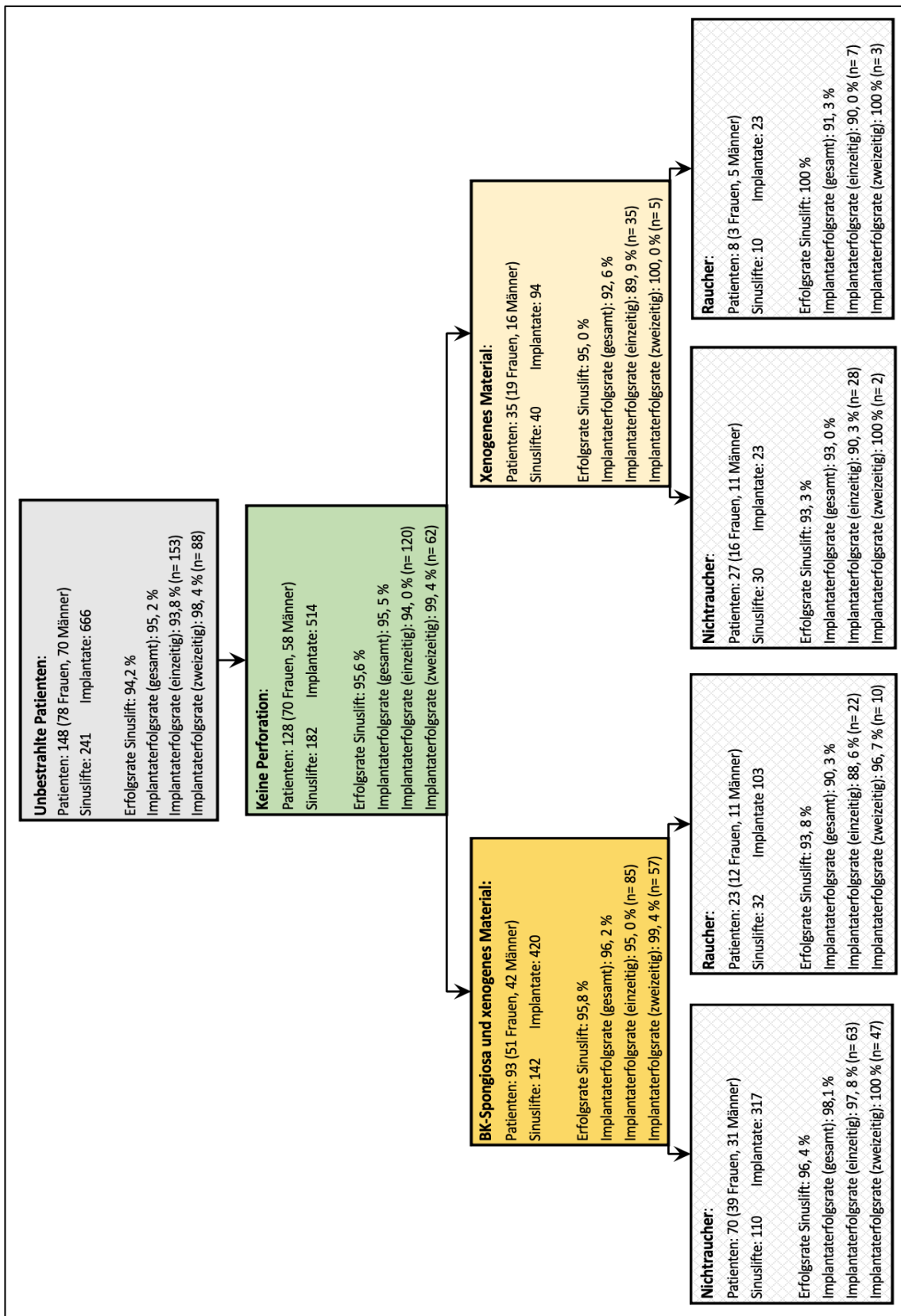


Abb. 17: Deskriptive Analyse des Einflusses der verwendeten Augmentationsmaterialien – unperforierte Membranen: Die Grafik zeigt die Erfolgsraten der Sinusliftoperationen und inserierten Implantate. Die Implantaterfolgsrate ist zudem für ein- und zweizeitige Implantationen getrennt angegeben. Die Anzahl der Sinusliftoperationen ist hinter den Erfolgsraten als Anzahl (n) angegeben. Die Unterteilung in Nichtraucher und Raucher ist grau hinterlegt, da sie aufgrund zu kleiner Gruppen nicht in die Auswertung und Diskussion einbezogen wurde.

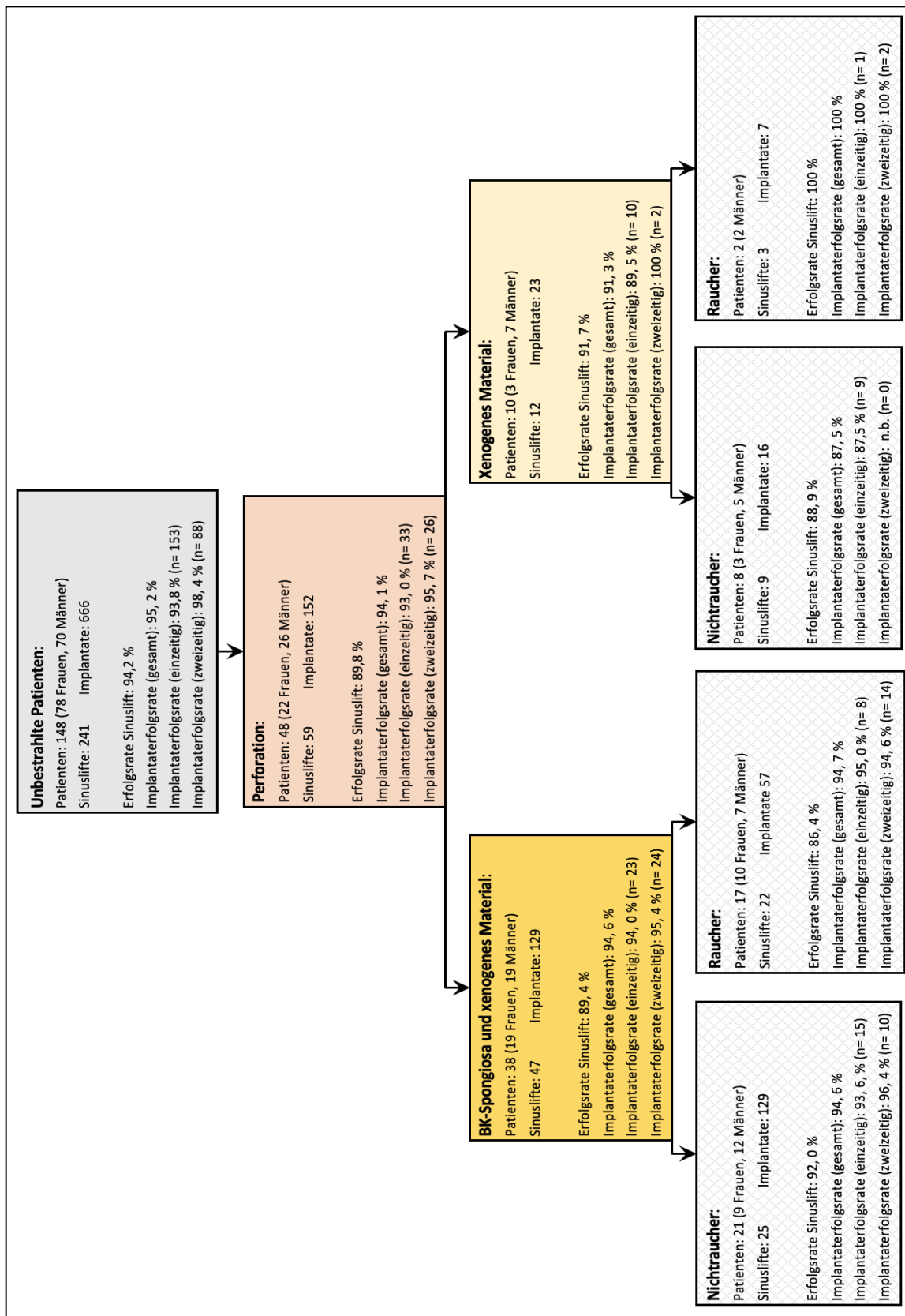


Abb. 18: Deskriptive Analyse des Einflusses der verwendeten Augmentationsmaterialien - perforierte Membranen: Die Grafik zeigt die Ergebnisse der deskriptiven Analyse analog zu Abbildung 17 für Sinuslifts bei unbestrahlten Patienten, jedoch mit Perforation der Schneiderschen Membran. Auch hier sind die Gruppen der Nichtraucher und Raucher grau schraffiert hinterlegt, da sie nicht zur Auswertung herangezogen werden.

3.4 Einfluss der präoperativen krestalen Knochenhöhe auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen, den Implantaterfolg und die Entstehung von Perforationen

Zusätzlich zu den vorigen Untersuchungen wurde der Einfluss der präoperativen krestalen Knochenhöhe untersucht. Anhand präoperativer Röntgenbilder (Orthopantomogramme) mit entsprechenden Referenzkörpern konnte die präoperative Knochenhöhe vermessen werden. Diese wurde an der Stelle der geringsten Knochenhöhe im zu augmentierenden Bereich gemessen und für jede Sinusliftoperation einzeln notiert. Diese Messungen wurden in Intervalle von jeweils einem Millimeter unterteilt. Da lediglich bei den 190 einzeitigen Implantationen alle Knochenhöhen zwischen null und zwölf Millimetern vertreten waren und nur hier eine suffiziente Untersuchung des Implantaterfolgs möglich war, wurden für diese Untersuchung nur die Fälle mit einzeitiger Implantation untersucht. Hierbei zeigte sich ein Einfluss der krestalen Knochenhöhen auf das Auftreten von Perforationen. Je geringer die Knochenhöhe im jeweiligen Fall war, desto eher kam es zur Perforation. Es wurde eine weitere logistische Regressionsanalyse zur Untersuchung der Zusammenhänge durchgeführt.

Abbildung 19 zeigt eine Häufung der Perforationszahlen, im Bereich geringer Knochenhöhen zwischen null und vier Millimetern. Die Augmentations- und Implantatverluste hingegen zeigten sich insgesamt eher konstant.

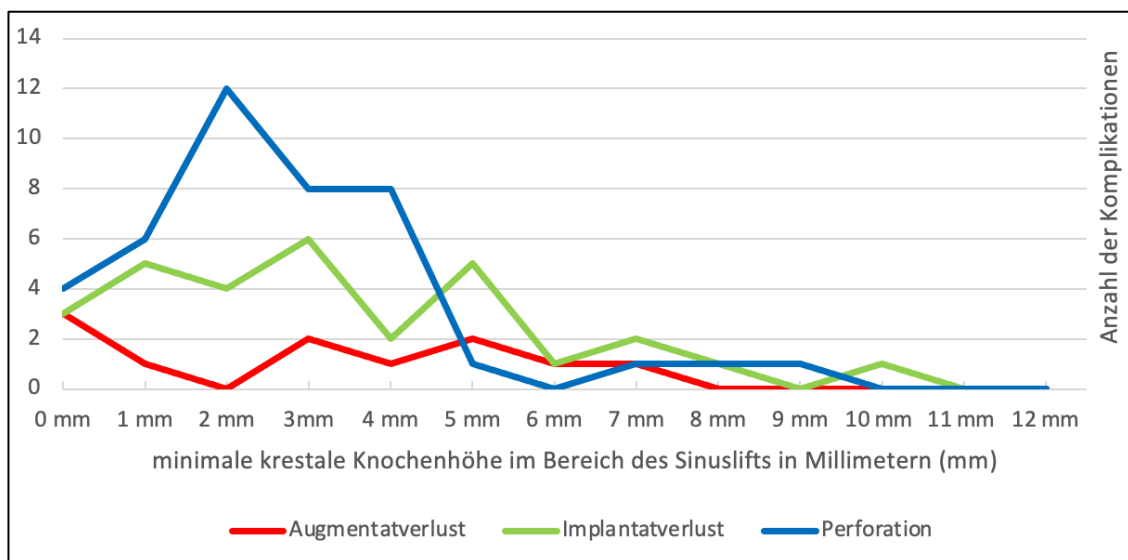


Abb. 19: Der Einfluss der präoperativen Knochenhöhe auf das Auftreten von Perforationen sowie mögliche Augmentations- und Implantatverluste. Für die Implantatverluste wurde hier eine dichotome Auswertung gewählt, um beim Verlust mehrerer Implantate keine Beeinflussung des statistischen Verlaufs zu verursachen. Da für zweizeitige Implantationen kaum Implantatverluste zu verzeichnen sind, wurden hier lediglich die Fälle mit einer einzeitigen Implantation dargestellt. Die Abszisse zeigt die minimale krestale Knochenhöhe in Schritten von einem Millimeter. Auf der Ordinate sind die Häufigkeiten der stattgehabten Komplikationen verzeichnet.

Die 190 in der Studie erfassten Sinusliftoperationen mit einzeitiger Implantation erfolgten in 112 Fällen bei Knochenhöhen kleiner oder gleich vier Millimeter. Folglich war in 78 Fällen die Knochenhöhe größer als vier Millimeter.

In der Gruppe der einzeitig inserierten Implantate wurde für präoperative Knochenhöhen von unter vier Millimetern eine Perforationsrate von 28,6 % bestimmt. Die Erfolgsrate der Sinusliftoperationen lag hier bei 93,8 %, die der inserierten Implantate bei 90,8 %. Für Knochenhöhen über vier Millimeter konnte eine Perforationsrate von 11,5 % bestimmt werden. Die Erfolgsraten der Sinuslifte mit 91,4 % und der Implantate mit 94,9 % waren vergleichbar zur vorigen Gruppe. Die logistische Regressionsanalyse der Perforationsrate zeigte, einen signifikanten Einfluss der präoperativen Knochenhöhe ($p = 0,012$) auf die Perforationsrate, die mit größerer Restknochenhöhe abnimmt. Das Gesamtmodell zeigte sich hierbei signifikant mit geringer Varianzgröße ($p = 0,007$; Nagelkerkes R-Quadrat = 0,058) nach Backhaus et al. (2006) [64].

3.5 Einfluss des Implantationszeitpunktes auf den Implantaterfolg

In den Abbildungen 14, 15, 17 und 18 sind die Implantaterfolgsraten jeweils getrennt für ein einzeitiges und zweizeitiges Vorgehen angegeben. Die 298 erfolgten Sinusliftoperationen verteilen sich auf 190 mit einzeitig und 108 mit zweizeitig erfolgter Implantation. In allen Einzelgruppen der Untersuchung, für die eine getrennte Auswertung möglich war, zeigte sich eine höhere Implantaterfolgsrate für die zweizeitig inserierten Implantate. Die einzige Ausnahme hiervon bildete die Gruppe der Sinuslifte bei bestrahlten Patienten mit Perforation der Schneiderschen Membran. Hier lag die Implantaterfolgsrate für die zweizeitigen Implantate deutlich niedriger. Diese Ergebnisse sind jedoch aufgrund der geringen Anzahl an Sinusliften ($n = 2$) nicht statistisch auszuwerten. In der Gesamtkohorte lag die einzeitige Implantation bei einer Erfolgsrate von 91,7 % gegenüber 96,3 % bei der zweizeitigen Implantation. Ebenfalls als repräsentativ anzusehen ist die Gruppe der Sinuslifte bei unbestrahlten Patienten ohne Auftreten einer Perforation. Sie umfasst 182 Sinuslifte und 514 Implantate. Die Erfolgsrate der einzeitig inserierten Implantate lag hier bei 94,0 %, die der zweizeitig inserierten Implantate bei 99,4 %. Schließt man hier den Tabakkonsum als zusätzlichen Risikofaktor aus, so zeigt sich eine Erfolgsrate von 100 % für die zweizeitig inserierten Implantate bei einer Gesamtzahl von 49 Sinusliften.

Auch in der Untersuchung der Augmentationsmaterialien setzt sich diese Entwicklung fort. Unabhängig davon, ob zusätzlich Beckenkammspongiosa als Augmentationsmaterial verwendet wurde, zeigt sich grundsätzlich eine höhere Implantaterfolgsrate für zweizeitig inserierte Implantate. Die insgesamt größte Gruppe fand sich auf Seiten der externen Sinuslifts an unbestrahlten Patienten, bei denen keine Perforation der Schneiderschen Membran auftrat und gemischt autologes und xenogenes Augmentationsmaterial verwendet wurde. Hier lag die Erfolgsrate der einzeitigen Implantation bei 95,0 % gegenüber 99,4 % beim zweizeitigen Vorgehen. Die Gruppe umfasste 142 Sinuslifts mit 420 inserierten Implantaten.

4 Diskussion

4.1 Einfluss von Perforationen der Schneiderschen Membran auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen einen signifikant negativen Einfluss von Perforationen der Schneiderschen Membran auf die Erfolgsraten der externen Sinuslifte und der inserierten Implantate. Dieser negative Einfluss besteht trotz standardmäßiger Verwendung von Kollagenmembranen zur Perforationsdeckung. Die externen Sinuslifte, bei denen es zu Perforationen der Schneiderschen Membran kam, wiesen somit eine signifikant schlechtere Implantaterfolgsrate und ein erhöhtes Auftreten von Komplikationen auf. Ferner ist die Perforation – als eine der zentralen Komplikationen des externen Sinuslifts – in der vorliegenden Studie mit 23,2 % eine durchaus häufige Komplikation. Diese Perforationshäufigkeit ist weitgehend deckungsgleich mit anderen Studienergebnissen der aktuellen Literatur, wie beispielsweise der Studie von Moreno Vazquez et al. (2014). Sie untersuchten gängige Komplikationen bei insgesamt 200 Sinusliftoperationen und stellten Verletzungen der Schneiderschen Membran in 25,7 % der Fälle fest [65]. Auch hier wurde die Perforation als häufigste Komplikation beschrieben, sodass weitere Untersuchungen zu den Auswirkungen dieser Perforationen und Therapieansätze zur Vermeidung von Misserfolgen bei Augmentationen und Implantationen an Bedeutung gewinnen. Um Strategien zur Vermeidung von Perforationen entwickeln zu können, ist es zunächst wichtig, Ursachen und Risikofaktoren zur Entstehung herauszustellen, welche bereits in den Kapiteln 1.5 und 1.6 angesprochen wurden. Die dort aufgeführten Einflussfaktoren (wie zum Beispiel Kieferhöhlensepten) resultieren in Abweichungen vom üblichen Verfahren zur Präparation beziehungsweise Einbringung des Augmentationsmaterials, wodurch es zu Komplikationen kommen kann [48]. Zahlreiche andere Faktoren wie die Gestaltung des Kieferhöhlenfensters scheinen keinen relevanten Einfluss auf die Ergebnisse zu haben [66], wie eine aktuelle Studie von Baldini et al. (2017) zeigte. Zur Prävention von intraoperativen Verfahrensänderungen und Früherkennung von kritischen anatomischen Strukturen gewinnt die DVT zunehmend an Bedeutung. Sie ist nicht nur zur Planung von Implantationen, sondern auch zur dreidimensionalen Darstellung anatomisch komplexer Strukturen von zentraler Bedeutung und zeigte in zahlreichen Untersuchungen positiven Nutzen in der Operationsplanung [47, 51, 55]. Ebenso kann die Notwendigkeit einer hals-

nasen-ohrenärztlichen Mitbeurteilung vor der Operation initiiert werden, wenn anatomische Besonderheiten in der DVT auffallen. So sollte beispielsweise eine Sinusitis maxillaris vor jeglicher chirurgischen Intervention austherapiert werden, da sie den Erfolg der Operation erheblich gefährdet. Auch Auffälligkeiten in der Dicke der Schneiderschen Membran können einen Hinweis auf erhöhte Perforationsrisiken darstellen [67, 68]. Somit sollte die DVT bei komplexen Augmentations- und Implantatplanungen durchaus Verwendung finden. Nicht zuletzt ist ein einheitliches operatives Vorgehen von entscheidender Bedeutung, auch wenn die aktuelle Literatur bislang kein einheitliches Standardverfahren etablieren konnte und diverse technische und operative Vorgehensweisen nebeneinander existieren.

Bislang gibt es keine eindeutigen und wissenschaftlich ausreichend untersuchten Verfahren zur Perforationsdeckung. Hierbei zeigt die vorliegende Arbeit, dass die alleinige Verwendung resorbierbarer Kollagenmembranen nicht ausreichend ist, um negative Einflüsse von Perforationen derart einzuschränken, dass Augmentations- oder Implantatverluste als Folge von Perforationen gänzlich verhindert werden können. Auch zwei aktuelle Studien von Scala und Favero et al. aus dem Jahr 2016 zeigen ähnliche Ergebnisse im Tiermodell [69, 70]. Dennoch zeigen sich insgesamt gute Ergebnisse, sodass es fraglich bleibt, ob überhaupt bessere Verfahren existieren, die den Einfluss von Perforationen gänzlich reduzieren. Insofern ist – gerade bei intraoperativ erkannten Perforationen der Schneiderschen Membran und nach Anwendung von angemessenen Verfahren zur Perforationsabdeckung – eine engmaschige Nachsorge erforderlich. Dies ermöglicht eine frühzeitige Intervention bei Komplikationen [71]. Andere Studien zeigten hierbei ähnliche Ergebnisse. Eine Untersuchung von Proussaeffs et al. (2004) untersuchte die Knochenneubildung nach Augmentation bei perforierten und unperforierten Schneiderschen Membranen und stellte höhere Knochenneubildungsraten bei unperforierten Membranen fest, woraus ebenso eine bessere Implantaterfolgsrate resultierte [72]. Darüber hinaus wurden zwei bedeutende Nachteile der Kollagenmembranen beleuchtet. Grundsätzlich kann eine Penetration der Kollagenmembranen durch Bakterien nicht verhindert werden, sobald die Integrität der Kieferhöhlenschleimhaut unterbrochen ist. Dies führt unter Umständen zur Infektion nach Knochenaugmentation. Des Weiteren kann der Chirurg unter der Membran – vor allem nach Einbringung des Augmentationsmaterials – nicht mehr kontrollieren, ob und inwieweit die erfolgte Methode zur Perforationsdeckung suffizient war und ob eine

Dislokation von Membran oder Augmentationsmaterial stattfand. Eine Dislokation des Augmentationsmaterials kann nur noch mit Hilfe eines postoperativen Röntgenbildes festgestellt werden oder bleibt bis zum Auftreten von Komplikationen gar unerkannt. Bereits an diesem Punkt lässt sich ein möglicher Ansatz zur Entwicklung von Strategien zur Prognoseverbesserung finden. Eine Möglichkeit ist die Verwendung von Fibrinkleber zur Fixierung der Kollagenmembranen.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die Kollagenmembranen bei 18 von 69 perforierten Schneiderschen Membranen zusätzlich mit Fibrinkleber fixiert. Die in dieser Gruppe festgestellte Erfolgsrate der Sinuslifts von 94,4 % wäre annähernd vergleichbar mit der Gruppe der unperforierten Membranen an unbestrahlten Patienten, in der die Erfolgsrate bei 95,6 % lag. Gleiches gilt für die Implantaterfolgsrate, die mit 94,7 % knapp unter den 95,5 % der Vergleichsgruppe lag. Diese deutlich bessere Prognose, im Vergleich zur regulären Perforationsdeckung mit Kollagenmembranen ohne zusätzliche Fixierung, ist insbesondere in Anbetracht der Tatsache interessant, dass gerade bei größeren Perforationen Fibrinkleber zur Fixierung verwendet wurde. Entgegen der Erwartung einer theoretischen Korrelation zwischen Perforationsgröße und Verlustrate scheint diese Methode eine Verbesserung der Prognosen herbeizuführen. Dennoch sind diese Ergebnisse aufgrund der geringen Fallzahlen und schlechten Vergleichbarkeit zu den Gesamtergebnissen insgesamt schwierig zu werten. Hier liegt jedoch ein genereller Ansatz bezüglich des Umgangs mit Perforationen. Auch wenn bislang wenige Untersuchungen dazu existieren, ist die Nutzung von Fibrinkleber als sinnvolles Verfahren anzusehen. Er ermöglicht eine Abdichtung der Perforationsstelle, indem er eine feste Verbindung zwischen Kieferhöhlenschleimhaut und Kollagenmembran herstellt. Auch die Anwendung von sogenanntem L-PRF (= *leukocyte-platelet rich fibrin*), gewonnen aus zentrifugiertem und aufbereitetem Eigenblut, stellt möglicherweise eine Methode im Falle von Perforationen dar [73]. Hier bietet sich ein Ansatz für weitergehende Forschungsarbeit und die Entwicklung weiterer Fixierungsmethoden für Kollagenmembranen.

4.2 Einfluss von Tabakkonsum auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg

In der vorliegenden Arbeit zeigt sich ein signifikant negativer Einfluss des Tabakkonsums die Erfolgsraten der Sinusliftoperationen und inserierten Implantate. Nichtraucher zeigen die höchsten Erfolgsraten der Knochenaugmentationen und Implantationen.

Allgemein ist der Einfluss von Tabakkonsum auf chirurgische Operationen in den letzten Jahrzehnten vielfach untersucht worden. Ebenso gibt es mehrere Untersuchungen, die sich mit dem Einfluss auf Sinusliftoperationen beschäftigen. Eine Untersuchung von Arx et al. aus dem Jahr 2014 zeigte eine Erhöhung der Perforationsrate der Schneiderschen Membran von 23,4 % auf 46,3 % durch den Konsum von Tabak [74]. Ein Review von Strietzel et al. aus dem Jahr 2007 fasste 139 Artikel aus den Jahren 1989 bis 2005 zusammen. Die Studie zeigte einen signifikanten Einfluss des Tabakkonsums auf die Prognose dentaler Implantate und beschrieb Tabakkonsum als signifikanten Risikofaktor [75].

Diese Einflüsse sind nicht nur maßgeblich für die eigentliche Operation relevant, sondern spielen auch in der Patientenaufklärung und prothetischen Planung sowie der postoperativen Nachsorge eine entscheidende Rolle. Dies bedeutet, dass Patienten vor einer Versorgung mit Implantaten detailliert über die Risiken und möglichen Komplikationen durch Tabakkonsum aufgeklärt werden müssen, da dieser insgesamt einen vermeidbaren Risikofaktor darstellt und somit eine Sonderstellung unter allen signifikanten Risiken einnimmt. Ferner sollte die postoperative Nachsorge in Intervallen geschehen, die ein frühzeitiges Erkennen von Wundinfektionen und Wundheilungsstörungen ermöglichen. Auch die Patienten in dieser Untersuchung wurden in ein engmaschiges Nachsorgeschema eingegliedert.

Es sollte nicht vernachlässigt werden, dass der eigentliche Einfluss des Tabakkonsums sicherlich mit der Höhe und Häufigkeit des Konsums korreliert. Eine genauere Untergliederung dieser quantitativen Einflüsse war im Rahmen der Datenerhebung nicht möglich. Zum einen zeigten sich insgesamt zu kleine Patientengruppen, um eine weitere Unterteilung durchzuführen, zum anderen war eine quantitative Bewertung des Tabakkonsums aus der vorliegenden Anamneseerhebung der Patienten nicht ausreichend möglich. Eine Untersuchung von Twito und Sade aus dem Jahr 2014 konnte diese quantitative Beeinflussung durch das Rauchen genauer beschreiben [76]. Sie konnten zeigen, dass der Anteil an Komplikationen mit der Höhe des Konsums, gemessen in *pack-*

years, direkt korreliert. Während die Verlustrate inserierter Implantate bei Nichtrauchern 3,5 % betrug, lag sie bei Rauchern zwischen einem und fünf *pack-years* bereits bei 4,3 % und bei Rauchern mit über zehn *pack-years* sogar bei 8,0 %. Des Weiteren beschrieben sie Passivrauchen als relevanten Risikofaktor, was somit ebenfalls für die Anamneseerhebung vor einer Implantatversorgung von Bedeutung ist. Anhand prospektiver Studien konnte bereits gezeigt werden, dass auch ein Pausieren des Nikotinkonsums deutliche positive Effekte auf die Osseointegration von Implantaten hat [77].

Abgesehen von den Erfolgsraten der Implantate zeigt die vorliegende Arbeit ebenfalls einen signifikant negativen Einfluss von Tabakkonsum auf die Erfolgsraten der Sinusliftoperationen. Nur wenige Studien beschäftigten sich in der Vergangenheit mit dem direkten Einfluss von Tabakkonsum auf die intraorale Wundheilung [78-80]. Messbar werden die Einflüsse des Tabakkonsums vor allem durch Veränderungen im Blutbild sowie eine Verschlechterung der mikrovaskulären Durchblutung und des Blutdrucks. Hierdurch wird die Wundheilung indirekt beeinflusst. Eine Untersuchung von Bain et al. (1992) konnte aufzeigen, dass bereits eine zweiwöchige vollständige Tabakkarenz das Blutbild deutlich verbessert [81]. Es zeigte sich ein signifikanter Abfall des Hämatokrits, sowie roter und weißer Blutzellen (ausgenommen Monozyten, eosinophiler und basophiler Granulozyten). Die verminderte Perfusion des Gewebes und die eingeschränkte Oxygenierung des Bluts führen zur Gewebshypoxie. Eine verminderte Prostazyklinproduktion in Folge des Tabakkonsums, verringert darüber hinaus das Aggregationspotential der Thrombozyten, wodurch die Bildung stabiler Blutkoagel zur primären Wundheilung und Regeneration von Operationswunden verschlechtert wird. Nicht zuletzt nehmen direkte thermische und chemische Einflüsse, die durch den Tabakrauch selbst entstehen, unmittelbaren Einfluss auf das Operationsgebiet. Eine Studie von Knobloch et al. (1992) konnte aufzeigen, dass bereits eine vierwöchige Nikotinkarenz nach plastischen Operationen einen signifikant positiven Einfluss auf die Wundheilung nimmt [82]. Dennoch bleibt, auch bei vollständiger Nikotinkarenz, ein mehrjähriger negativer Einfluss auf die Wundheilung bestehen [83-85].

Neben dem direkten Einfluss des Nikotinkonsums auf die Wundheilung, ist auch von einem erhöhten Risiko zur Entstehung von Periimplantitis auszugehen, was mit erhöhten Implantatverlusten vereinbar ist [86]. Dies wurde durch ein ausführliches Review von Heitz-Mayfield und Huynh-Ba aus dem Jahr 2009 bestätigt, welches Studien zwischen

1966 und 2008 zusammenfasste [87]. Sie zeigten auf, dass sowohl eine Raucheranamnese als auch das Vorhandensein parodontaler Erkrankungen die Risiken von periimplantären Knochenverlusten sowie Implantatverlusten erhöhen. Dieser Zusammenhang ist lange Zeit umstritten gewesen, da die Pathogenese von Periimplantitis und Parodontitis sich grundsätzlich unterscheiden. Dennoch weisen Patienten mit einer Parodontitanamnese häufig auch periimplantäre Entzündungen auf, wie aktuelle Studien belegen konnten [87-90]. Trotz unterschiedlicher Pathogenese liegt dies vor allem an gemeinsamen Risikofaktoren, zu denen ebenfalls das Rauchen sowie mangelnde Mundhygiene und erhöhte Plaqueakkumulation gehören. Da die Patienten in der vorliegenden Arbeit nicht parodontologisch behandelt wurden, konnte der Einfluss einer Parodontitis auf das Implantatüberleben in der Statistik nicht untersucht werden. Ebenso ist die Entwicklung einer Periimplantitis prognostisch relevant, wird jedoch erst nach längerer Nachsorge auffällig.

Bei Betrachtung des Durchschnittsalters der Nichtraucher und Raucher fällt auf, dass die Nichtraucher im Gesamtdurchschnitt zwischen 0,6 und 12,1 Jahren älter sind als die Raucher der jeweils entsprechenden Vergleichsgruppen. Dies zeigt, dass in der Gruppe der Raucher deutlich früher eine implantologische Versorgung begonnen wurde. Hierbei zeigen sich typische Ausschläge im Verlauf der Häufigkeitsverteilung, welche bei Rauchern jedoch etwas früher auftraten als bei Nichtrauchern. Somit werden Raucher früher implantologisch versorgt als Nichtraucher, woraus sich ein früher entstehender Bedarf an implantologischem Zahnersatz ableiten lässt. Die Assoziation zwischen Rauchen und Zahnverlusten ging ebenfalls aus der vorab genannten Untersuchung von Carson und Burns aus dem Jahr 2016 hervor [83]. Generell zählt Rauchen darüber hinaus zu den Risiken für einen Verlust an Alveolarknochen [91]. Meist zeigen Raucher präoperativ geringere Höhen an Alveolarknochen. Ebenfalls baut sich dieser bei Rauchern schneller ab [92]. Tabakkonsum steigert somit nicht nur das Parodontitis- sondern auch das Periimplantitisrisiko [93]. Der Risikofaktor Rauchen ist auch in der S3-Leitlinie „Die Behandlung periimplantärer Infektionen an Zahnimplantaten“ der AWMF unter Führung der „Deutschen Gesellschaft für Implantologie im Zahn-, Mund- und Kieferbereich“ (DGI) und „Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde“ (DGZMK) vom Mai 2016 aufgeführt (AWMF-Registernummer: 083-023) [94]. Diese ging maßgeblich aus einer Studie von Schwarz et al. aus dem Jahre 2015 hervor [95]. Die Ergebnisse zeigten vor allem, dass nicht nur eine Nikotinkarenz für die

Zeit der Wundheilung relevant ist. Auch eine langfristige Nikotinkarenz über die Wundheilung hinaus fördert das Implantatüberleben und den langfristigen Erfolg implantologischer Versorgungen. Ebenso verläuft die Wundheilung bei Rauchern langsamer [96]. Patienten, die implantologisch versorgt werden möchten, müssen hierüber gezielt aufgeklärt werden. Dies gilt, insbesondere wenn eine aufwändige Augmentation geplant ist [97]. Das Risiko eines Implantatverlusts ist, wenn auch nur geringfügig, bei Rauchern erhöht [98]. Dies fassten auch Kasat und Ladda in ihrer Untersuchung von 2012 auf [89] und betonten die Bedeutung ihrer Schlussfolgerungen für die Patientenaufklärung. Obwohl Rauchen nicht als Kontraindikation gilt, müssen Vorteile einer Nikotinkarenz dem Patienten gezielt erläutert werden. Hier ist auch der Zahnarzt, Oral- oder Kieferchirurg in der Verantwortung, dem Patienten Hilfestellungen zu geben, sofern der Wille zur Verhaltensumstellung gegeben ist. Nicht zuletzt obliegt es dem Behandler, zu entscheiden, ob eine Implantatversorgung aus seiner Sicht generell möglich und sinnvoll erscheint. Somit ist auch dieser Aspekt von zentraler Bedeutung für eine möglichst zielgerichtete implantologische Planung und Patientenaufklärung.

4.3 Einfluss von Strahlentherapien auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg

Eine Strahlentherapie im Vorfeld einer externen Sinusliftoperation sowie der Insertion von Implantaten hat einen signifikant negativen Einfluss auf die Erfolgsrate.

Insgesamt zeigt sich bei den Patienten, die keine vorausgegangene Strahlentherapie erhalten haben, eine um 6,5 % höhere Erfolgsrate für die Sinusliftoperationen und eine um 11,4 % höhere Implantaterfolgsrate. Unabhängig vom zusätzlichen Risikofaktor Rauchen zeigte sich dieser signifikante Unterschied für alle untersuchten Gruppen. Generell sind diese Ergebnisse, trotz der negativen Einflüsse dieser Therapien auf die Wundheilung [99], als durchaus positiv anzusehen, sodass sich keine generelle Kontraindikation für Sinusaugmentationen oder Implantationen im bestrahlten Kiefer ableiten lässt. Somit gelten Implantationen als sicheres und verlässliches Verfahren zur oralen Rehabilitation bestrahlter Patienten [100, 101]. Kritisch ist der Zeitraum zwischen Bestrahlungsende und Sinusliftoperation sowie Implantation. Häufig wird eine mindestens sechsmonatige Erholungsphase nach der Bestrahlung empfohlen. Die Komplexität der vorliegenden Patientendaten erlaubt keine weitere Trennung zwischen den negativen Effekten einer Strahlen- und Chemotherapie. Dies liegt insbesondere

daran, dass die überwiegende Anzahl der Patienten sowohl bestrahlt als auch adjuvant chemotherapiert wurde. Zudem besaßen die verschiedenen Gruppen keine ausreichende Stichprobengröße. Bis heute stellt die adjuvante Radiochemotherapie zusammen mit der operativen Therapie bei intraoralen Plattenepithelkarzinomen die häufigste Therapieform dar, während alleinige Chemotherapien bei resektablen Tumoren schlechtere Ergebnisse zeigen [102-104]. Moderne Immuntherapiekonzepte [105], wie die Anwendung von *Checkpoint*-Inhibitoren oder monoklonalen Antikörpern, welche die eigene Immunantwort auf Tumorzellen verstärken, könnten jedoch zukünftig eine bedeutende Rolle in der Behandlung oraler Malignome spielen [106].

Grundsätzlich besteht der Einfluss einer Strahlentherapie weit über die Therapiezeit hinaus und hat somit zeitlebens Einfluss auf die Wundheilung im Bestrahlungsfeld. In der Folge können Komplikationen wie Osteoradionekrosen und Xerostomien entstehen [107, 108]. Die implantologische Versorgung erfolgte in der vorliegenden Arbeit frühestens sechs Monate nach Abschluss der adjuvanten Strahlentherapie. Dies jedoch stets in Abwägung der klinischen Situation und dem Immunstatus. Die allgemeine Datenlage zu diesem Thema ist in der aktuellen Literatur nicht umfangreich, dennoch zeigen sich recht homogene Empfehlungen. Hierbei erscheint eine Karenzzeit von bis zu 24 Monaten vor Beginn der Implantation als sinnvoll [109-111]. Zum einen ermöglicht dieser Zeitraum eine Regeneration der betroffenen Gewebe, zum anderen ist auch das Risiko für ein Rezidiv der Tumorerkrankung nach 24 Monaten deutlich reduziert. Es gilt jedoch zu bedenken, dass dies im klinischen Alltag nicht immer umsetzbar ist, da eine mangelnde prothetische Versorgung oftmals eine große Belastung für die Patienten darstellt. Nicht zuletzt ist eine prothetische Rehabilitation als relevanter Teil der Wiederherstellungstherapie anzusehen, da die Schluck-, Sprech- und Kauvorgänge auf eine suffiziente prothetische Versorgung angewiesen sind [112]. Meist besteht – seitens der Patienten – schon recht unmittelbar nach Beendigung der Therapie das Bedürfnis adäquater prothetischer Versorgung, bei der eine Implantation oftmals unumgänglich ist. Die Wiederherstellung der Kaufunktion und nicht zuletzt auch der Ästhetik ist für die Patienten vor allem psychologisch von großer Bedeutung. Sie stellt einen wichtigen Bestandteil der Genesung und Rehabilitation nach einer abgeschlossenen Tumorthherapie dar. Hagio et al. (2018) beschrieben die prothetische Rehabilitation von Patienten mit malignen Tumoren des Kopf-Hals-Bereichs als zentralen Bestandteil zur Wiederherstellung der oralen Gesundheit und Lebensqualität [113]. Zusammenfassend

müssen jedoch weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um klare Empfehlungen definieren zu können. Somit bleibt die Entscheidung zur prothetischen Rehabilitation stets eine Einzelfallentscheidung, in die auch die Strahlentherapie als Risikofaktor einbezogen werden muss, ohne dass diese eine Kontraindikation darstellt.

4.4 Einfluss des Augmentationsmaterials auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen und den Implantaterfolg

Neben den Einflüssen von Perforationen wurden die Vorteile der Verwendung autologer Beckenkammpongiosa in Kombination mit xenogenem Knochenersatzmaterial untersucht. Hierbei wurden alle Patienten ausgeschlossen, die im Vorfeld eine Strahlentherapie erhielten, um möglichst homogene Untersuchungsgruppen zu erhalten. Die Unterscheidung der Ergebnisse umfasste hierbei Augmentationen mit einer Kombination aus intraoperativ entnommener Beckenkammpongiosa und BioOss®-Granulat gegenüber der primären Verwendung von xenogenem BioOss®-Granulat und lediglich geringen Anteilen an autologen Knochenespänen. Spanaugmentationen mit kortikalem Knochen sowie kombiniert kortikospongiose Augmentationen wurden aus der Untersuchung generell ausgeschlossen. Die aktuelle Literatur beschreibt schlechtere Ergebnisse der Blockaugmentate bei Sinusaugmentationen [40], obwohl hierzu die Datenlage gegenwärtig eher gering ist. Dies wurde auch in der aktuellen S2k-Leitlinie „Implantologische Indikationen für die Anwendung von Knochenersatzmaterialien“ der AWMF unter Führung der Deutschen Gesellschaft für Implantologie im Zahn-, Mund-, und Kieferbereich (DGI) aus dem Jahr 2020 formuliert (AWMF- Registernummer 083-009) [114]. Hier wird für externe Sinuslifte eine Überlegenheit partikulärer autologer Transplantate gegenüber Blocktransplantaten beschrieben. In einzelnen Studien lassen sich Veränderungen in der Knochenformation mittels computertomographischer Untersuchungen nachweisen, welche jedoch nicht statistisch signifikant sind [115]. Ebenso werden, trotz der Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Implantologie (DGI), Blockaugmentationen als verlässliche Methode beschrieben und in Studien suffiziente Erfolgsraten von über 90,0 % aufgezeigt [116].

Die vorliegende Arbeit untersuchte Unterschiede der Augmentationsmaterialien hinsichtlich der Verwendung von xenogenem Knochenersatzmaterial mit geringen Anteilen autologen Kochens aus der Knochenfalle sowie der Kombination von xenogenem Knochenersatzmaterial und autologer Beckenkammpongiosa. Ein

ausführliches Review von Aludden et al. aus dem Jahr 2017 zeigte, dass beide Methoden durchaus in der Lage sind, suffizient Knochen aufzubauen [117]. In diesem Review ging es explizit um BioOss®-Granulat als alleiniges Augmentationsmaterial sowie eine Kombination mit autologem, spongiösem Material. Hieran kann die im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgte Untersuchung ergänzend anschließen. Während die primäre Verwendung xenogener Knochenersatzmaterialien kleineren Sinusaugmentationen vorbehalten war, wurde BioOss®-Granulat in Kombination mit autologer Beckenkammspongiosa bei den größeren, ausgedehnten Sinusaugmentationen eingesetzt. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen eine geringfügige Verbesserung der Erfolgsraten für Augmentationen und die inserierten Implantate bei zusätzlicher Verwendung autologer Beckenkammspongiosa. Biologisch liegen die Vorteile autologen Knochens gegenüber xenogenem Material in der zusätzlichen osteogenetischen Potenz des Materials. Demgegenüber kann xenogenes Material lediglich als Leitstruktur oder Platzhalter dienen, in den Knochen aus den Randbereichen hineinwachsen kann. Autologer Knochen enthält aktiv knochenbildende Zellen wie Osteoblasten, aber auch Wachstumsfaktoren wie *bone morphogenetic proteins* (BMP) und verschiedene Wachstumsfaktoren (GF = *growth factors*), welche die Ossifikation im augmentierten Bereich verbessern. Somit ist autologer Knochen aus biologischer Sicht als erste Wahl zur Augmentation anzusehen und in jedem Falle eine sichere und verlässliche Option zur Knochenaugmentation [118]. Auch im weiteren Therapieverlauf zeigten Studien eine geringere Resorption periimplantären Knochens nach autologer Augmentation [119], wodurch dieses Verfahren auch langfristig als verlässlich gilt.

Dennoch gibt es zahlreiche Gründe für die primäre Verwendung xenogenen Knochens. Xenogene Materialien sind sicherlich die am weitesten verbreiteten Augmentationsmaterialien. Dies liegt an der einfachen Anwendung, Verfügbarkeit in verschiedenen Formen und den relativ geringen Kosten der Materialien. Ferner erspart es dem Patienten zusätzliche chirurgische Eingriffe und ermöglicht auch eine Augmentation in Lokalanästhesie.

Zahlreiche Untersuchungen haben die biologischen Vorteile xenogenen Knochenersatzmaterials belegt. Sie basieren maßgeblich auf einer Hydroxylapatitmatrix, welche aus deproteiniertem tierischem Knochen, Korallen oder Meeresalgen gewonnen wird. Das in dieser Arbeit verwendete BioOss®-Granulat der Firma Geistlich Biomaterials (Wolhusen; Schweiz) war laut Untersuchungen der iData Research

Incorporation (Burnaby; Kanada) aus dem Jahr 2015 sowohl in den Vereinigten Staaten von Amerika als auch in Europa eines der am häufigsten verwendeten Knochenersatzmaterialien. Neben der Ersparnis zusätzlicher chirurgischer Interventionen und der Vermeidung von Entnahmemorbiditäten, gibt es auch Vorteile im biologischen Verhalten des Knochenersatzmaterials. Untersuchungen und klinische Beobachtungen zeigten die hohe Stabilität von BioOss® gegenüber Resorptionen [120], was im Vergleich zu autologem Knochen als Vorteil gesehen werden kann.

Die aktuelle Studienlage zeigt, dass bei kleineren Knochendefiziten und ersatzstarkem Transplantatlager nur geringe Unterschiede zwischen autologen und xenogenen Augmentationsmaterialien bestehen [121-125].

Wie in der vorab genannten Studie von Wilkert-Walter et al. (2002) empfohlen, ist aus einer Kombination von Materialien mit verschiedenen Eigenschaften der maximale Vorteilsgewinn zu erwarten [118]. Eine Mischung des resorptionsstabilen xenogenen Materials mit osteogenetisch aktivem Eigenknochen ermöglicht ein gutes Einwachsen neuen Knochens bei maximalem Erhalt des eingebrachten Volumens. Dies erklärt die statistisch feststellbaren Vorteile des kombinierten Augmentationsmaterials in der vorliegenden Untersuchung. Auch andere Studien, in denen kombinierte Materialien verwendet wurden, zeigten hohe Erfolgsraten [126] und eine verbesserte Knochenbildung [127].

Zusammenfassend bestehen Vorteile eines kombinierten Augmentationsmaterials, auch wenn sich dies in der vorliegenden Untersuchung aufgrund der ungleichen Stichprobengröße und der geringen Fallzahl nicht als Empfehlung ableiten lässt. Nicht zuletzt muss der zusätzliche chirurgische Aufwand gegen diese Vorteile abgewogen werden. Dennoch gilt zu berücksichtigen, dass die primäre Verwendung von BioOss®-Granulat ohne zusätzlich entnommenen autologen Knochen in dieser Untersuchung vornehmlich bei kleineren Augmentationen und unbestrahlten Patienten zum Einsatz kam. Sofern größere Mengen an Augmentationsmaterial benötigt wurden und keine Kontraindikationen für einen zusätzlichen Eingriff bestanden, wurde meist zusätzlich Beckenkammpongiosa entnommen. Diese größeren und aufwändigeren Augmentationen sind letztlich deutlich anfälliger für Komplikationen.

4.5 Einfluss der präoperativen krestalen Knochenhöhen auf den Erfolg externer Sinusliftoperationen, den Implantaterfolg und die Häufigkeit von Perforationen

Die Ergebnisse aus Kapitel 3.4 zeigen, dass insbesondere bei geringen präoperativen Knochenhöhen unter vier Millimetern, das Perforationsrisiko deutlich erhöht ist. Geringere Effekte zeigen sich bei den Erfolgsraten der Sinuslifte und inserierten Implantate. Hier zeigt sich mit zunehmender präoperativer Knochenhöhe eine Abnahme der Misserfolge. Diese Effekte bestehen bei den Implantaterfolgen auch unabhängig vom Insertionszeitpunkt in ähnlicher Form, wurden aber nur für einzeitige Implantationen explizit untersucht. Generell lässt sich hieraus schließen, dass mit zunehmendem Bedarf an Augmentationsvolumen das Perforationsrisiko zunimmt. Aus Abbildung 19 in Kapitel 3.4 geht hervor, dass bei geringen präoperativen Knochenhöhen eine erhöhte Anzahl an Perforationen auftritt. Erst ab einer Knochenhöhe von vier Millimetern zeigt sich eine deutliche Reduktion der Perforationsrate. Geringer ist dieser Effekt bei Betrachtung von Erfolgsraten der externen Sinuslifte und inserierten Implantate. Dennoch verhält er sich analog zum Auftreten von Perforationen und ist daher vermutlich am ehesten durch die erhöhten Perforationsraten bei Knochenhöhen unter vier Millimetern bedingt. Insgesamt ist der Einfluss der präoperativen krestalen Knochenhöhe auf die Erfolgsraten von Sinusliftoperationen und inserierten Implantaten eher zu vernachlässigen und lediglich für Perforationen relevant. Der sehr niedrige Wert für Nagelkerkes R-Quadrat von 0,054 und Odds Ratio nahe eins (0,82) in der logistischen Regressionsanalyse bedeuten jedoch, dass auch der Einfluss der Knochenhöhe auf intraoperative Perforationen der Schneiderschen Membran statistisch als schwach bewertet werden muss.

Auch andere Untersuchungen wie jene von Krennmaier et al. (2020) zeigten einen Zusammenhang zwischen der präoperativen Knochenhöhe und Perforationen der Schneiderschen Membran im Rahmen einer Sinusliftoperation [128]. Geringe präoperative Knochenhöhen und daraus resultierende größere Augmentation führen somit zu einem erhöhten Perforationsrisiko.

4.6 Einfluss des Implantationszeitpunktes auf den Implantaterfolg

Die Unterteilung der Implantaterfolgsrate in ein- und zweizeitige Implantationen zeigt, dass für beide Vorgehensweisen ähnliche Beeinflussungen durch die zuvor untersuchten Risikofaktoren gelten. Daher wurde bei der Betrachtung der Implantaterfolgsraten

vorrangig die Gesamtrate für ein- und zweizeitige Implantationen herangezogen. Dennoch ist grundsätzlich eine höhere Implantaterfolgsrate beim zweizeitigen Vorgehen feststellbar. In der vorliegenden Untersuchung wurde, im Gegensatz zu zahlreichen anderen Untersuchungen, bereits bei einer krestalen Knochenhöhe von mehr als einem Millimeter einzeitig implantiert. Da die Untersuchung zudem zahlreiche Risikofaktoren und multimorbide Patienten einschloss, die andere Studien nicht erfassten, fällt die Differenz in den Erfolgsraten sicherlich größer aus als in anderen Untersuchungen. Dort werden ein- und zweizeitige Verfahren oftmals als gleichwertig beschrieben [129]. Ein mit dieser Arbeit vergleichbares Studiendesign existiert in der aktuellen Literatur jedoch nicht, sodass grundsätzlich kein direkter Vergleich zur vorliegenden Untersuchung angestellt werden kann. Häufig unterscheiden sich das operative Vorgehen, die Einbeziehungsweise Ausschlusskriterien sowie insbesondere die Größen der Vergleichsgruppen deutlich von denen der vorliegenden Untersuchung. Vergleichbare Ergebnisse konnten jedoch auch in einer Studie von Peñarrocha-Diago et al. (2013) gefunden werden [130]. Hier unterschied sich das Vorgehen insofern, als dass Blockaugmentationen erfolgten. Dennoch waren die Einschlusskriterien bei einer deutlich kleineren Patientenkohorte vergleichbar. Die Studie untersuchte die Patienten zwar lediglich für ein Jahr nach, konnte aber einen höheren marginalen Knochenverlust einzeitig inserierter Implantate nachweisen.

Zweizeitige Verfahren kommen insbesondere bei geringen präoperativen Knochenhöhen und größeren Augmentationen zum Einsatz. Hierdurch ist die Primärstabilität in der Regel geringer und die Heilung deutlich verzögert. Da die Knochenbildung grundsätzlich unabhängig von der Höhe und dem Volumen des augmentierten Bereichs ist [131], ist nach Einheilung des Augmentationsmaterials mit einer suffizienten Knochenhöhe zur Implantation zu rechnen. Somit ist das Komplikationsrisiko für große Augmentationen, welche zumeist eine zweizeitige Implantation zur Folge haben, zwar erwartungsgemäß höher, aber es erfolgt eine Implantation in eine abgeschlossene Knochenbildung.

Eine klare Empfehlung für eines der Verfahren anhand der präsentierten Daten auszusprechen ist trotz der Ergebnisse nicht zielführend, da die Wahl des Insertionszeitpunktes maßgeblich anhand klinischer Kriterien getroffen wird. Oftmals hat das einzeitige Verfahren für die spätere prothetische Versorgung deutliche Vorteile [132].

5 Schlussfolgerungen

5.1 Perforationen der Schneiderschen Membran

Die vorliegende Studie zeigt, dass Perforationen der Schneiderschen Membran einen signifikant negativen Einfluss auf den Erfolg des externen Sinuslifts und der inserierten Implantate haben.

Allein das statistisch häufige Auftreten von Perforationen in etwa einem Viertel der untersuchten Fälle zeigt, dass Strategien zur Vermeidung von Komplikationen erforderlich sind. In jedem Falle sollten Perforationen sicher abgedeckt werden. Die hier untersuchte Perforationsabdeckung mit einer resorbierbaren Kollagenmembran zählt sicherlich zu den standardisierten Verfahren und zeigt insgesamt gute Ergebnisse. Trotzdem sind die Ergebnisse schlechter als bei Sinusliftoperationen ohne Perforation. Hier sind weitere Untersuchungen zur Optimierung dieser Verfahren notwendig. Ein Ansatz könnte in der Fixierung der Kollagenmembranen mit Fibrinkleber liegen. Eine feste Verbindung im Bereich der Perforationsstelle könnte der relevante Ansatzpunkt sein, um ein sicheres und verlässliches Verfahren zu entwickeln. Die geringe Fallzahl (n = 18) in der vorliegenden Untersuchung, bei der die Fixation mit Fibrinkleber zur Anwendung kam, ist für ein abschließendes Urteil sicherlich nicht ausreichend, bietet aber einen Ansatzpunkt für weitere Untersuchungen.

5.2 Tabakkonsum

Die Untersuchung zu den Auswirkungen von Tabakkonsum zeigt einen signifikant negativen Einfluss auf den Erfolg des externen Sinuslifts und der inserierten Implantate. Generell ist Tabakkonsum zwar nicht als absolute Kontraindikation anzusehen, erhöht aber die Komplikationsrate. Patienten sollten hierüber, insbesondere bei aufwändigen und prognostisch schwierigen Augmentationen und Implantatversorgungen, gezielt aufgeklärt werden. So können Komplikationen verringert oder sogar vermieden werden. Bereits eine Nikotinkarenz während der Einheilzeit kann eine deutliche Verbesserung des Ergebnisses zur Folge haben. Dennoch sollte der Patient auch über die langfristigen Risiken des Tabakkonsums aufgeklärt werden. Sofern die Bereitschaft des Patienten zur Umstellung seiner Gewohnheiten gegeben ist, sollte auch seitens des Behandlers die notwendige Bereitschaft zur Unterstützung vorhanden sein und gegebenenfalls konsiliarische Hilfe eingeholt werden. Darüber hinaus sollte dies ebenfalls einen

zentralen Bestandteil der präoperativen Patientenaufklärung darstellen und in die Nachsorge übernommen werden. Generell ist die Nachsorge bei Rauchern aufwändiger und sollte nach Möglichkeit engmaschiger erfolgen. Die Vermeidung postoperativer Wundheilungsstörungen und genereller Komplikationen kann darüber hinaus den gesamten Prozess bis zur endgültigen prothetischen Versorgung beschleunigen. Anhand dieser Aspekte sollten Rauchern die Vorteile einer Nikotinkarenz oder gänzlichen Abgewöhnung verdeutlicht werden.

5.3 Strahlentherapien

Auch bei Patienten, die nach einer Strahlentherapie des Kopf-Hals-Bereichs implantologisch versorgt werden, zeigt sich ein signifikant negativer Einfluss auf den Erfolg des externen Sinuslifts und der inserierten Implantate. Generell stellt dies keine absolute Kontraindikation dar. Dennoch muss die erhöhte Komplikationsrate in der Patientenaufklärung berücksichtigt werden. Anders als beim Tabakkonsum sind diese Faktoren nicht beeinflussbar. Vielmehr gilt es in diesen Fällen den richtigen Zeitpunkt zur Durchführung der chirurgischen Maßnahmen zu finden. Stabile weichgewebliche Verhältnisse und gesunder Knochen sind eine obligate Voraussetzung. Ist dies nicht gegeben, sollte die Sinusliftoperation zunächst aufgeschoben werden. In diesem Zusammenhang ist eine eindeutige Kommunikation mit dem Patienten dringend erforderlich, um gemeinsam optimale Voraussetzungen zu erreichen und eine erfolgreiche Implantatversorgung gewährleisten zu können. Dennoch ist der negative Einfluss einer Strahlentherapie zeitlebens relevant. Im Akutstadium einer Strahlentherapie sollte keine Implantatversorgung oder Augmentation erfolgen. Insgesamt ist nach einer Strahlentherapie zunächst eine adäquate Karenzzeit – in Abhängigkeit vom klinischen Zustand – vor einer implantologischen Versorgung einzuhalten. Ferner sollte eine engmaschige Nachsorge bei Patienten, die eine Strahlentherapie erhalten haben, durchgeführt werden. Nur so lassen sich mögliche Komplikationen frühzeitig erkennen.

5.4 Verwendung von autologem Knochen

Insgesamt zeigte die Kombination aus autologem Knochen vom Beckenkamm und xenogenem BioOss®-Granulat bessere Ergebnisse als die Augmentation mit vorwiegend xenogenem Material und lediglich geringen Anteilen kortikaler Knochenespäne. Diese Vorteile kommen vor allem bei ausgedehnten Defekten, großen Knochendefiziten und kompromittiertem Gewebe zum Tragen. Generell muss diese Optimierung der Erfolgsraten stets gegen mögliche Risiken und Komplikationen abgewogen werden, die durch zusätzliche chirurgische Eingriffe zur Knochengewinnung entstehen. Sofern es möglich und sinnvoll ist, sollte jedoch die Kombination aus beiden Materialien bevorzugt werden. Hier scheinen sich die Vorteile des resorptionsstabilen xenogenen Materials mit denen des osteogenetisch aktiven autologen Materials zu ergänzen. So können ideale Voraussetzungen für eine schnelle und sichere Einheilung des Augmentationsmaterials und der inserierten Implantate geschaffen werden.

5.5 Implantationszeitpunkt und krestale Restknochenhöhe

Die Menge an erhobenen Daten konnte auch weitere Einflussfaktoren beleuchten und deren Einfluss in Teilen darstellen. Für die Erfolgsraten der Implantate nach externer Sinusliftoperation konnte eine Unterscheidung zwischen ein- und zweizeitiger Implantation getroffen werden. Hierbei zeigt sich zwar grundsätzlich eine höhere Erfolgsrate für zweizeitige Implantationen, jedoch nicht in dem Maße, als dass hieraus eine generelle Empfehlung abgeleitet werden kann. Dennoch sollte dies in die Patientenaufklärung einfließen. Die verlängerte Therapiedauer sowie der zusätzliche operative Eingriff der zweizeitigen Implantation, welche Patienten in der Regel als Nachteil empfinden, hat hierbei offensichtlich geringere Komplikationen und höhere Therapieerfolge zur Folge.

Ebenfalls wurden die präoperativen Knochenhöhen erfasst. Hierbei zeigt sich eine erhöhte Perforationsrate bei geringeren Knochenhöhen mit einem Maximum bei unter vier Millimetern. Dies zeigt den zu erwartenden Zusammenhang erhöhter Komplikationsraten bei großen Augmentationsvolumina.

Literatur- und Quellenverzeichnis

1. Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Holtmann, H., *Advantages of the Additional use of Autologous Bone Substitute Materials at Major Sinus Lift Operations*. Ger Med J, 2018. **23**(2): p. 54-63.
2. Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Schorn, L., Holtmann, H., *Influence of Schneiderian Membrane Perforations on the Prognosis and Outcomes of Lateral Window Sinus Lift Operations: A Retrospective Case Series Study*. J Dent Oral Disord Ther, 2018. **6**(2): p. 1-9.
3. Bangi, B.B., U. Ginjupally, L.K. Nadendla, and B. Vadla, *3D Evaluation of Maxillary Sinus Using Computed Tomography: A Sexual Dimorphic Study*. Int J Dent, 2017. **2017**: p. 9017078.
4. Lozano-Carrascal, N., O. Salomo-Coll, S.A. Gehrke, J.L. Calvo-Guirado, F. Hernandez-Alfaro, and J. Gargallo-Albiol, *Radiological evaluation of maxillary sinus anatomy: A cross-sectional study of 300 patients*. Ann Anat, 2017. **214**: p. 1-8.
5. Herberhold, C., *Physiologie und Pathophysiologie der Nasennebenhöhlen*.
6. Radulesco, T., J. Michel, J. Mancini, P. Dessi, and P. Adalian, *Sex Estimation from Human Cranium: Forensic and Anthropological Interest of Maxillary Sinus Volumes*. J Forensic Sci, 2018. **63**(3): p. 805-808.
7. Themkumkwun, S., J. Kitisubkanchana, A. Waikakul, and K. Boonsiriseth, *Maxillary molar root protrusion into the maxillary sinus: a comparison of cone beam computed tomography and panoramic findings*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2019. **48**(12): p. 1570-1576.
8. Schriber, M., M.M. Bornstein, and V.G.A. Suter, *Is the pneumatisation of the maxillary sinus following tooth loss a reality? A retrospective analysis using cone beam computed tomography and a customised software program*. Clin Oral Investig, 2019. **23**(3): p. 1349-1358.
9. Bornstein, M.M., J.K.C. Ho, A.W.K. Yeung, R. Tanaka, J.Q. Li, and R. Jacobs, *A Retrospective Evaluation of Factors Influencing the Volume of*

- Healthy Maxillary Sinuses Based on CBCT Imaging*. Int J Periodontics Restorative Dent, 2019. **39**(2): p. 187-193.
10. Bravo Cordero, G., S. Minzer Ferrer, and L. Fernandez, *Odontogenic sinusitis, oro-antral fistula and surgical repair by Bichat's fat pad: Literature review*. Acta Otorrinolaringol Esp, 2016. **67**(2): p. 107-13.
 11. Khandelwal, P. and N. Hajira, *Management of Oro-antral Communication and Fistula: Various Surgical Options*. World J Plast Surg, 2017. **6**(1): p. 3-8.
 12. Parvini, P., K. Obreja, A. Begic, F. Schwarz, J. Becker, R. Sader, and L. Salti, *Decision-making in closure of oroantral communication and fistula*. Int J Implant Dent, 2019. **5**(1): p. 13.
 13. Taschieri, S., S. Torretta, S. Corbella, M. Del Fabbro, L. Francetti, A. Lolato, and P. Capaccio, *Pathophysiology of sinusitis of odontogenic origin*. J Investig Clin Dent, 2017. **8**(2).
 14. Torul, D., E. Yuceer, M. Sumer, and S. Gun, *Maxillary sinus aspergilloma of odontogenic origin: Report of 2 cases with cone-beam computed tomographic findings and review of the literature*. Imaging Sci Dent, 2018. **48**(2): p. 139-145.
 15. Branemark, P.I., R. Adell, U. Breine, B.O. Hansson, J. Lindstrom, and A. Ohlsson, *Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies*. Scand J Plast Reconstr Surg, 1969. **3**(2): p. 81-100.
 16. Adell, R., B.O. Hansson, P.I. Branemark, and U. Breine, *Intra-osseous anchorage of dental prostheses. II. Review of clinical approaches*. Scand J Plast Reconstr Surg, 1970. **4**(1): p. 19-34.
 17. Branemark, P.I., B.O. Hansson, R. Adell, U. Breine, J. Lindstrom, O. Hallen, and A. Ohman, *Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period*. Scand J Plast Reconstr Surg Suppl, 1977. **16**: p. 1-132.
 18. Branemark, P.I., R. Adell, T. Albrektsson, U. Lekholm, J. Lindstrom, and B. Rockler, *An experimental and clinical study of osseointegrated implants penetrating the nasal cavity and maxillary sinus*. J Oral Maxillofac Surg, 1984. **42**(8): p. 497-505.

19. Parel, S.M., P.I. Branemark, and T. Jansson, *Osseointegration in maxillofacial prosthetics. Part I: Intraoral applications*. J Prosthet Dent, 1986. **55**(4): p. 490-4.
20. Parel, S.M., P.I. Branemark, A. Tjellstrom, and G. Gion, *Osseointegration in maxillofacial prosthetics. Part II: Extraoral applications*. J Prosthet Dent, 1986. **55**(5): p. 600-6.
21. Carlsson, L., T. Rostlund, B. Albrektsson, T. Albrektsson, and P.I. Branemark, *Osseointegration of titanium implants*. Acta Orthop Scand, 1986. **57**(4): p. 285-9.
22. Branemark, P.I., B. Svensson, and D. van Steenberghe, *Ten-year survival rates of fixed prostheses on four or six implants ad modum Branemark in full edentulism*. Clin Oral Implants Res, 1995. **6**(4): p. 227-31.
23. Branemark, P.I., P. Engstrand, L.O. Ohnell, K. Grondahl, P. Nilsson, K. Hagberg, C. Darle, and U. Lekholm, *Branemark Novum: a new treatment concept for rehabilitation of the edentulous mandible. Preliminary results from a prospective clinical follow-up study*. Clin Implant Dent Relat Res, 1999. **1**(1): p. 2-16.
24. Branemark, P.I., *Rehabilitation and osseointegration in clinical reality*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2003. **18**(5): p. 770-1.
25. Sadowsky, S.J., *Has zirconia made a material difference in implant prosthodontics? A review*. Dent Mater, 2019.
26. Nishihara, H., M. Haro Adanez, and W. Att, *Current status of zirconia implants in dentistry: preclinical tests*. J Prosthodont Res, 2019. **63**(1): p. 1-14.
27. Depprich, R., C. Naujoks, M. Ommerborn, F. Schwarz, N.R. Kubler, and J. Handschel, *Current findings regarding zirconia implants*. Clin Implant Dent Relat Res, 2014. **16**(1): p. 124-37.
28. Dreyer, H., J. Grischke, C. Tiede, J. Eberhard, A. Schweitzer, S.E. Toikkanen, S. Glockner, G. Krause, and M. Stiesch, *Epidemiology and risk factors of peri-implantitis: A systematic review*. J Periodontal Res, 2018. **53**(5): p. 657-681.
29. Baj, A., G. Trapella, D. Lauritano, V. Candotto, G.E. Mancini, and A.B. Gianni, *An overview on bone reconstruction of atrophic maxilla: success*

- parameters and critical issues*. J Biol Regul Homeost Agents, 2016. **30**(2 Suppl 1): p. 209-15.
30. Ting, M., J.G. Rice, S.M. Braid, C.Y.S. Lee, and J.B. Suzuki, *Maxillary Sinus Augmentation for Dental Implant Rehabilitation of the Edentulous Ridge: A Comprehensive Overview of Systematic Reviews*. Implant Dent, 2017. **26**(3): p. 438-464.
 31. Esposito, M., M.G. Grusovin, P. Felice, G. Karatzopoulos, H.V. Worthington, and P. Coulthard, *Interventions for replacing missing teeth: horizontal and vertical bone augmentation techniques for dental implant treatment*. Cochrane Database Syst Rev, 2009(4): p. CD003607.
 32. Boyne, P.J. and R.A. James, *Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone*. J Oral Surg, 1980. **38**(8): p. 613-6.
 33. Tatum, H., Jr., *Maxillary and sinus implant reconstructions*. Dent Clin North Am, 1986. **30**(2): p. 207-29.
 34. Summers, R.B., *A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique*. Compendium, 1994. **15**(2): p. 152, 154-6, 158 passim; quiz 162.
 35. Shiffler, K., D. Lee, M. Rowan, T. Aghaloo, J. Pi-Anfruns, and P.K. Moy, *Effect of length, diameter, intraoral location on implant stability*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol, 2016. **122**(6): p. e193-e198.
 36. Pérez-Martínez, S., L. Martorell-Calatayud, D. Peñarrocha-Oltra, B. García-Mira, and M. Peñarrocha-Diago, *Indirect sinus lift without bone graft material: Systematic review and meta-analysis*. J Clin Exp Dent, 2015. **7**(2): p. e316-9.
 37. Wainwright, M., D. Torres-Lagares, B. Perez-Dorao, M.A. Serrera-Figallo, J.L. Gutierrez-Perez, A. Troedhan, and A. Kurrek, *Histological and histomorphometric study using an ultrasonic crestal sinus grafting procedure. A multicenter case study*. Med Oral Patol Oral Cir Bucal, 2016. **21**(3): p. e367-73.
 38. Wainwright M., T.A., Kurrek A., *The IntraLift: A new minimal invasive ultrasonic technique for sinus grafting procedures*. Implants - International Journal of Implantology, 2007(3): p. 30-34.

39. Purushotham, S., A.M. Raveendran, B.K. Kripalani, and M.L. D'Souza, *Direct Sinus Lift and Immediate Implant Placement Using Piezosurgical Approach- A Case Report*. J Clin Diagn Res, 2016. **10**(1): p. ZD20-2.
40. Wallace, S.S. and S.J. Froum, *Effect of maxillary sinus augmentation on the survival of endosseous dental implants. A systematic review*. Ann Periodontol, 2003. **8**(1): p. 328-43.
41. Schwarz, L., V. Schiebel, M. Hof, C. Ulm, G. Watzek, and B. Pommer, *Risk Factors of Membrane Perforation and Postoperative Complications in Sinus Floor Elevation Surgery: Review of 407 Augmentation Procedures*. J Oral Maxillofac Surg, 2015. **73**(7): p. 1275-82.
42. Al-Dajani, M., *Incidence, Risk Factors, and Complications of Schneiderian Membrane Perforation in Sinus Lift Surgery: A Meta-Analysis*. Implant Dent, 2016. **25**(3): p. 409-15.
43. Barone, A., S. Santini, L. Sbordone, R. Crespi, and U. Covani, *A clinical study of the outcomes and complications associated with maxillary sinus augmentation*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2006. **21**(1): p. 81-5.
44. Becker, S.T., H. Terheyden, A. Steinriede, E. Behrens, I. Springer, and J. Wiltfang, *Prospective observation of 41 perforations of the Schneiderian membrane during sinus floor elevation*. Clin Oral Implants Res, 2008. **19**(12): p. 1285-9.
45. Kamm, T., S. Kamm, and W. Heppt, *[Bone substitutes used for sinus lift]*. HNO, 2015. **63**(7): p. 481-8.
46. Testori, T., T. Weinstein, S. Taschieri, and S.S. Wallace, *Risk factors in lateral window sinus elevation surgery*. Periodontol 2000, 2019. **81**(1): p. 91-123.
47. Al-Dajani, M., *Recent Trends in Sinus Lift Surgery and Their Clinical Implications*. Clin Implant Dent Relat Res, 2016. **18**(1): p. 204-12.
48. Ardekian, L., E. Oved-Peleg, E.E. Mactei, and M. Peled, *The clinical significance of sinus membrane perforation during augmentation of the maxillary sinus*. J Oral Maxillofac Surg, 2006. **64**(2): p. 277-82.
49. Shao, Q., J. Li, R. Pu, Y. Feng, Z. Jiang, and G. Yang, *Risk factors for sinus membrane perforation during lateral window maxillary sinus floor*

- elevation surgery: A retrospective study.* Clin Implant Dent Relat Res, 2021. **23**(6): p. 812-820.
50. van den Bergh, J.P., C.M. ten Bruggenkate, F.J. Disch, and D.B. Tuinzing, *Anatomical aspects of sinus floor elevations.* Clin Oral Implants Res, 2000. **11**(3): p. 256-65.
51. Tadinada, A., E. Jalali, W. Al-Salman, S. Jambhekar, B. Katechia, and K. Almas, *Prevalence of bony septa, antral pathology, and dimensions of the maxillary sinus from a sinus augmentation perspective: A retrospective cone-beam computed tomography study.* Imaging Sci Dent, 2016. **46**(2): p. 109-15.
52. Loubele, M., R. Bogaerts, E. Van Dijck, R. Pauwels, S. Vanheusden, P. Suetens, G. Marchal, G. Sanderink, and R. Jacobs, *Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications.* Eur J Radiol, 2009. **71**(3): p. 461-8.
53. Signorelli, L., R. Patcas, T. Peltomaki, and M. Schatzle, *Radiation dose of cone-beam computed tomography compared to conventional radiographs in orthodontics.* J Orofac Orthop, 2016. **77**(1): p. 9-15.
54. Jacobs, R., B. Salmon, M. Codari, B. Hassan, and M.M. Bornstein, *Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use.* BMC Oral Health, 2018. **18**(1): p. 88.
55. Wen, S.C., Y.H. Lin, Y.C. Yang, and H.L. Wang, *The influence of sinus membrane thickness upon membrane perforation during transcrestal sinus lift procedure.* Clin Oral Implants Res, 2015. **26**(10): p. 1158-64.
56. Costa, F., E. Emanuelli, and M. Robiony, *Incidence of Maxillary Sinus Disease Before Sinus Floor Elevation Surgery as Identified by Cone-Beam Computed Tomography: A Literature Review.* J Oral Implantol, 2018. **44**(2): p. 161-166.
57. Jordi, C., K. Mukaddam, J.T. Lambrecht, and S. Kuhl, *Membrane perforation rate in lateral maxillary sinus floor augmentation using conventional rotating instruments and piezoelectric device-a meta-analysis.* Int J Implant Dent, 2018. **4**(1): p. 3.
58. Halldin, A., R. Jimbo, C.B. Johansson, A. Wennerberg, M. Jacobsson, T. Albrektsson, and S. Hansson, *Implant stability and bone remodeling after*

- 3 and 13 days of implantation with an initial static strain. *Clin Implant Dent Relat Res*, 2014. **16**(3): p. 383-93.
59. Bavetta, G., G. Bavetta, V. Randazzo, A. Cavataio, C. Paderni, V. Grassia, G. Dipalma, C. Gargiulo Isacco, A. Scarano, D. De Vito, S. Cantore, A. Ballini, and F. Inchingolo, *A Retrospective Study on Insertion Torque and Implant Stability Quotient (ISQ) as Stability Parameters for Immediate Loading of Implants in Fresh Extraction Sockets*. *Biomed Res Int*, 2019. **2019**: p. 9720419.
60. Jensen, S.S. and H. Terheyden, *Bone augmentation procedures in localized defects in the alveolar ridge: clinical results with different bone grafts and bone-substitute materials*. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 2009. **24 Suppl**: p. 218-36.
61. de Azambuja Carvalho, P.H., G. Dos Santos Trento, L.B. Moura, G. Cunha, M.A.C. Gabrielli, and V.A. Pereira-Filho, *Horizontal ridge augmentation using xenogenous bone graft-systematic review*. *Oral Maxillofac Surg*, 2019. **23**(3): p. 271-279.
62. Robiony, M., Tenani, G., Sbuelz, M. and Casadei, M., *A simple method for repairing membrane sinus perforation*. *Open Journal of Stomatology*, 2012(2): p. 348-351.
63. Rothamel, D., F. Schwarz, M. Sager, M. Herten, A. Sculean, and J. Becker, *Biodegradation of differently cross-linked collagen membranes: an experimental study in the rat*. *Clin Oral Implants Res*, 2005. **16**(3): p. 369-78.
64. Backhaus, K.E., B.; Plinke, W.; Weiber, R., *Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung (11th ed.)*. 2006: Springer Berlin.
65. Moreno Vazquez, J.C., A.S. Gonzalez de Rivera, H.S. Gil, and R.S. Mifsut, *Complication rate in 200 consecutive sinus lift procedures: guidelines for prevention and treatment*. *J Oral Maxillofac Surg*, 2014. **72**(5): p. 892-901.
66. Baldini, N., C. D'Elia, A. Bianco, C. Goracci, M. de Sanctis, and M. Ferrari, *Lateral approach for sinus floor elevation: large versus small*

- bone window - a split-mouth randomized clinical trial. Clin Oral Implants Res, 2017. 28(8): p. 974-981.*
67. Shanbhag, S., P. Karnik, P. Shirke, and V. Shanbhag, *Cone-beam computed tomographic analysis of sinus membrane thickness, ostium patency, and residual ridge heights in the posterior maxilla: implications for sinus floor elevation. Clin Oral Implants Res, 2014. 25(6): p. 755-60.*
68. Rapani, M., C. Rapani, and L. Ricci, *Schneider membrane thickness classification evaluated by cone-beam computed tomography and its importance in the predictability of perforation. Retrospective analysis of 200 patients. Br J Oral Maxillofac Surg, 2016. 54(10): p. 1106-1110.*
69. Favero, V., N.P. Lang, L. Canullo, J. Urbizo Velez, F. Bengazi, and D. Botticelli, *Sinus floor elevation outcomes following perforation of the Schneiderian membrane. An experimental study in sheep. Clin Oral Implants Res, 2016. 27(2): p. 233-40.*
70. Scala, A., N.P. Lang, J.U. Velez, R. Favero, F. Bengazi, and D. Botticelli, *Effects of a collagen membrane positioned between augmentation material and the sinus mucosa in the elevation of the maxillary sinus floor. An experimental study in sheep. Clin Oral Implants Res, 2016. 27(11): p. 1454-1461.*
71. Sakkas, A., I. Konstantinidis, K. Winter, A. Schramm, and F. Wilde, *Effect of Schneiderian membrane perforation on sinus lift graft outcome using two different donor sites: a retrospective study of 105 maxillary sinus elevation procedures. GMS Interdiscip Plast Reconstr Surg DGPW, 2016. 5: p. Doc11.*
72. Proussaefs, P., J. Lozada, J. Kim, and M.D. Rohrer, *Repair of the perforated sinus membrane with a resorbable collagen membrane: a human study. Int J Oral Maxillofac Implants, 2004. 19(3): p. 413-20.*
73. de Almeida Malzoni, C.M., L.G. Nicoli, G. da Col Dos Santos Pinto, S.C. Pigossi, V.A. Zotesso, M.H.A. Verzola, C. Marcantonio, V. Goncalves, D.L. Zandim-Barcelos, and E. Marcantonio, *The Effectiveness of L-PRF in the Treatment of Schneiderian Membrane Large Perforations: Long-Term Follow-Up of a Case Series. J Oral Implantol, 2021. 47(1): p. 31-35.*

74. von Arx, T., I. Fodich, M.M. Bornstein, and S.S. Jensen, *Perforation of the sinus membrane during sinus floor elevation: a retrospective study of frequency and possible risk factors*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2014. **29**(3): p. 718-26.
75. Strietzel, F.P., P.A. Reichart, A. Kale, M. Kulkarni, B. Wegner, and I. Kuchler, *Smoking interferes with the prognosis of dental implant treatment: a systematic review and meta-analysis*. J Clin Periodontol, 2007. **34**(6): p. 523-44.
76. Twito, D. and P. Sade, *The effect of cigarette smoking habits on the outcome of dental implant treatment*. PeerJ, 2014. **2**: p. e546.
77. Bain, C.A., *Smoking and implant failure--benefits of a smoking cessation protocol*. Int J Oral Maxillofac Implants, 1996. **11**(6): p. 756-9.
78. Silverstein, P., *Smoking and wound healing*. Am J Med, 1992. **93**(1A): p. 22S-24S.
79. Campanile, G., G. Hautmann, and T. Lotti, *Cigarette smoking, wound healing, and face-lift*. Clin Dermatol, 1998. **16**(5): p. 575-8.
80. Towler, J., *Cigarette smoking and its effects on wound healing*. J Wound Care, 2000. **9**(3): p. 100-4.
81. Bain, B.J., M. Rothwell, M.D. Feher, R. Robinson, J. Brown, and P.S. Sever, *Acute changes in haematological parameters on cessation of smoking*. J R Soc Med, 1992. **85**(2): p. 80-2.
82. Knobloch, K., A. Gohritz, E. Reuss, and P.M. Vogt, *[Nicotine in plastic surgery : a review]*. Chirurg, 2008. **79**(10): p. 956-62.
83. Carson, S.J. and J. Burns, *Impact of smoking on tooth loss in adults*. Evid Based Dent, 2016. **17**(3): p. 73-74.
84. Simila, T., J. Auvinen, M. Timonen, and J.I. Virtanen, *Long-term effects of smoking on tooth loss after cessation among middle-aged Finnish adults: the Northern Finland Birth Cohort 1966 Study*. BMC Public Health, 2016. **16**(1): p. 867.
85. Dietrich, T., C. Walter, K. Oluwagbemigun, M. Bergmann, T. Pischon, N. Pischon, and H. Boeing, *Smoking, Smoking Cessation, and Risk of Tooth Loss: The EPIC-Potsdam Study*. J Dent Res, 2015. **94**(10): p. 1369-75.

86. Chrcanovic, B.R., J. Kisch, T. Albrektsson, and A. Wennerberg, *Factors Influencing Early Dental Implant Failures*. J Dent Res, 2016. **95**(9): p. 995-1002.
87. Heitz-Mayfield, L.J. and G. Huynh-Ba, *History of treated periodontitis and smoking as risks for implant therapy*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2009. **24 Suppl**: p. 39-68.
88. Schwarz, F., J. Derks, A. Monje, and H.L. Wang, *Peri-implantitis*. J Periodontol, 2018. **89 Suppl 1**: p. S267-S290.
89. Kasat, V. and R. Ladda, *Smoking and dental implants*. J Int Soc Prev Community Dent, 2012. **2**(2): p. 38-41.
90. Uribarri, A., E. Bilbao, X. Marichalar-Mendia, R. Martinez-Conde, J.M. Aguirre, and F. Verdugo, *Bone Remodeling around Implants Placed in Augmented Sinuses in Patients with and without History of Periodontitis*. Clin Implant Dent Relat Res, 2017. **19**(2): p. 268-279.
91. French, D., H.M. Grandin, and R. Ofec, *Retrospective cohort study of 4,591 dental implants: Analysis of risk indicators for bone loss and prevalence of peri-implant mucositis and peri-implantitis*. J Periodontol, 2019. **90**(7): p. 691-700.
92. Bahrami, G., M. Vaeth, L.L. Kirkevang, A. Wenzel, and F. Isidor, *The impact of smoking on marginal bone loss in a 10-year prospective longitudinal study*. Community Dent Oral Epidemiol, 2017. **45**(1): p. 59-65.
93. Saaby, M., E. Karring, S. Schou, and F. Isidor, *Factors influencing severity of peri-implantitis*. Clin Oral Implants Res, 2016. **27**(1): p. 7-12.
94. Schwarz, F. and J. Becker, *Die Behandlung perimplantärer Infektionen an Zahnimplantaten*. 2016, Deutsche Gesellschaft für Implantologie im Zahn-, Mund- und Kieferbereich (DGI), Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK).
95. Schwarz, F., A. Schmucker, and J. Becker, *Efficacy of alternative or adjunctive measures to conventional treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: a systematic review and meta-analysis*. Int J Implant Dent, 2015. **1**(1): p. 22.

96. Sun, C., J. Zhao, C. Jianghao, and T. Hong, *Effect of Heavy Smoking on Dental Implants Placed in Male Patients Posterior Mandibles: A Prospective Clinical Study*. J Oral Implantol, 2016. **42**(6): p. 477-483.
97. Sayardoust, S., K. Grondahl, E. Johansson, P. Thomsen, and C. Slotte, *Implant survival and marginal bone loss at turned and oxidized implants in periodontitis-susceptible smokers and never-smokers: a retrospective, clinical, radiographic case-control study*. J Periodontol, 2013. **84**(12): p. 1775-82.
98. Chambrone, L., P.M. Preshaw, J.D. Ferreira, J.A. Rodrigues, A. Cassoni, and J.A. Shibli, *Effects of tobacco smoking on the survival rate of dental implants placed in areas of maxillary sinus floor augmentation: a systematic review*. Clin Oral Implants Res, 2014. **25**(4): p. 408-16.
99. Payne, W.G., D.K. Naidu, C.K. Wheeler, D. Barkoe, M. Mentis, R.E. Salas, D.J. Smith, Jr., and M.C. Robson, *Wound healing in patients with cancer*. Eplasty, 2008. **8**: p. e9.
100. Schiegnitz, E., B. Al-Nawas, P.W. Kammerer, and K.A. Grotz, *Oral rehabilitation with dental implants in irradiated patients: a meta-analysis on implant survival*. Clin Oral Investig, 2014. **18**(3): p. 687-98.
101. Schiegnitz, E., B. Al-Nawas, P.W. Kammerer, and K.A. Grotz, *Dental implants in irradiated patients: which factors influence implant survival?* Clin Oral Investig, 2015. **19**(7): p. 1691-2.
102. Huang, S.H. and B. O'Sullivan, *Oral cancer: Current role of radiotherapy and chemotherapy*. Med Oral Patol Oral Cir Bucal, 2013. **18**(2): p. e233-40.
103. Hartner, L., *Chemotherapy for Oral Cancer*. Dent Clin North Am, 2018. **62**(1): p. 87-97.
104. Pan, Q., M.A. Gorin, and T.N. Teknos, *Pharmacotherapy of head and neck squamous cell carcinoma*. Expert Opin Pharmacother, 2009. **10**(14): p. 2291-302.
105. Mohan, S.P., M.K. Bhaskaran, A.L. George, A. Thirutheri, M. Somasundaran, and A. Pavithran, *Immunotherapy in Oral Cancer*. J Pharm Bioallied Sci, 2019. **11**(Suppl 2): p. S107-S111.

106. Kujan, O., B. van Schaijik, and C.S. Farah, *Immune Checkpoint Inhibitors in Oral Cavity Squamous Cell Carcinoma and Oral Potentially Malignant Disorders: A Systematic Review*. *Cancers (Basel)*, 2020. **12**(7).
107. Kumar, S., C. Chandran, R. Chacko, J.S. Jesija, and A. Paul, *Osteoradionecrosis of Jaw: An Institutional Experience*. *Contemp Clin Dent*, 2018. **9**(2): p. 242-248.
108. Beer, K.T., [*Campaign against radio-xerostomia*]. *Ther Umsch*, 1998. **55**(7): p. 453-5.
109. Kovacs, A.F., *The fate of osseointegrated implants in patients following oral cancer surgery and mandibular reconstruction*. *Head Neck*, 2000. **22**(2): p. 111-9.
110. Taylor, T.D. and P. Worthington, *Osseointegrated implant rehabilitation of the previously irradiated mandible: results of a limited trial at 3 to 7 years*. *J Prosthet Dent*, 1993. **69**(1): p. 60-9.
111. Flores-Ruiz, R., L. Castellanos-Cosano, M.A. Serrera-Figallo, E. Cano-Diaz, D. Torres-Lagares, and J.L. Gutierrez-Perez, *Implant survival in patients with oral cancer: A 5-year follow-up*. *J Clin Exp Dent*, 2018. **10**(6): p. e603-e609.
112. de Carvalho, V. and L.U. Sennes, *Speech and Swallowing Data in Individual Patients Who Underwent Glossectomy after Prosthetic Rehabilitation*. *Int J Dent*, 2016. **2016**: p. 6548014.
113. Hagio, M., K. Ishizaki, M. Ryu, T. Nomura, N. Takano, and K. Sakurai, *Maxillofacial prosthetic treatment factors affecting oral health-related quality of life after surgery for patients with oral cancer*. *J Prosthet Dent*, 2018. **119**(4): p. 663-670.
114. Al-Nawas, B., *Implantologische Indikationen für die Anwendung von Knochenersatzmaterialien*. 2020, Deutsche Gesellschaft für Implantologie im Zahn - ,Mund - und Kieferbereich (DGI).
115. Dasmah, A., A. Thor, A. Ekestubbe, L. Sennerby, and L. Rasmusson, *Particulate vs. block bone grafts: three-dimensional changes in graft volume after reconstruction of the atrophic maxilla, a 2-year radiographic follow-up*. *J Craniomaxillofac Surg*, 2012. **40**(8): p. 654-9.

116. Gulinelli, J.L., R.A. Dutra, H.F. Marao, S.F.P. Simeao, G.B. Groli Klein, and P.L. Santos, *Maxilla reconstruction with autogenous bone block grafts: computed tomography evaluation and implant survival in a 5-year retrospective study*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2017. **46**(8): p. 1045-1051.
117. Aludden, H.C., A. Mordenfeld, M. Hallman, C. Dahlin, and T. Jensen, *Lateral ridge augmentation with Bio-Oss alone or Bio-Oss mixed with particulate autogenous bone graft: a systematic review*. Int J Oral Maxillofac Surg, 2017. **46**(8): p. 1030-1038.
118. Wilkert-Walter, C., S. Janicke, E. Spuntrup, and T. Laurin, [*Maxillary sinus examination after sinus floor elevation combined with autologous onlay osteoplasty*]. Mund Kiefer Gesichtschir, 2002. **6**(5): p. 336-40.
119. Tosun, E., C. Avag, O. Baslarli, S. Kiris, A. Ozturk, and M. Akkocaoglu, *Comparison between peri-implant bone level changes of implants placed during and 3 months after iliac bone grafting*. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol, 2018. **125**(2): p. e12-e16.
120. Schlegel, K.A., G. Fichtner, S. Schultze-Mosgau, and J. Wiltfang, *Histologic findings in sinus augmentation with autogenous bone chips versus a bovine bone substitute*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2003. **18**(1): p. 53-8.
121. Nkenke, E. and F. Stelzle, *Clinical outcomes of sinus floor augmentation for implant placement using autogenous bone or bone substitutes: a systematic review*. Clin Oral Implants Res, 2009. **20 Suppl 4**: p. 124-33.
122. Ghanaati, S., M. Barbeck, J. Lorenz, S. Stuebinger, O. Seitz, C. Landes, A.F. Kovacs, C.J. Kirkpatrick, and R.A. Sader, *Synthetic bone substitute material comparable with xenogeneic material for bone tissue regeneration in oral cancer patients: First and preliminary histological, histomorphometrical and clinical results*. Ann Maxillofac Surg, 2013. **3**(2): p. 126-38.
123. Aghaloo, T.L. and P.K. Moy, *Which hard tissue augmentation techniques are the most successful in furnishing bony support for implant placement?* Int J Oral Maxillofac Implants, 2007. **22 Suppl**: p. 49-70.

124. Al-Nawas, B. and E. Schiegnitz, *Augmentation procedures using bone substitute materials or autogenous bone - a systematic review and meta-analysis*. Eur J Oral Implantol, 2014. **7 Suppl 2**: p. S219-34.
125. Lutz, R., S. Berger-Fink, P. Stockmann, F.W. Neukam, and K.A. Schlegel, *Sinus floor augmentation with autogenous bone vs. a bovine-derived xenograft - a 5-year retrospective study*. Clin Oral Implants Res, 2015. **26**(6): p. 644-8.
126. Hatano, N., Y. Shimizu, and K. Ooya, *A clinical long-term radiographic evaluation of graft height changes after maxillary sinus floor augmentation with a 2:1 autogenous bone/xenograft mixture and simultaneous placement of dental implants*. Clin Oral Implants Res, 2004. **15**(3): p. 339-45.
127. Pasquali, P.J., M.L. Teixeira, T.A. de Oliveira, L.G. de Macedo, A.C. Aloise, and A.A. Pelegrine, *Maxillary Sinus Augmentation Combining Bio-Oss with the Bone Marrow Aspirate Concentrate: A Histomorphometric Study in Humans*. Int J Biomater, 2015. **2015**: p. 121286.
128. Krennmair, S., M. Malek, T. Forstner, G. Krennmair, M. Weinländer, and S. Hunger, *Risk Factor Analysis Affecting Sinus Membrane Perforation During Lateral Window Maxillary Sinus Elevation Surgery*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2020. **35**(4): p. 789-798.
129. Tormos, M., J. Morales, N. Guevara, A.R. Elías, L. López, and O. García, *Sinus Augmentation and Simultaneous Implant Placement Success: Pilot Study (2008-2011)*. P R Health Sci J, 2016. **35**(4): p. 197-202.
130. Peñarrocha-Diago, M., A. Aloy-Prósper, D. Peñarrocha-Oltra, J.L. Calvo-Guirado, and M. Peñarrocha-Diago, *Localized lateral alveolar ridge augmentation with block bone grafts: simultaneous versus delayed implant placement: a clinical and radiographic retrospective study*. Int J Oral Maxillofac Implants, 2013. **28**(3): p. 846-53.
131. Pignaton, T.B., A. Wenzel, C.E.A. Ferreira, C. Borges Martinelli, G. Oliveira, E. Marcantonio, Jr., and R. Spin-Neto, *Influence of residual bone height and sinus width on the outcome of maxillary sinus bone*

augmentation using anorganic bovine bone. Clin Oral Implants Res, 2019. **30**(4): p. 315-323.

132. Esposito, M., M.G. Grusovin, I.P. Polyzos, P. Felice, and H.V. Worthington, *Timing of implant placement after tooth extraction: immediate, immediate-delayed or delayed implants? A Cochrane systematic review*. Eur J Oral Implantol, 2010. **3**(3): p. 189-205.

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1 **Abb. 1: Topografie der Nasennebenhöhlen**
Grafik erstellt mit Apple Pages Version 7.1 (5683) nach Prometheus Kopf, Hals Neuroanatomie; 2. Auflage; Georg Thieme Verlag 2009
- Abbildung 2 **Abb. 2: Der interne (indirekte) Sinuslift**
Grafik frei erstellt mit Apple Pages Version 7.1 (5683)
- Abbildung 3 **Abb. 3: Der externe (direkte) Sinuslift**
Grafik frei erstellt mit Apple Pages Version 7.1 (5683)
- Abbildung 4 **Abb. 4: Präparation des Kieferhöhlenfensters**
Bild entstammt dem Archiv der Klinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Schorn, L., Holtmann, H., *Influence of Schneiderian Membrane Perforations on the Prognosis and Outcomes of Lateral Window Sinus Lift Operations: A Retrospective Case Series Study*, J Dent Oral Disord Ther, 2018. **6**(2): 1-9
- Abbildung 5 **Abb. 5: Die Elevation der fragilen Schneiderschen Membran**
Bild entstammt dem Archiv der Klinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Schorn, L., Holtmann, H., *Influence of Schneiderian Membrane Perforations on the Prognosis and Outcomes of Lateral Window Sinus Lift Operations: A Retrospective Case Series Study*, J Dent Oral Disord Ther, 2018. **6**(2): 1-9

- Abbildung 6 **Abb. 6: Die freigelegte und angehobene Schneidersche Membran**
Bild entstammt dem Archiv der Klinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Schorn, L., Holtmann, H., *Influence of Schneiderian Membrane Perforations on the Prognosis and Outcomes of Lateral Window Sinus Lift Operations: A Retrospective Case Series Study*, J Dent Oral Disord Ther, 2018. **6**(2): 1-9
- Abbildung 7 **Abb. 7: Schematische Darstellung der Primär- und Sekundärstabilität**
Grafik erstellt mit Apple Pages Version 7.1 (5683) nach Smeets et al. Impact of Dental Implant Surface Modifications on Osseointegration. Biomed Res Int, 2016. 2016: p. 6285620.
- Abbildung 8 **Abb. 8: Frisch entnommener autologer Knochen**
Bild entstammt dem Archiv der Klinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Holtmann, H., *Advantages of the Additional use of Autologous Bone Substitute Materials at Major Sinus Lift Operations*, Ger Med J, 2018. **23**(2): p. 54-63
- Abbildung 9 **Abb. 9: Die Kombination von Augmentationsmaterialien**
Bild entstammt dem Archiv der Klinik für Mund-, Kiefer- und plastische Gesichtschirurgie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Hermes, M., Lommen, J., Kübler, N.R., Lytvyniuk, I., Singh, D.D., Holtmann, H., *Advantages of the Additional use of Autologous Bone Substitute Materials at Major Sinus Lift Operations*, Ger Med J, 2018. **23**(2): p. 54-63

- Abbildung 10 **Abb. 10: Der Einfluss von Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapien**
Grafik erstellt mit Microsoft® Word für Mac Version 16.30 (19101301)
- Abbildung 11 **Abb. 11: Der Einfluss der verwendeten Augmentationsmaterialien**
Grafik erstellt mit Microsoft® Word für Mac Version 16.30 (19101301)
- Abbildung 12 **Abb. 12: Die Altersverteilung der Patienten**
Grafik erstellt mit Microsoft® Excel für Mac Version 16.17 (180909)
- Abbildung 13 **Abb. 13: Erfolgsraten für unperforierte und perforierte Membranen im Vergleich**
Grafik erstellt mit Microsoft® Excel für Mac Version 16.17 (180909)
- Abbildung 14 **Abb. 14: Deskriptive Analyse des Einflusses von Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapien auf den Erfolg von externen Sinusliftoperationen – unbestrahlte Patienten:**
Grafik erstellt mit Microsoft® Word für Mac Version 16.30 (19101301)
- Abbildung 15 **Abb. 15: Deskriptive Analyse des Einflusses von Perforationen der Schneiderschen Membran, Tabakkonsum und Strahlentherapien auf den Erfolg von externen Sinusliftoperationen – bestrahlte Patienten:**
Grafik erstellt mit Microsoft® Word für Mac Version 16.30 (19101301)

- Abbildung 16 **Abb. 16: Erfolgsraten der externen Sinuslifts und inserierten Implantate für gemischt autolog/xenogenes und vorwiegend xenogenes Augmentationsmaterial im Vergleich:**
Grafik erstellt mit Microsoft® Excel für Mac Version 16.17 (180909)
- Abbildung 17 **Abb. 17: Deskriptive Analyse des Einflusses der verwendeten Augmentationsmaterialien – unperforierte Membranen:**
Grafik erstellt mit Microsoft® Word für Mac Version 16.30 (19101301)
- Abbildung 18 **Abb. 18: Deskriptive Analyse des Einflusses der verwendeten Augmentationsmaterialien – perforierte Membranen:**
Grafik erstellt mit Microsoft® Word für Mac Version 16.30 (19101301)
- Abbildung 19 **Abb. 19: Der Einfluss der präoperativen Knochenhöhe**
Grafik erstellt mit Microsoft® Excel für Mac Version 16.17 (180909)

Danksagung

Besonderer Dank gilt an dieser Stelle all jenen in der Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie des Universitätsklinikums Düsseldorf, die diese Arbeit ermöglicht und teils tatkräftig unterstützt haben:

Allen voran ist hier Herr Prof. Dr. med. Dr. med. dent. N. R. Kübler als Ideengeber und Doktorvater dieser Arbeit zu nennen.

Zudem gilt besonderer Dank Herrn Dr. med. Dr. med. dent. D. D. Singh als Betreuer dieser Dissertation.

Darüber hinaus möchte ich insbesondere Herrn Dr. med. Dr. med. dent. H. Holtmann danken, der mir die Präsentation der Ergebnisse auf dem DGMKG-Kongress 2016 in Hamburg sowie die beiden Publikationen und dessen Veröffentlichungen ermöglicht und diese mit großem Eifer unterstützt hat.

Weiterer Dank gilt Frau B. Lautenbacher aus dem Kliniksekretariat, die die aufwändige Beschaffung der erforderlichen Akten und Untersuchungsdaten zur weiteren Bearbeitung organisiert und ermöglicht und somit wichtige, tatkräftige Unterstützung geleistet hat.

Ebenso danke ich Frau Dr. rer. nat. K. Berr, Herrn Dr. med. Dr. med. dent. C. Sproll und vor allem Herrn Dr. med. Dr. med. dent. J. Lommen, die mit ihrer Korrektur und ihren Anmerkungen und Ergänzungen einen wichtigen Beitrag zur Fertigstellung dieser Arbeit geleistet haben.

Zuletzt danke ich meiner Familie für die Unterstützung und das Verständnis für die Bemühungen um die Entstehung dieser Arbeit.