

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie

der Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Die horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie

- eine Augmentationstechnik für den extrem atrophen Kiefer -

Untersuchungen an einem größeren Patientenkollektiv

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnmedizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Heidi Bradatsch

aus Papenburg

2018

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. Karin Huth

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Daniel Edelhoff

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Dirk Nolte

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 15.05.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Augmentationstechniken	5
1.1.1	Sinuslift	5
1.1.1.1	Geschlossener Sinuslift	6
1.1.1.2	Offener Sinuslift	6
1.1.2	Onlay-Osteoplastik	7
1.1.3	Osteodistraktion	8
1.1.4	Bone-Splitting	8
1.1.5	Horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie	9
1.2	Augmentate	11
1.2.1	Autogene Knochentransplantate	11
1.2.2	Knochenersatzmaterialien	12
1.3	Membranen	13
1.4	Implantate	14
1.5	Fragestellung der Arbeit	15
2	Patienten und Methoden	16
2.1	Patientenkollektiv	16
2.2	Anzahl Operationen HGSO	18
2.3	Geräte, Hard- und Software	18
2.4	Klinisches Untersuchungsprotokoll	19
2.5	Methoden	22
2.5.1	Datenerfassung	22
2.5.2	Röntgenologische Auswertung am Orthopantomogramm	22
2.5.2.1	Kalibrierung	22
2.5.2.2	Vermessung der Knochenhöhen	23
2.6	Horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie (HGSO)	25

2.6.1	Indikation	25
2.6.2	OP-Technik - schematisch	27
2.6.3	Materialien	29
2.6.3.1	Knochenersatzmaterialien	29
2.6.3.2	Membranen	31
2.6.3.3	Implantatsysteme	32
2.6.4	OP-Technik - Patientenfall	.33
2.7	Statistik	37
3	Ergebnisse	38
3.1	Fallbeispiele	38
3.1.1	Patient 1	38
3.1.2	Patient 2	41
3.2	Röntgenologische Befunde	43
3.2.1	Knochenhöhe	43
3.2.1.1	Ausgangswerte	43
3.2.1.2	Knochengewinn versus Resorption	44
3.2.1.2.1	Oberkiefer	47
3.2.1.2.2	Unterkiefer	49
3.2.2	Knochenhöhen in Abhängigkeit von verwendeten Knochenersatzmaterialien (KEM)	51
3.3	Implantaterfolg	52
3.4	Komplikationen	56
4	Diskussion	58
4.1	Ergebnisse	58
4.1.1	Knochenhöhe Oberkiefer versus Unterkiefer	59
4.1.2	Knochenhöhen in Abhängigkeit vom Augmentat	60
4.1.3	Implantatverlust	61
4.1.4	Komplikationen	62

4.2	Augmentationstechniken	64
4.2.1	HGSO	64
4.2.2	Sinuslift	66
4.2.3	Onlay-Osteoplastik	68
4.2.4	Bone-Splitting	70
4.2.5	Distraktionsosteogenese	71
4.2.6	Kurzimplantate	73
4.2.7	Vergleich der Methoden	74
4.3	Limitationen der Studie	76
5	Zusammenfassung	78
6	Literatur	80
7	Tabellenverzeichnis	86
8	Abbildungsverzeichnis	89
9	Anhang	93
9.1	Übersicht der Patientenfälle	93
9.2	Statistische Tests	98
9.2.1	abhängiger T-Test	98
9.2.2	unabhängiger T-Test	101
10	Danksagung	103
11	Lebenslauf	104

1 Einleitung

Das Setzen von dentalen Implantaten ist eine etablierte Methode der festsitzenden prothetischen Versorgung zahnloser Kieferabschnitte. Durch die Extraktion der Zähne kommt es regelhaft zu einem Verlust des Knochens in Breite und Höhe (1). Im Falle eines extrem atrophierten Kieferkammes, der nach länger anhaltender Zahnlosigkeit entstehen kann, liegt oftmals keine ausreichende Knochenstärke für die stabile Verankerung von Implantaten mehr vor. Ein Knochenaufbau (Augmentation) in der vertikalen und gegebenenfalls horizontalen Dimension ist dann medizinisch notwendig, um Implantate stabil im lokalen und/oder aufgebauten Knochen verankern zu können (2). Man unterscheidet die einzeitige Implantation, bei der Knochenaufbau und Implantation in einer Sitzung erfolgen, von der zweizeitigen Implantation. Hier erfolgt zunächst der Knochenaufbau, nach einer Einheilzeit von circa drei bis sechs Monaten kann dann die Implantation stattfinden.

Die häufigsten chirurgischen Techniken des Knochenaufbaus im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich sind der geschlossene Sinuslift über einen krestalen Zugang nach Tatum (3) oder der offene Sinuslift im Oberkiefer über die laterale Antrotomie nach Boyne und James (4), die Onlay-Osteoplastik, die in sämtlichen Kieferbereichen Anwendung finden kann (5), die Osteodistraktion, modifiziert nach der erstmals von Ilizarov beschriebenen Technik (6-8), und das Bone-Splitting, anfänglich von Härle beschrieben und durch Einbringen von Knochenersatzmaterialien von Schettler modifiziert (9, 10). Eine Sonderform des Bone-Splittings, die vor allem auch bei hoch atrophen Kieferkämmen Anwendung findet und in allen Kieferbereichen anwendbar ist, stellt die in dieser Arbeit erstmals beschriebene horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie (HGSO) dar.

Als Knochenaufbaumaterialien kommen autologe Knochentransplantate, allogene, xenogene oder alloplastische Knochenersatzmaterialien oder eine Kombination von Materialien in Frage (11).

1.1 Augmentationstechniken

Ein Vergleich der oben erwähnten Augmentationstechniken im Hinblick auf Indikationsgebiet, klinische Eignung sowie Traumatisierungsgrad ist in Tabelle 1 dargestellt.

		Sinuslift	Onlay-	Osteo-	Bone	HGSO
		offen geschlossen	Osteoplastik	distraktion	Split	
geeignet für	OK	x x	x	x	x	x
	UK		x	x	x	x
Vorgehen	einzeitig	x x			x	
	zweizeitig	x x	x	x		x
Richtung der Augmentation	horizontal		x		x	x
	vertikal	x x	x	x		x
	nach oral		x	x		x
gering traumatisch für	Knochen	x			x	x
	Weich- gewebe	x			x	x

Tabelle 1 Indikationsstellung und Vergleich der verschiedenen Augmentationsmethoden (Sinuslift, Onlay-Osteoplastik, Bone-Splitting und HGSO).

1.1.1 Sinuslift

Die häufigste Augmentationsmethode im seitlichen Oberkiefer ist der Sinuslift. Dabei wird über einen intraoralen Zugang die Schleimhaut am Kieferhöhlenboden angehoben und ein Knochenaufbaumaterial in das entstandene Lumen eingebracht. So wird eine ausreichende vertikale Knochenstärke zur Insertion von Implantaten erzielt. Bis zu einer Knochenhöhe von 2 - 3 mm hat man die Möglichkeit des offenen und geschlossenen Sinuslifts (12). Das ursprüngliche Knochenangebot ist jedoch für den späteren Erfolg der Implantate von großer Bedeutung (13). Daher wird bei geringerer Knochenhöhe eher zum offenen Sinuslift geraten.

1.1.1.1 **Geschlossener Sinuslift**

Beim geschlossenen Sinuslift erfolgt die Augmentation von krestal auf dem Alveolarfortsatz über das Bohrloch des Implantats, welches anschließend direkt hineingesetzt wird. Mit Hilfe von Osteotomen wird die Schneidersche Membran stumpf vom Kieferhöhlenboden abgelöst und nach kranial angehoben. In den so geschaffenen Spalt kann das Knochenaufbaumaterial über das Bohrloch eingebracht werden. Bei ausreichender Primärstabilität kann das Implantat direkt, d. h. einzeitig, inseriert werden. Summers beschrieb diese Technik als einfach, voraussagbar und weniger traumatisch als das beim offenen Sinuslift der Fall ist (14-18), wo eine zusätzliche laterale Fensterung des fazialen Kieferknochens erfolgen muss.

Die vertikale Ausgangshöhe des Knochens ist wichtig für den späteren Erfolg der Implantation (13). Bei Restknochenhöhen geringer als 5 - 6 mm ist ein geschlossener Sinuslift noch möglich, sollte dann aber zweizeitig durchgeführt werden (12).

1.1.1.2 **Offener Sinuslift**

Der offene Sinuslift ist ein von Tatum entwickeltes und von Boyne und James modifiziertes Verfahren, welches anspruchsvoller ist als der transalveolare Zugang zur Kieferhöhle (3, 4). Die Methode erfordert einen Zugang von vestibulär. Lateral des Alveolarfortsatzes wird an der fazialen Kieferhöhlenwand mit rotierenden oder piezochirurgischen Instrumenten ein Knochenfenster geschaffen. Die Schleimhaut wird sorgfältig abpräpariert und der entstandene Knochendeckel dabei vorsichtig nach innen zur Kieferhöhle hin eingeschlagen, so dass dieser Knochendeckel die spätere endgültige Knochenhöhe festlegt. In den geschaffenen Spalt zwischen Knochendeckel und Restknochenhöhe kann das Knochenaufbaumaterial eingebracht werden. Die Schneidersche Membran kommt zur Kieferhöhle hin zu liegen und verhindert im Idealfall das Abrutschen des Augmentats nach medial in die Kieferhöhle hinein. Bei einer Knochenhöhe von mehr als 4 mm kann direkt implantiert werden, wenn die Primärstabilität des Implantats gewährleistet ist. Ansonsten ist eine Einheilzeit des Augmentats von 3 - 6 Monaten indiziert. Hauptkomplikation der Sinuslifttechniken ist die Perforation der Schneiderschen Membran.

1.1.2 Onlay-Osteoplastik

Bei einem Defizit an Knochenhöhe und -breite kann durch An- bzw. Auflagerung eines freien autologen Knochentransplantats der Knochenaufbau erfolgen.

Obwegeser, Schmid, Gerry und Clementschitsch führten dies bereits in den 1960ern mit Beckenkamm- oder Rippenknochen durch (9, 19). Heute wird der Knochenblock entweder extraoral (z.B. Beckenkamm, Tibia, Kalotte) oder intraoral (Kinn, aufsteigender Unterkieferast, Tuber maxillae) entnommen und nach entsprechender Anpassung im Augmentationsgebiet verschraubt (20). Es handelt dabei in der Regel um sogenannte freie, das heißt nicht vaskulär gestielte Techniken im Gegensatz zu den mikrovaskulär gestielten Transplantaten. Nachteilig sind hier die Entnahmemorbidität in der Spenderregion, die Einheilzeit von mindestens 6 Monaten und gegebenenfalls die Notwendigkeit eines zweiten Eingriffs zur Entfernung der Schrauben. Um die Entnahmemorbidität zu umgehen, können auch allogene Knochenblöcke aufgelagert werden (21). Eine Kombination mit einem Sinuslift ist im Oberkiefer möglich. Im Unterkiefer ist die Onlay-Osteoplastik dann indiziert, wenn eine Versorgung mit Implantaten aufgrund zu geringer Restknochenhöhe nicht anders möglich wäre. Durch die Auflagerung von Knochenblöcken kann eine größere Höhe an Knochen erreicht werden als bei anderen Techniken. Auch sehr niedrige Kieferkämme können mit der Onlay-Osteoplastik sowohl in horizontale als auch vertikale Richtung augmentiert werden. Die Schwierigkeiten dieser Technik liegen beim Wundverschluss, wobei es häufig zu Dehiszenzen aufgrund der Höhe des Aufbaus kommt, da das Weichgewebe unter Spannung steht und eine Wunddehiszenz mit erhöhtem Risiko zu erwarten ist und bei der nicht vorhersagbaren Resorption des transplantierten freien Knochentransplantats (22-24).

Als Modifizierung dieser Technik gibt es die Schalentechnik nach Khoury. Mittels Positionierungsschrauben statt Zugschrauben wird eine autogene Knochenschale aus der Crista zygomaticoalveolaris oder aus dem Kieferwinkel auf den Defekt aufgebracht und der entstehende Spalt mit Knochenersatzmaterial gefüllt (25, 26).

1.1.3 Osteodistraktion

Die Technik der Osteodistraktion beruht auf der Technik nach Ilizarov (6-8). Im Knochen wird chirurgisch ein künstlicher Frakturspalt geschaffen. Beide Knochenfragmente werden dann durch eine Dehnungsapparatur langsam voneinander entfernt, um die Knochenheilung und Knochenneubildung im Bruchspalt durch Osteoblasten anzuregen (7, 8). Dazu werden heute sowohl intraorale intraossäre als auch intraorale extraossäre (Fixateur externe) Instrumente benutzt. So ist es möglich, den Knochen um 0,5 bis 1,6 mm pro Tag zu dehnen und so insgesamt einen hohen Knochengewinn zu erzielen (27). Der Vorteil der Methode besteht in dem Erhalt des Weichgewebsmantels aus Haut und Muskel im Sinne einer sogenannten gestielten Technik, sodass durch die erhaltene Vaskularisation der Knochenfragmente die Gefahr von Infektionen deutlich reduziert werden kann. Die Methode des Fixateur externe ist insbesondere bei infizierter Wundheilung in der orthopädischen Traumatologie heute nicht mehr wegzudenken. Um den lokalen Knochen aufzubauen, stellt dies eine sehr effektive Methode dar. Eine Miniaturisierung des Distraktors sowie die Verwendung von piezochirurgischen Instrumenten erhöhen zudem den Erfolg bei der intraoralen Anwendung (28, 29). Die Methode ist technisch sehr anspruchsvoll. Allerdings kommt es auch hier gerne zu Komplikationen wie Entzündungen und Schmerzen durch die in der Mundhöhle liegende Apparatur (24, 27).

1.1.4 Bone-Splitting

(Splitosteotomie, früher auch: Sandwichplastik)

Das Bone-Splitting bezeichnet eine sogenannte Knochenspreizung, die bei sehr schmalem horizontalem oder vertikalem Knochenangebot angewandt wird. Der Kieferkamm wird hier entweder von krestal (Verbreiterung) oder von bukkal (Erhöhung) in zwei Anteile gespalten. Implantate und Knochenersatzmaterial können einzeitig oder zweizeitig eingebracht werden. Damit ist es also möglich, den Kieferkamm entweder in vertikale oder in horizontale Richtung zu erweitern.

Härle beschrieb 1975 die sogenannte Visier-Osteotomie. Hierbei handelt es sich um eine Osteoplastik, bei der nach einer Inzision auf dem Alveolarkamm und Darstellung der Nervi mentales an den Foramina des Unterkiefers in vertikaler Richtung gespalten und der Knochen visierartig nach koronal verschoben und dort fixiert wird (9).

Modifiziert wurde diese Technik durch das Einbringen von autogenem spongiösem Knochen - daher stammt der Name "Sandwichtechnik", bei der es sich um eine sogenannte Einlagerungsplastik handelt. Schettler hat als erster zur Vermeidung der Nachteile einer freien Knochentransplantation mit den damals schon bekannten Folgen einer Resorption homologen Knorpel in den Bruchspalt eingelagert. Dies erfolgte interforaminär nach horizontaler Spaltung des anterioren Unterkiefers (10).

Notwendig ist dabei das Durchtrennen des palatalen bzw. lingualen kortikalen Knochens (27). Das Splitting oder die Expansion des Kieferkamms sind technisch schwierig und in den Händen von Anfängern mit einer höheren Komplikationsrate und einem geringeren Betrag an augmentiertem Knochen verbunden (24). Hauptkomplikation des Bone-Splittings ist die Fraktur der bukkalen Lamelle, da vor allem der mandibuläre Knochen wegen der dickeren Kortikalis fester und somit weniger flexibel ist (27, 30).

1.1.5 Horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie

Eine Weiterentwicklung der Sandwichplastik zum Wiederaufbau stark atropher Kiefer ist die in der MKG-Praxisklinik München weiterentwickelte horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie (HGSO). Sie stellt eine Augmentationsmethode dar, mit welcher extrem schwierige Situationen mit deutlich eingeschränkter Kieferhöhe und -breite zuverlässig versorgt werden können. Im Gegensatz zum Bone-Splitting nach Härle unterscheidet sich die Methode wesentlich durch die weichgewebige Stielung, d.h. Belassen des Mukoperiostlappens an den gesplitteten Knochenteilen durch tunnelierende Präparation. Fuchs wendet diese Technik bei der sogenannten "Garagentordistraktion" als modifizierte Kallusdistraktion in ähnlicher Weise an. Durch das Belassen des Periosts auf der lingualen Kortikalis erhält er einen gestielten Knochendeckel und bewahrt somit die physiologischen Strukturen sowie die Vaskularisation des Knochens (28). Biologisch kommt die HGSO daher der Osteodistraktionstechnik am nächsten mit dem Unterschied, dass die Knochendehnung nicht schrittweise über die Zeit, sondern sofort und komplett erfolgt. Dem Patienten werden dadurch das Tragen der unerfreulichen Geräte intra- oder extraoral erspart. Auf diese Weise liegen gut durchblutete Knochensegmente vor, sodass auf die Transplantation von autolog entnommenem Knochen in der Regel verzichtet werden kann und ähnlich wie beim Sinuslift allogene, xenogene oder alloplastische Knochenersatzmaterialien zur Anwendung kommen können. Der Grund hierfür liegt in der besseren Trophik des Knochenlagers, denn durch eine ausreichende

Durchblutung kann die Ernährung des Transplantats durch Diffusion schneller gewährleistet werden und die Gefahr infektiöser Komplikationen deutlich reduziert werden (31). Durch die Stielung der Knochenteile wird außerdem deren Resorption bis hin zur Knochennekrose reduziert (32). Auf diese Weise kann dem Patienten ein Zweiteingriff zur Knochenentnahme im Gegensatz zu den "gröberen", nicht gestielten Bonesplittechniken erspart werden.

Insbesondere bei schwerwiegenden Resorptionen des seitlichen Oberkiefers mit erheblicher Reduktion der vertikalen Bisshöhe stellt diese Methode gegenüber den Sinuslifttechniken einen Vorteil dar, da die Methode die ursprüngliche vertikale Bisshöhe anatomisch wiederherstellt, was durch einen alleinigen Sinuslift funktionell nicht möglich ist. Damit werden günstigere Kronen-Wurzelverhältnisse der Implantate erreicht, was wiederum die Hebelverhältnisse auf die Implantate verbessert. Es resultieren somit eine geringere Traumatisierung der Kieferhöhle sowie eine anatomisch gerechte Rekonstruktion der posterioren Alveolarfortsatzhöhe. Dies bedeutet damit für die Patienten bei derartigen Indikationen einen klaren Vorteil gegenüber den häufiger angewandten Sinuslifttechniken.

Als Nachteil ist das zweizeitige Vorgehen von Augmentation und Implantation anzusehen, das aber zwingend ist und unter den hier gewählten klinischen Bedingungen einer extremen Knochenatrophie mit derzeit keiner anderen Augmentationstechnik einzeitig möglich ist. Grundsätzlich ist die HGSO in allen Kieferbereichen klinisch anwendbar.

1.2 Augmentate

Als Augmentat eignen sich Eigenknochen oder industriell hergestellte Knochenersatzmaterialien. Die Anforderungen an ein Augmentat sind gute Biokompatibilität, Volumenkonstanz und Stabilität. Es kann osteoinduktiv sein, d.h. knochenneubildend wirken, oder osteokonduktiv, das heißt lediglich als Leitschiene für vorhandenes Knochenwachstum fungieren. Osteoinduktivität ist die Fähigkeit eines Materials, durch Verwendung von geeigneten Wachstumsfaktoren (33) die lokale Knochenneubildung aktiv anzuregen (34, 35). Ein osteokonduktives Knochenersatzmaterial sollte in der Lage sein, eine geeignete Leitschiene für die Knochenbildung darzustellen, damit entlang dieses Gerüstes neue Knochenzellen und einsprießende Kapillaren leicht vom umliegenden Gewebe in die dreidimensionale Struktur einwachsen können (34, 36).

Auch das Transplantatlager ist entscheidend. Je besser der Vaskularisationsgrad des Knochens im Transplantatlager ist, desto besser kann eine Versorgung mit Sauerstoff und Nährstoffen erfolgen, was wiederum den Heilungsprozess und die Umbaurate des Knochens positiv unterstützt (37, 38). Dies ist bei der HGSO als besonders günstig zu erwarten, denn durch die weichgewebige Stielung von allen Seiten liegt rundum ein gut durchbluteter Knochen vor. Im schlecht vaskularisierten Knochen kommt es zu höheren Resorptionsraten des Transplantats mit Nekrosegefahr und erhöhtem Risiko einer Infektion, da Sauerstoff und Nährstoffe aus dem ortsständigen Knochen nicht ausreichend in die Mitte des Augmentats diffundieren können (37-39).

1.2.1 Autogene Knochentransplantate

Im Idealfall sollte Eigenknochen als Augmentat verwendet werden, um den atrophen Kieferkamm aufzubauen (40). Dieser kann in einem zweiten Operationsgebiet intraoral, z.B. an der Unterkiefersymphyse, am Tuber maxillae oder im Bereich des aufsteigenden Unterkieferastes, und in größerem Umfang extraoral beispielsweise vom Beckenknochen gewonnen werden. Nachteil für den Patienten ist der Aufwand eines Zweiteingriffs und damit die höhere Morbidität. Vorteil des autologen Knochentransplantats sind die hohe Biokompatibilität sowie seine osteoinduktiven wie auch osteokonduktiven Eigenschaften. Dem stehen jedoch die Limitation von Knochengewebe intraoraler Spendergebiete und die höhere Morbidität bei extraoralen Entnahmestellen entgegen (41).

1.2.2 Knochenersatzmaterialien

Es gibt ein breites Angebot an allogenem, xenogenem und alloplastischen Knochenersatzmaterialien, die heute eine gute Alternative zur Verwendung von Eigenknochen darstellen. Dem Patienten kann somit der Zweiteingriff der Knochenentnahme erspart werden (42). Knochenersatzmaterialien können humanen Ursprungs sein (allogen), tierischen Ursprungs (xenogen) oder aber auch vollständig synthetisch (alloplastisch) hergestellt werden (40, 43).

Allogene Knochenersatzmaterialien stammen von menschlichen Spenderknochen und besitzen osteokonduktive Wirkung. Die Herstellung ist aufgrund potentieller immunologischer Risiken strikt geregelt. Zur Gewinnung wird der Knochen aufbereitet (gefriergetrocknet, kryokonserviert, demineralisiert oder entmineralisiert), so dass eine Grundstruktur aus nativem Kollagen und Wachstumsfaktoren erhalten bleiben soll. Die Entnahmemorbidität im Vergleich zur Verwendung von Eigenknochen entfällt. Aufgrund ethischer Bedenken erfolgt der Einsatz in der Kieferchirurgie jedoch bislang nur zurückhaltend (44, 45).

Xenogene Knochenersatzmaterialien können biologisch aus natürlicher porciner, boviner oder equiner Spongiosa gewonnen werden. Dabei wird die organische Komponente entfernt. Alloplastische Knochenersatzmaterialien sind beispielsweise Hydroxylapatit, β -Tricalciumphosphat oder bioaktive Gläser (22). Die Partikel ähneln der inneren Struktur des natürlichen spongiösen Knochens (40). Zum Teil sind sie nur schwer resorbierbar, wodurch das Knochenersatzmaterial als stabiles Füllmaterial dient und eine Resorption des Knochens besser verhindert (46-48). Für den Umbau des Fremdmaterials ist eine ausreichende Vaskularisation entscheidend (49). Viele Knochenersatzmaterialien können in reiner Form oder als Gemisch mit Eigenknochen verwendet werden (50, 51). Allogene, xenogene und alloplastische Knochenersatzmaterialien gibt es je nach Bedarf in verschiedenen Darreichungsformen wie Granulat oder Blöcke.

Sinn der Anwendung von Knochenersatzmaterialien ist die vereinfachte Verfügbarkeit und Handhabung sowie der Verzicht auf den Zweiteingriff zur Gewinnung von autologem Knochen. Auch damit kann effektiv eine ausreichende Knochenstärke erzielt werden, um Implantate und Zahnersatz stabil verankern zu können.

1.3 Membranen

Zur Abdeckung des Augmentationsbereiches gibt es eine große Auswahl an resorbierbaren und nicht resorbierbaren Membranen. Diese dienen als Barriere und sollen ein zu schnelles Einsprießen von Weichgewebe in den Defekt sowie ein Verrutschen des Augmentats verhindern (45).

Resorbierbare Membranen können synthetisch aus Polylactiden und Polyglycolsäuren hergestellt sein oder tierischen Ursprungs aus Biopolymeren wie Kollagen gewonnen werden. Vorteile von resorbierbaren Membranen sind, dass sie nicht in einem zweiten Eingriff wieder entfernt werden müssen (52).

Durch die Verwendung von Membranen soll das augmentierte Volumen vor Abutschen gesichert und vor Perforation durch den bedeckenden Mukoperiostlappen gesichert werden (53). Nachteilig ist jedoch die Gefahr der Freilegung der Membran mit erhöhter Gefahr von Infektionen des Wundgebietes (24).

1.4 Implantate

Implantate werden in der Prothetik eingesetzt, um zuverlässig retinierten Zahnersatz herstellen zu können. Für eine erfolgreiche Implantation wird von Branemark und Mitarbeitern die Osseointegration angestrebt, was bedeutet, dass es auf lichtmikroskopischer Ebene zu einem direkten Kontakt zwischen dem vitalen Empfängerknochen und dem Implantat kommt (2).

Karoussis und Mitarbeiter formulierte Kriterien für einen Implantaterfolg. Zu diesen zählen das Fehlen von Mobilität und periimplantären Radioluzenzen, keine Taschensondierungstiefen größer als 6 mm und ein jährlicher Knochenverlust von weniger als 0,2 mm. Außerdem dürfen keine Periimplantitis oder subjektive Beeinträchtigungen wie Schmerzen, Fremdkörpergefühl und Taubheit vorliegen (54).

Das Material der Wahl ist aufgrund seiner guten Bioverträglichkeit Titan. Voraussetzung für eine sichere Osseointegration sind gute Knochenverhältnisse und eine schonende Insertion der Implantate mit geringem chirurgischem Trauma des Knochens. Eine Einheilzeit von 3 - 4 Monaten ohne prothetische Belastung ist förderlich, da schon kleinste Bewegungen die Osseointegration behindern können (55).

Die Implantatoberflächen wurden stetig weiterentwickelt und modifiziert. Das Erfolgsniveau ist bei Titanimplantaten dadurch sehr hoch. Am wichtigsten ist es jedoch, dass die chirurgischen Grundsätze beachtet werden. Dann haben Implantatdesign und auch die Art des Augmentationsmaterials für den späteren Erfolg nur eine untergeordnete Bedeutung (56-58).

Zur Beurteilung einer Implantation werden die Überlebensrate und der Implantaterfolg herangezogen. Die Überlebensrate von Implantaten wird definiert als das Vorhandensein des Implantats und der befestigten Prothetik im Mund unabhängig von biologischen oder technischen Komplikationen. Der Implantaterfolg nach den Kriterien von Karoussis hingegen berücksichtigt zudem Faktoren wie Taschensondierungstiefen, Periimplantitiszeichen, knöcherne Heilung während des gesamten Untersuchungszeitraumes und stellt damit den härteren Untersuchungsparameter dar (59, 60).

1.5 Fragestellung der Arbeit

Die HGSO stellt eine neue modifizierte OP-Technik zum Aufbau des (extrem) atrophierten Kiefers dar und soll in dieser Arbeit detailliert vorgestellt werden.

Die folgenden Fragen sollten dabei beantwortet werden:

- Ist die HGSO eine geeignete und zuverlässige Augmentationstechnik?
- Bietet die HGSO eine ausreichend hohe Sicherheit für den Patienten?
- Hat die HGSO aufgrund ihrer minimalinvasiven Vorgehensweise möglicherweise eine höhere Erfolgsrate im Hinblick auf die Augmentation und die Implantation im Vergleich zu den bekannten Techniken zur Folge?
- Ist die HGSO gegenüber den anderen Augmentationstechniken möglicherweise sogar überlegen ist, da sie auch dann noch zur Anwendung kommen kann, wenn andere Techniken aufgrund der extremen Knochensituation nicht mehr durchführbar sind?
- Wie ist die Morbidität der Patienten postoperativ?

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie werden im folgenden an einem größeren Patientenkollektiv von 29 Patienten über einen durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 3 Jahren erstmals vorgestellt.

2 Patienten und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Die Patientenauswahl für die Studie erfolgte in der Praxisklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie Lisenmann und Nolte in München - Großhadern. In das Patientenkollektiv wurden alle Personen einbezogen, bei denen im Zeitraum von Februar 2007 bis Juli 2013 die horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie (HGSO) durchgeführt worden ist. Sämtliche Eingriffe erfolgten in der Praxisklinik.

Entscheidungskriterien für die Operation waren der stark atrophierte, teilbezahlte Kieferkamm, bei welchem das Knochenangebot für eine einzeitige Implantation nicht ausreichend war (< 3 mm) oder bei der ein Sinusliftverfahren wegen des erheblichen vertikalen Knochendefizites aus klinischer Sicht nicht indiziert war (12). Damit findet diese Technik auch noch Anwendung, wenn andere Techniken nicht mehr möglich sind. Sie erweitert damit insgesamt das Spektrum der präimplantologischen Chirurgie.

Insgesamt erfolgten Untersuchungen zu sieben festgelegten Zeitpunkten im Rahmen der üblichen klinischen und radiologischen Nachkontrollen nach Augmentation und Implantation. Die Sammlung der Datensätze fand in den Jahren 2013 bis 2015 in der Praxis mit einer einmaligen klinischen Nachuntersuchung am letzten Untersuchungszeitpunkt statt.

Das Patientenkollektiv umfasst 29 Patienten ($N = 14$ ♂, $N = 15$ ♀) bei einem Durchschnittsalter von $55,4 \pm 10,0$ Jahren ($\text{♂ } 57,4 \pm 11,3$ Jahre, $\text{♀ } 53,6 \pm 8,6$ Jahre) zum Zeitpunkt der OP. Die Verteilung der Altersgruppen ist in Abbildung 1 dargestellt.

Altersverteilung

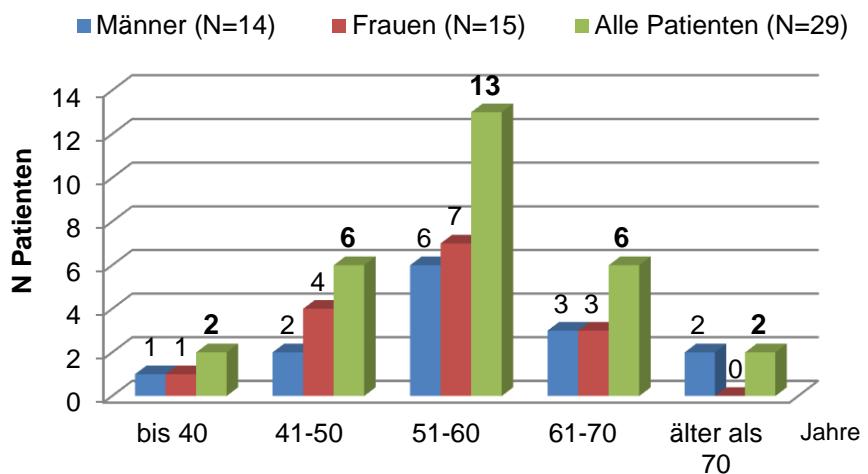


Abbildung 1 Altersverteilung des Patientenkollektivs. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei $55,4 \pm 10,0$ Jahren.

Die Anzahl der Patienten wird im Folgenden mit "N" gekennzeichnet, die Anzahl der durchgeführten OPs mit "n". Es können also in einem Patienten mehrere Kieferseiten behandelt worden sein (bis zu 4 Quadranten).

2.2 Anzahl Operationen HGSO

Die horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie (HGSO) wurde an 29 Patienten insgesamt 34 Mal durchgeführt. An drei Patienten wurden jeweils zwei Eingriffe in unterschiedlichen Quadranten vorgenommen, eine Patientin wurde in drei Quadranten mit der HGSO behandelt.

Tabelle 2 fasst die geschlechtsspezifische Verteilung der HGSOs zusammen. Bei vier Patienten wurde die spätere Implantation vom überweisenden Zahnarzt durchgeführt. In diesen Fällen wurde der Knochengewinn nach Augmentation gemessen. Der Erfolg der Implantation sowie der Langzeitverlauf liegen nicht vor, da diese Patienten für weitere Nachuntersuchungen vom Zahnarzt nicht wieder zur Verfügung gestellt worden sind.

	N	%	n HGSO	%	n Implantate	%
Männlich	14	48,3	15	44,1	33	41,8
Weiblich	15	51,7	19	55,9	46	58,2
Gesamt	29	100	34	100	79	100

Tabelle 2 Anzahl der HGSO-Eingriffe und Implantatsetzungen beim Patientenkollektiv (N = Anzahl der Patienten; HGSO = Horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie; n = Anzahl).

2.3 Geräte, Hard- und Software

Die radiologische Untersuchung erfolgte mittels Panoramaschichtaufnahmen (OPG), die mit dem Röntgengerät Orthophos (Sirona, Bensheim, Deutschland) erstellt worden sind. Die Analyse der digitalen Aufnahmen erfolgte über das Programm Sidexis (Sirona, Bensheim, Deutschland).

Für detaillierte Informationen zu den Patienten und Eingriffen wurde die Praxisverwaltungssoftware Evident (Evident, Bad Kreuznach, Deutschland) verwendet.

2.4 Klinisches Untersuchungsprotokoll

Die insgesamt 29 Patienten wurden an bis zu sieben verschiedenen Zeitpunkten klinisch und radiologisch nachuntersucht. Abbildung 2 fasst den zeitlichen Ablauf der jeweiligen Maßnahmen zusammen.

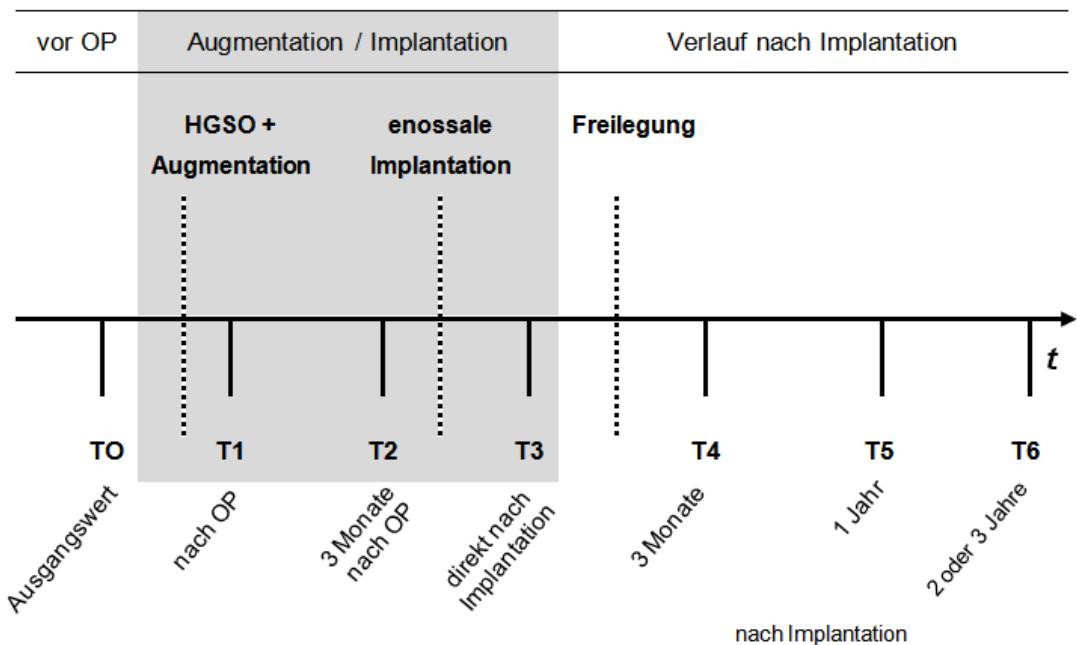


Abbildung 2 Klinisches Untersuchungsprotokoll. Die klinischen und röntgenologischen Untersuchungsparameter wurden zu den angegebenen Zeitpunkten (T0, T1, ...T6) erhoben. Nähere Details siehe Text.

Präoperativ erfolgte zunächst eine eingehende Untersuchung mit Befunderhebung (T0), nach welcher dann die Indikation zu dem HGSO-Eingriff gestellt wurde oder nicht (T1). Es erfolgten nach drei Monaten eine erneute klinische und radiographische Kontrolle (T2) nach erfolgter HGSO beziehungsweise vor der geplanten Implantatinsertion. T3 beschreibt die Kontrolle direkt nach Implantation.

Die Implantate wurden nach drei weiteren Monaten freigelegt und im Anschluss daran wurde das Kontrollröntgenbild gemacht (T4). In dieser Zeit sollten die Implantatkörper keinen mechanischen Belastungen ausgesetzt sein, damit die Osseointegration der Implantate gewährleistet werden konnte (61). Im Rahmen der jährlichen Implantatkontrollen wurde der Behandlungserfolg in jährlichen Abständen überprüft (T5, T6).

Alle Patienten wurden bis 1 Jahr nach der Implantation nachuntersucht. Es liegen jedoch nicht bei jedem Patienten Daten bis zum Zeitpunkt T6 vor. Die Patienten, die

alio loco versorgt worden sind (n = 5) und im Rahmen der Nachuntersuchung nicht mehr zur Verfügung standen, fehlen als Daten bei der Implantatauswertung.

An 29 Patienten wurden 34 HGSOs (♂ n = 15, ♀ n = 19) durchgeführt und 79 Implantate (OK: n = 45, UK: n = 34) gesetzt.

Abbildung 3 fasst die Lokalisation des Eingriffs und die Verteilung der Implantate auf die vier Quadranten in Form des Zahnschemas (18 bis 48) zusammen.

I. Quadranten											II. Quadranten							Gesamt		
n HGSO		11 (32%)									10 (29%)							21	61%	
n Implantate		24 (30%)									21 (27%)							45	57%	
Zahnschema	3	7	4	4	1	2	3			1	2	6	8	3	1			79	100 %	
	18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28				
	48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38				
n Implantate		15 (19%)									19 (24%)							34	43%	
n HGSO		5 (15%)									8 (24%)							13	39%	
IV. Quadranten											III.									

Abbildung 3 Lokalisation und prozentuale Verteilung der HGSO-Eingriffe und Implantate auf die vier Quadranten im Zahnschema.

Es erfolgten insgesamt 31 HGSO-Operationen im Seitenzahngebiet (im I. Quadranten n = 9, II. Quadranten n = 10, III. Quadranten n = 7, IV. Quadranten n = 5) und nur drei im anterioren Kieferbereich (OK-Front n = 2, UK-Front n = 1). Die implantatprothetische Versorgung in der Unterkieferfront konnte nicht nachverfolgt werden, da der Patient einer der nicht zur Verfügung stehenden Patienten war. Abbildung 4 stellt die unterschiedliche Lokalisation des Eingriffs im Kiefer der Patienten dar.

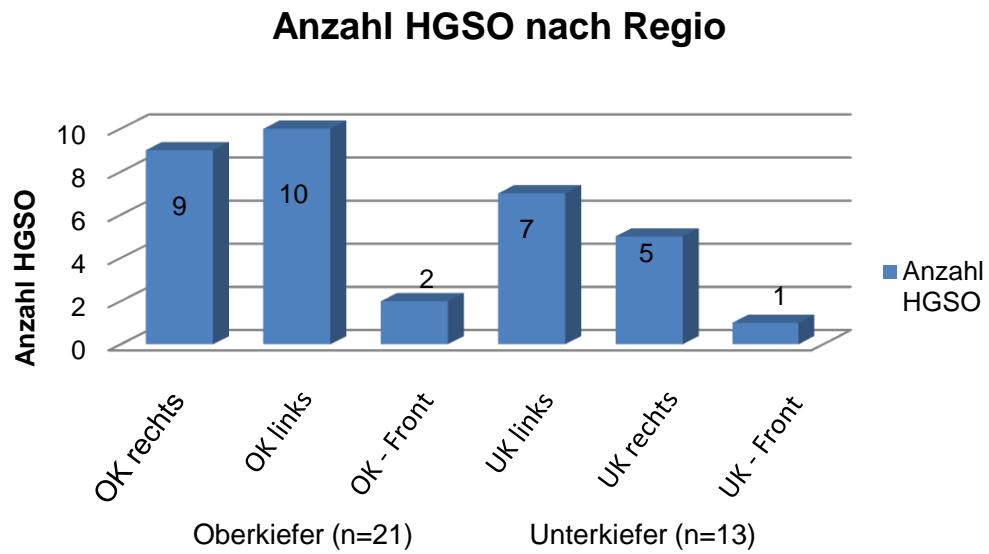


Abbildung 4 Lokalisation der Eingriffe im Kiefer der Patienten

Diese Daten zeigen, dass mehr Eingriffe im Oberkiefer ($n = 21$) als im Unterkiefer ($n = 13$) durchgeführt wurden. Insgesamt erfolgten deutlich mehr Operationen im Seitenzahngebiet ($n = 31$) und nur relativ selten in der OK- und UK-Front ($n = 3$). Das Seitenverhältnis ist jedoch ausgeglichen mit 9:10 Operationen rechts und links im Oberkiefer und 7:5 Operationen rechts und links im Unterkiefer.

Die Nachbeobachtungszeit ab der Implantation lag bei 2,3 Jahren. Insgesamt erstreckten sich die Untersuchungen ab dem Zeitpunkt des Eingriffs der HGSO im Durchschnitt auf über drei Jahre.

2.5 Methoden

2.5.1 Datenerfassung

Mit dem Verwaltungsprogramm Evident (Evident, Bad Kreuznach, Deutschland) wurden die allgemeinen Daten zu Alter, Geschlecht, Zeitpunkte der Untersuchung, Region und Anzahl von HGSO-Eingriffen und Implantaten, den verwendeten Implantatsystemen, Knochenaufbaumaterialien und Membranen sowie Komplikationen, Implantatverlusten und deren Gründen erfasst.

An jedem der definierten Untersuchungszeitpunkte (Abbildung 2) wurde eine Panoramaschichtaufnahme angefertigt. Diese wurden im Rahmen der Studie über den Nachbeobachtungszeitraum im Hinblick auf die Untersuchungsparameter für jeden Patienten nachverfolgt und miteinander verglichen. Zu den Untersuchungszeitpunkten nach HGSO (T1) und nach Implantation (T3), bei denen ein chirurgischer Eingriff erfolgte, wurden Komplikationen wie Schmerzen, Wundheilungsstörungen oder Parästhesien dokumentiert. Ab dem Zeitpunkt der Implantation (T3) wurde bei jeder Untersuchung ein möglicher Implantatverlust dokumentiert.

Nicht in allen Fällen waren zwei gesonderte Aufnahmen nach HGSO (T1) und vor Implantation (T2) sowie nach Implantation (T2) und vor Freilegung (T3) vorhanden.

2.5.2 Röntgenologische Auswertung am Orthopantomogramm

2.5.2.1 Kalibrierung

Zur genauen Analyse des Knochenverlaufs und für eine exakte Vergleichbarkeit der Orthopantomogramme wurden die digitalen Aufnahmen zuerst an die reale Größe angepasst. Um den Vergrößerungsfaktor von 1,25 der Panoramaschichtaufnahme auf die Realwerte auszugleichen, wurde im Programm Sidexis (Sirona, Bensheim, Deutschland) eine Länge von 12,5 mm eingestellt, welche dann über die Einstellung

"Längen anpassen" auf 10 mm festgelegt wurde. Die reale Länge ergibt sich somit durch die Formel

$$Länge_{Realität} [mm] = \frac{Länge_{OPG} [mm]}{1,25}.$$

Auf dieselbe Weise werden vom Chirurgen präoperativ die Messlängen des Knochens sowie der Implantate festgelegt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Aufnahmen eines einzelnen Patienten zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten sowie zur höheren Genauigkeit der Auswertung wurden zusätzlich in der Röntgenaufnahme gut sichtbare prothetische Versorgungen wie Kronen als Referenzpunkte mit einbezogen (vgl. Zahn 13 in Abbildung 5 in Abschnitt 2.5.2.2). Diese sind in der hier realen Größe konstant und wurden in den jeweiligen Folgeaufnahmen immer auf die gleiche Länge kalibriert.

Eingescannte OPGs von Hauszahnärzten wurden zum Teil für den Ausgangsbefund vor dem HGSO-Eingriff ausgewertet und vorher ebenfalls über markante prothetische Strukturen angepasst. Hierbei wurden zuerst die Längen der in der Praxis angefertigten digitalen OPGs angepasst, danach die realen Größen auf die auffälligen Strukturen der eingescannten OPGs übertragen.

2.5.2.2 Vermessung der Knochenhöhen

Die Vermessung der vertikalen Knochenhöhen und ein geringer marginaler Knochenabbau über die Zeit sind essentiell für den langfristigen Erfolg der Augmentation (23, 62). Es wurden im jeweiligen Augmentationsgebiet drei Messpunkte bestimmt - mesial, medial und distal (Abbildung 5). Um sicherzugehen, dass an den gleichen Punkten gemessen wird, wurden in jedem OPG an bestimmten großenkonstanten Strukturen an gleicher Stelle senkrechte Linien sowie die Mittellinie des OPGs markiert. Die Aufnahmen wurden dann anhand dieser Linien angeordnet. Damit waren die aufeinander folgenden Aufnahmen so positioniert, dass die unbezahnten Augmentationsgebiete exakt übereinander lagen und verglichen werden konnten.

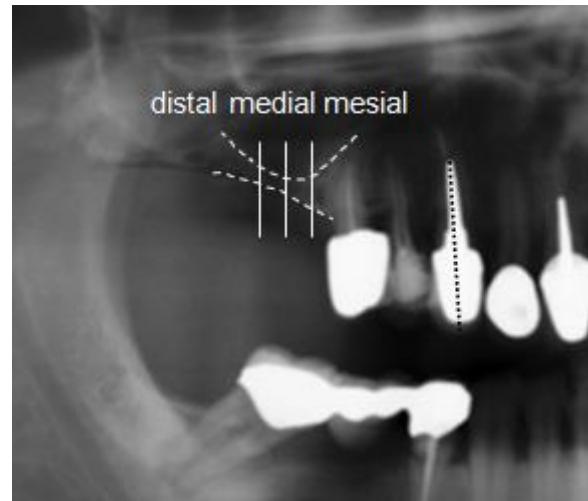


Abbildung 5 Auswertung des präoperativen OPGs: Lage der Messpunkte mesial, medial und distal. Beachte die gestrichelte Linie an 13 als wiederkehrende Referenzgröße. Man beachte die erhebliche Einschränkung der vertikalen Bisshöhe des Knochens an dem nach hinten oben verlaufenden Alveolarfortsatz (untere gestrichelte Linie). Die obere gestrichelte Linie markiert den Boden der Kieferhöhle.

Es wurden nun die Höhen des Alveolarknochens mesial, medial und distal als Längen von der krestalen Kompakta, d.h. den Kieferkammhöhe bildenden kortikalen Knochen, zum Kieferhöhlenboden im Oberkiefer bzw. im Unterkiefer zur inneren Kompakta des oberen Randes des Mandibularkanals im Unterkiefer vermessen. Referenzen in der Oberkieferfront waren die knöcherne Linie des Nasenbodens, in der Unterkieferfront sowie im distalen Kieferbereich der Abstand zu äußeren Unterkieferkompakta. Die Bestimmung der drei Positionen orientierte sich anhand der späteren Implantatposition.

2.6 Horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie (HGSO)

Durch die horizontale gefäßgestielte Split-Osteotomie ist eine Implantatinsertion auch im stark atrophierten Kiefer möglich (Restknochenhöhe 1 mm). Um ein schonendes Arbeiten zu gewährleisten, wird mit piezochirurgischen Instrumenten tunnelierend gearbeitet. In dem geschaffenen knöchernen Spalt (horizontaler Split) wird entweder mit xenogenem oder kombiniert autogen-xenogenem Knochenmaterial augmentiert. Zur Vermeidung des Abrutschens des Augmentats aus dem Osteotomiespalt wird eine Membran (BioGide, Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Schweiz oder Biomet3i, Biomet, Inc., Warsaw, IN, USA) über das Augmentationsgebiet aufgelegt. Die Implantation erfolgte nach einer Einheilzeit des Knochens von drei Monaten. Die Eingriffe wurden in Lokalanästhesie, Sedierung oder Narkose durchgeführt. Zur Behandlung von Schmerzen wurden die Patienten mit Ibuprofen versorgt. Eine antibiotische Prophylaxe mit Doxycyclin, Clindamycin oder Amoxicillin wurde für eine Woche verordnet.

2.6.1 Indikation

Bei einer Kombination aus vertikaler und horizontaler Atrophie ist die HGSO als Augmentationsplastik besonders geeignet und in allen Bereichen des Ober- und Unterkiefers anwendbar. Durch die Augmentationsrichtung nach vertikal unten kann die Atrophie im Oberkiefer und damit die ursprüngliche Biss Höhe wiederhergestellt werden (vgl. rote Linie in Abbildung 6).

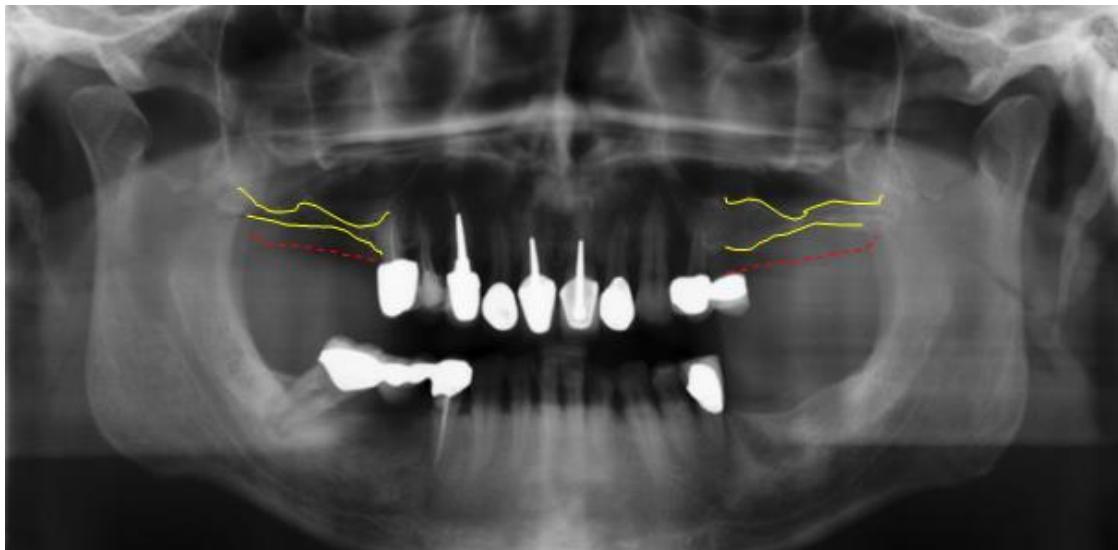


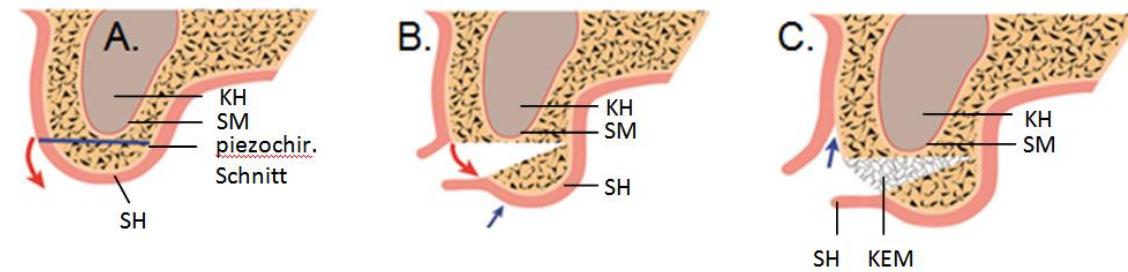
Abbildung 6 Indikationsstellung für HGSO - stark atrophiertes Oberkiefer beidseits mit gelben Linien dargestellt, Implantation ohne Augmentation nicht möglich. Der natürliche ideale Knochenverlauf ist als rote Linie gekennzeichnet, die Verluste in der Vertikalen werden deutlich. Ein Sinuslift wäre möglich, die Kronenlängen wären jedoch durch die vertikale Atrophie aufgrund der ungünstigen Implantatkronen- versus Implantatwurzel-Längenverhältnisse aus prothetischer Sicht problematisch.

Eine therapeutische Alternative stellt der Sinuslift im Oberkiefer dar. Durch die Augmentation nur in Richtung des Sinus maxillaris entstehen bei der späteren prothetischen Versorgung unzumutbare Implantatkronenlängen. Dies ergibt eine Kronen-Wurzel-Relation, mit welcher ungünstige Hebelwirkungen auf das Implantat vermieden werden können. Durch die Augmentationsrichtung der HGSO nach unten kann die Gestaltung der Implantatkronen den natürlichen Verhältnissen entsprechend angepasst werden. Im Unterkiefer bestehen als Alternativen vor allem die Auflagerungsplastik und die Distraktionsosteogenese.

Der geringste Abstand zur Kieferhöhle betrug bei den untersuchten Patienten 1,21 mm, zum Nervus alveolaris inferior 3,28 mm bei Eingriffen im Unterkiefer. Die HGSO ist folglich auch für sehr komplizierte Fälle geeignet und liefert eine an der anatomischen Form orientierte Rekonstruktion.

2.6.2 OP-Technik - schematisch

Die Implantation erfolgt immer zweizeitig. Zuerst wird der Kieferknochen mittels HGSO aufgebaut. Die Abbildung 7 und Abbildung 8 verdeutlichen die Vorgehensweise schematisch aus frontaler und sagittaler Sicht.



KH: Kieferhöhle
 SM: Schneidersche Membran
 SH: Schleimhaut

KEM: blaue Linie: Knochenersatzmaterial
 piezochirurgischer Schnitt

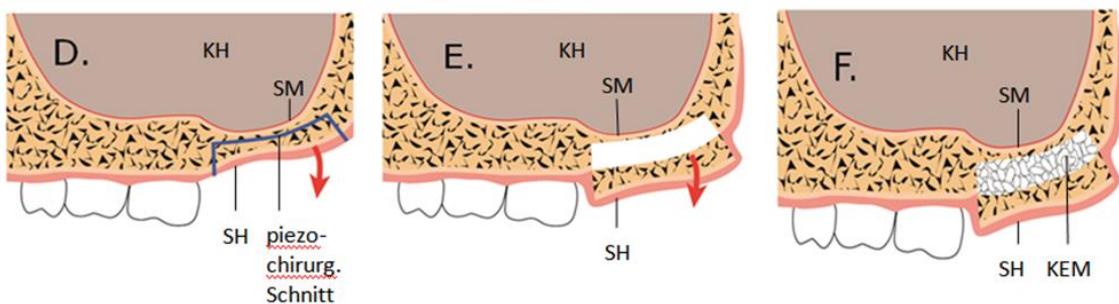
Abbildung 7 Schematische Darstellung der Operationstechnik der HGSO im Oberkiefer im Frontalschnitt (Quelle: Professoren Nolte und Ewers).

A: Horizontaler Split am Übergang von fester zu beweglicher Schleimhaut im Vestibulum.

B: Anheben des Knochendeckels und Mobilisierung nach inferior zur Verbesserung der vertikalen Höhe.

C: Interposition des Augmentats, gegebenenfalls leichte Mobilisierung der Schleimhaut und spannungsfreier Verschluss des Weichgewebes.

Die Schnittführung erfolgt über der mukogingivalen Grenze in der beweglichen Schleimhaut. Wie in den Skizzen A und D zu erkennen, wird im ersten Schritt die Osteotomie mit einem piezochirurgischen Instrument (Piezosurgery, Mectron S.p.A., Carasco, Italien) im Vestibulum auf Länge des zahnlosen Bereichs durchgeführt. Vorteile bei der Verwendung des piezochirurgischen Instruments sind die Möglichkeit der tunnelierenden Präparation und die damit minimal-invasive Vorgehensweise (29, 63). Wegen Erhitzungsgefahr ist ein besonders vorsichtiges Operieren mit ständiger Wasserkühlung indiziert (64). Die Osteotomielinie befindet sich dabei in horizontaler Richtung mit zwei vertikalen Entlastungsschnitten mesial und distal, dargestellt an der blauen Markierung in den Skizzen A und D.



KH: Kieferhöhle
 SM: Schneidersche Membran
 SH: Schleimhaut

KEM: Knochenersatzmaterial
 blaue Linie: piezochirurgischer Schnitt

Abbildung 8 Schematische Darstellung der Operationstechnik im Sagittalschnitt (Quelle: Professoren Nolte und Ewers)

D: Osteotomielinie (blau). Die Schnittführung liegt dabei hoch im Vestibulum.

E: Lösen des Knochendeckels und Mobilisierung nach inferior zur Verbesserung der vertikalen Höhe.

F: Interposition des Augmentats, gegebenenfalls leichte Mobilisierung der Schleimhaut und spannungsfreier Verschluss des Weichgewebes.

Die Schleimhaut wird nur minimal vom Knochen gelöst und der Knochendeckel mit dem Raspatorium in vertikaler Richtung angehoben (Skizzen B und E). In den knöchernen Spalt wird das Augmentat aus allogenem, alloplastischem oder kombiniert allogen/ autologe Material aufgebaut (C und F). Der Kieferknochen wird dadurch in der ursprünglichen Position vor knöcherner Atrophie fixiert. Während beim Sinusliftverfahren der Sinus nach kranial aufgefüllt wird, erfolgt bei dieser Technik die Augmentation derart, dass die vertikale Dimension anatomisch gerecht nach unten wiederhergestellt wird. Dies verbessert später Ästhetik und Funktion der Implantate. Insbesondere bleibt dadurch das spätere periimplantäre Weichgewebe (attached gingiva) unangetastet.

Eine Membran wird bei Bedarf aufgelegt, um das Einwachsen von Weichgewebe in das augmentierte Gebiet beziehungsweise ein Abrutschen des Augmentats unter den Mukoperiostlappen zu vermeiden. Anschließend erfolgt der Verschluss des Mukoperiostlappens, der aufgrund der paramarginalen Schnittführung nahezu immer spannungsfrei erfolgen kann. Der Knochen bleibt während der Operation nahezu vollständig vestibulär und palatinal gestielt, das spätere krestale Implantatlager bleibt dabei unversehrt. Nach einer Einheilzeit von drei Monaten können die Implantate gesetzt werden. Die Implantate werden den Anforderungen des jeweiligen

Implantatsystems entsprechend gesetzt. Die Freilegung und Versorgung der Implantate kann drei Monate später erfolgen.

2.6.3 Materialien

2.6.3.1 Knochenersatzmaterialien

Die bei der HGSO verwendeten Knochenaufbaumaterialien sind BioOss Kollagen (53 %), BioOss Block kombiniert mit BioOss Kollagen (17,6 %), Easygraft (17,6 %), Nanobone (6 %), Beckenkammstanze kombiniert mit BioOss Kollagen (2,9 %) und Vital Os Cement (2,9 %). Abbildung 9 zeigt deren prozentuale Verteilung.

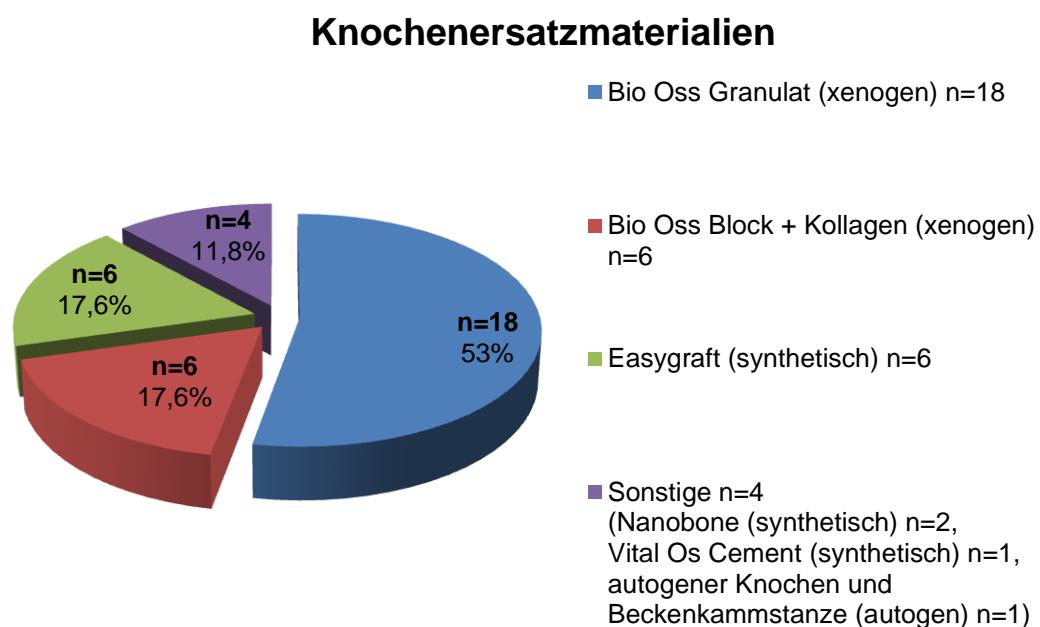


Abbildung 9 Prozentuale Verteilung der verwendeten Knochenersatzmaterialien als Interpositionsosteoplastiken bei HGSO (n = 34 HGSOs bei N = 29 Patienten).

Das xenogene BioOss Kollagen (Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Schweiz) besteht aus bovinem Hydroxylapatit, hergestellt aus boviner Spongiosa, und hat rein osteokonduktive Wirkung (40, 43). Die vollständige Resorption dauert 15 - 30 Monate, eine Stabilität ist jedoch aufgrund seiner guten biomechanischen Eigenschaften schon nach 3 - 4 Monaten Einheilzeit gegeben. Der BioOss Block besitzt die gleichen

Materialeigenschaften wie das BioOss Kollagen, das Indikationsgebiet ist jedoch auf Interpositionsplastiken beschränkt. Eine Kombination mit dem Kollagen und einer Membran werden laut Hersteller empfohlen.

Easygraft (Degradable Solutions AG, Schlieren, Schweiz) ist ein synthetisch hergestelltes β -Tricalciumphosphat (alloplastisch) und wird laut Hersteller innerhalb von 9 - 15 Monaten vollständig resorbiert. Zur Verarbeitung werden Kollagen und Linker direkt in der Spritze angemischt und dann verarbeitet. Es ist porös und hat osteokonduktive Wirkung.

Das Knochenersatzmaterial Nanobone (Artoss GmbH, Rostock, Deutschland) ist ein rein synthetisch (alloplastisch) hergestelltes, hochporöses nanokristallines Hydroxylapatit, welches in eine nanoporöse Siliziumdioxid-Xerogel Matrix eingebettet ist. Dem Hersteller zufolge verfügt es über sowohl osteokonduktive als auch osteoinduktive Eigenschaften. Der vollständige osteoklastäre Abbau erfolgt innerhalb von 12 Monaten. Von Vorteil sollen die hohen inneren Oberflächen sein. Zur Verarbeitung wird Nanobone entweder mit Patientenblut oder Kochsalzlösung angemischt.

2.6.3.2 Membranen

Die zur Stabilisierung des Augmentats verwendeten Membranen sind BioGide (59 %) und OsseoGuard (32 %). In drei Fällen (9 %) liegen keine weiteren Informationen zur eingesetzten Membran vor. Durch die Verwendung von Membranen soll das augmentierte Knochenvolumen mechanisch vor Verrutschen stabilisiert und die Perforation des augmentierten Materials zusätzlich verhindert werden (53).

BioGide ist xenogen und besteht aus porcinem Kollagen Typ I und III, hat eine BiLayer Struktur und ist vollständig resorbierbar, muss also nicht in einem Zweiteingriff entfernt werden (52). Sie dient als Leitschiene für die Knochenneubildung, gewährleistet aber trotzdem eine gute Versorgung mit Nährstoffen. Die Membran OsseoGuard ist eine resorbierbare bovine Kollagenmatrix-Membran und somit ebenfalls xenogen.

Die prozentualen Verteilungen sind in Abbildung 10 dargestellt. Bei den 34 HGSOs wurde in 20 Fällen die BioGide Membran und in 11 Fällen die OsseoGuard Membran verwendet.

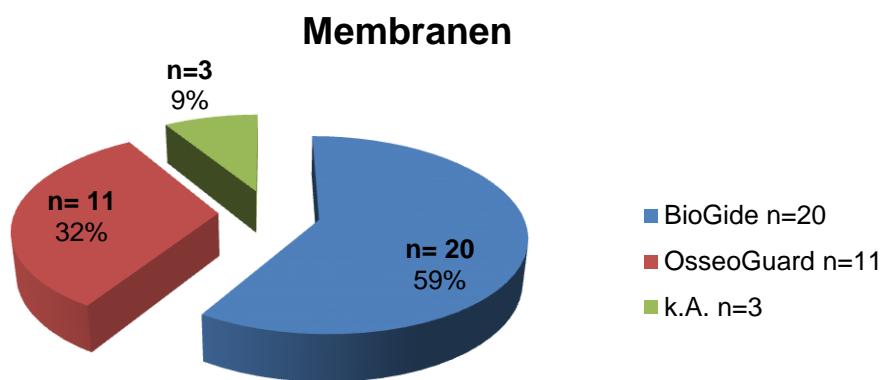


Abbildung 10 Prozentuale Verteilung der verwendeten Membranen zur Fixierung des Augmentats bei HGSO (n = 34 HGSOs bei N = 29 Patienten). (k.A. keine Angabe)

2.6.3.3 Implantatsysteme

Die verwendeten Implantatsysteme sind die Implantate der Firmen Straumann GmbH (Freiburg, Deutschland), Bego Semados (Bego GmbH & Co. KG, Bremen, Deutschland), Camlog (Camlog Vertriebs GmbH, Wimsheim, Deutschland) und das Implantatsystem Pitt Easy (Sybron Implant Solutions GmbH, Bremen, Deutschland).

Die prozentuale Verteilung ist in Abbildung 11 graphisch dargestellt. Dreiviertel der insgesamt 79 gesetzten Implantate sind mit n = 59 Implantaten von Straumann (75 %), n = 13 von Bego Semados (16 %), n = 4 von Camlog (5 %) und n = 3 von Pitt Easy (4 %).

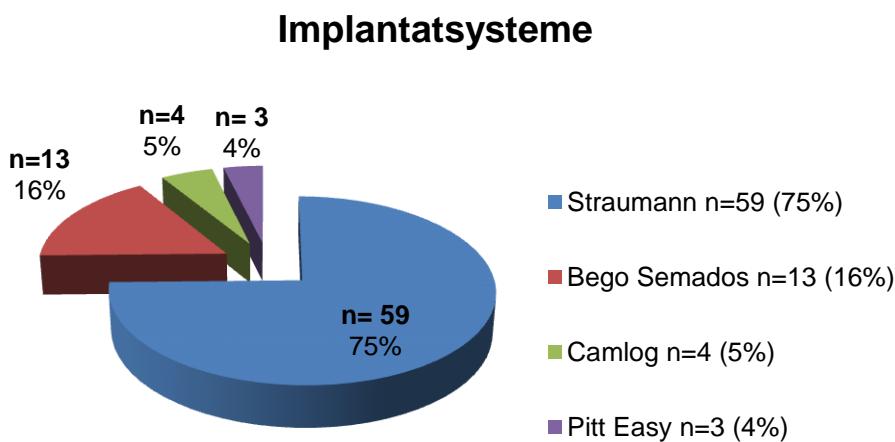


Abbildung 11 Prozentuale Verteilung der verwendeten Implantatsysteme (n = 79 Implantate bei N = 29 Patienten).

Alle verwendeten Implantate bestehen aus Titan. Es existiert eine große Anzahl von Unterschieden bezüglich Form, Oberfläche und Dimensionierung. Aufgrund der zu geringen Fallzahlen werden im Folgenden alle Implantate als eine Gruppe zusammengefasst. Das Einhalten der chirurgischen Grundsätze ist wichtiger als das Implantatdesign für den Erfolg der Osseointegration (56-58). Daher wurde diesem Punkt in der vorliegenden Studie eine geringe Bedeutung beigemessen.

2.6.4 OP-Technik - Patientenfall

In dem vorliegenden Patientenfall wird die Vorgehensweise der HGSO klinisch dargelegt:

Der Patient war zum Zeitpunkt des HGSO-Eingriffs 58 Jahre alt. Abbildung 12 zeigt die Ausgangssituation im 1. Quadranten. Die Restknochenhöhe beträgt hier maximal 1 mm. Die horizontale Osteotomielinie ist klinisch blau markiert.

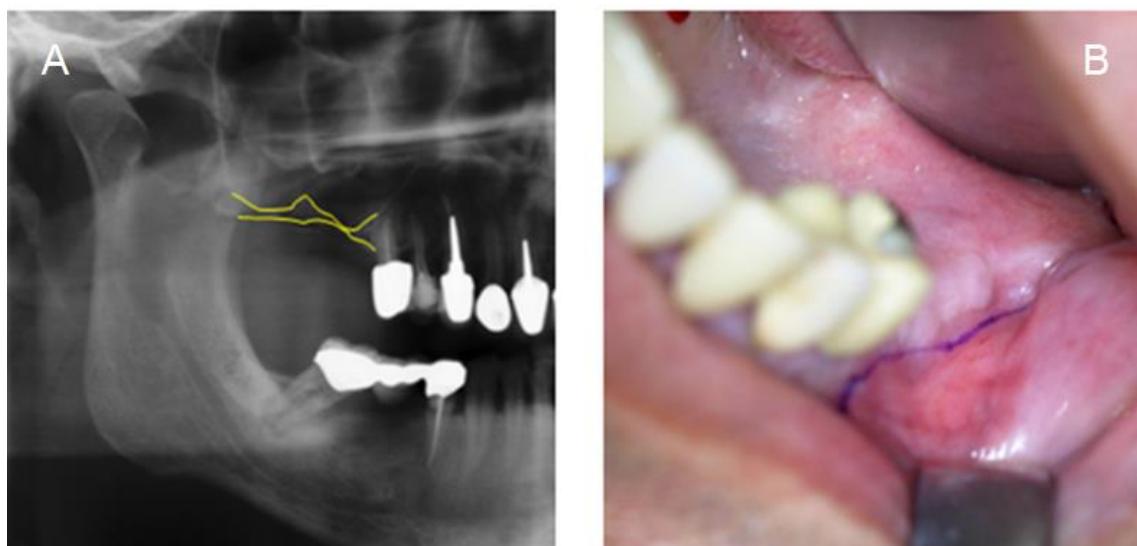


Abbildung 12 58-jähriger Patient: Röntgenologischer und klinischer Ausgangsbefund vor HGSO im 1. Quadranten. Restknochenhöhe von maximal 1 mm. Osteotomielinie klinisch in horizontaler Richtung markiert.

Das vertikale Defizit und somit der Verlust der Bisshöhe liegt bei 4 - 5 mm. Die Schnittführung erfolgt hoch im Vestibulum im Bereich der beweglichen Schleimhaut.

Die Schleimhaut wird nur geringgradig vom Knochen gelöst, sodass die piezochirurgische Osteotomie (Piezosurgery, Mectron S.p.A., Carasco, Italien) durchgeführt werden kann. Nach dem Split wird der gestielte Knochen mit dem Raspatorium vertikal angehoben (Abbildung 13 A). Der Knochen und die Schleimhaut werden gelöst und mit dem Raspatorium in vertikaler Richtung angehoben. Wie in Abbildung 13 zu erkennen, bleibt der Knochen während der HGSO vollständig vestibulär und palatal gestielt. Gut zu erkennen ist auch, dass das spätere krestale Implantatlager nicht verletzt wird (Abbildung 13 B).

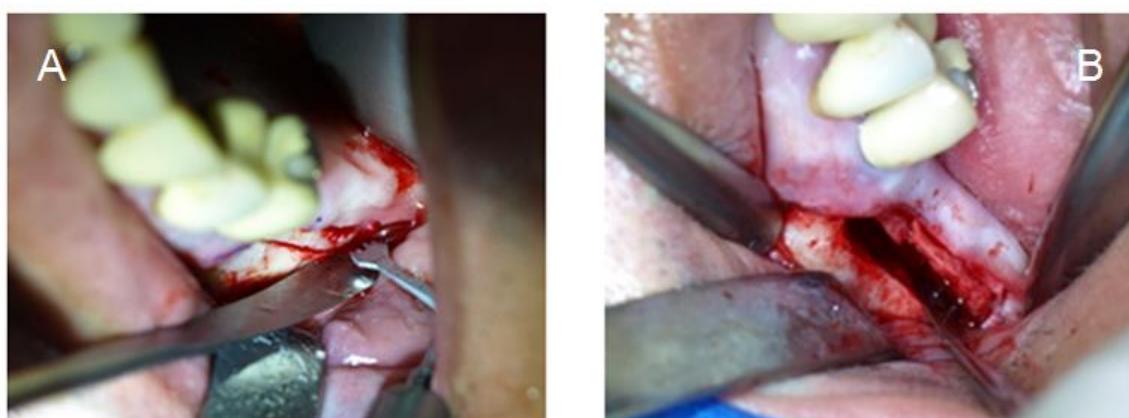


Abbildung 13 58-jähriger Patient: Klinische Situation der HGSO. Split des Kieferkammes (A) und Mobilisation von Knochen und Schleimhaut nach inferior (B). Die bukkale Knochenwand wird dadurch nicht geschwächt.

In den knöchernen Spalt wird BioOss Kollagen eingebracht (Abbildung 14 A) und zur Stabilisierung des Augmentats eine BioGide Membran aufgelegt (Abbildung 14 B).



Abbildung 14 58-jähriger Patient: Klinische Situation der HGSO. Einbringen von Knochenaufbaumaterial (BioOss Kollagen) (A) und Membran (BioGide) (B).

Im Anschluss wird das Operationsgebiet durch einen Mukoperiostlappen spannungsfrei verschlossen (Abbildung 15).



Abbildung 15 58-jähriger Patient: Klinische Situation der HGSO. Verschluss des Operationsfeldes durch Naht.

Abbildung 16 zeigt die röntgenologische Situation unmittelbar nach HGSO. Der Kieferkamm wurde im 1. Quadranten um durchschnittlich 7 mm Schichtstärke gleichmäßig augmentiert. Die Knochenhöhe betrug nach HGSO durchschnittlich 9 mm. In dieser Aufnahme zu erkennende Nebenbefunde sind die zwischenzeitlich extrahierten Zähne 13 und 47 sowie die erfolgte Wurzelfüllung des Zahnes 12. Es erfolgten Implantatsetzungen an 45 und 47.

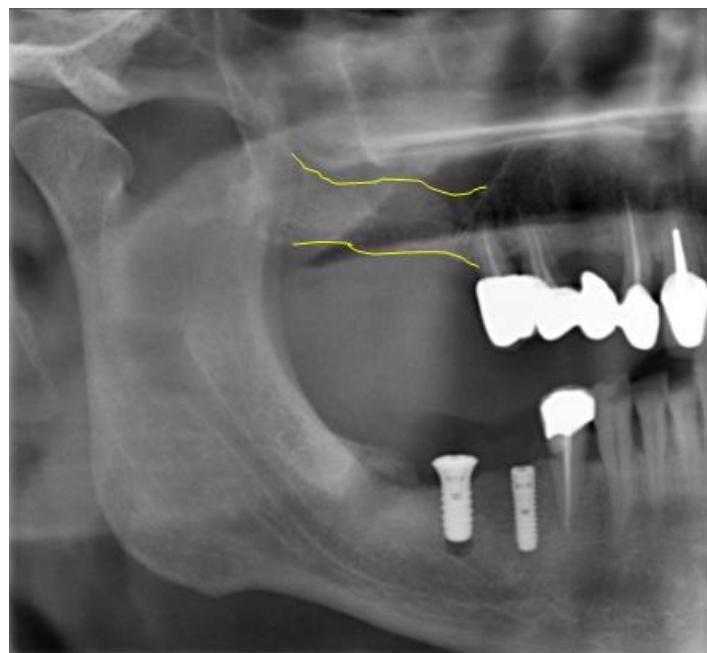


Abbildung 16 58-jähriger Patient: Zustand nach HGSO im 1. Quadranten; Nebenbefund: Z.n. Extraktion der Zähne 13 und 48 sowie Implantatsetzung an 45 und 47.

Nach dreimonatiger Einheilzeit erfolgte die Implantatinsertion. Es wurden zwei Implantate des Herstellers Straumann mit den Maßen 4,1x10 mm in den Regionen 16 und 17 gesetzt (Abbildung 17). Drei Monate später konnte die Freilegung und prothetische Versorgung erfolgen.

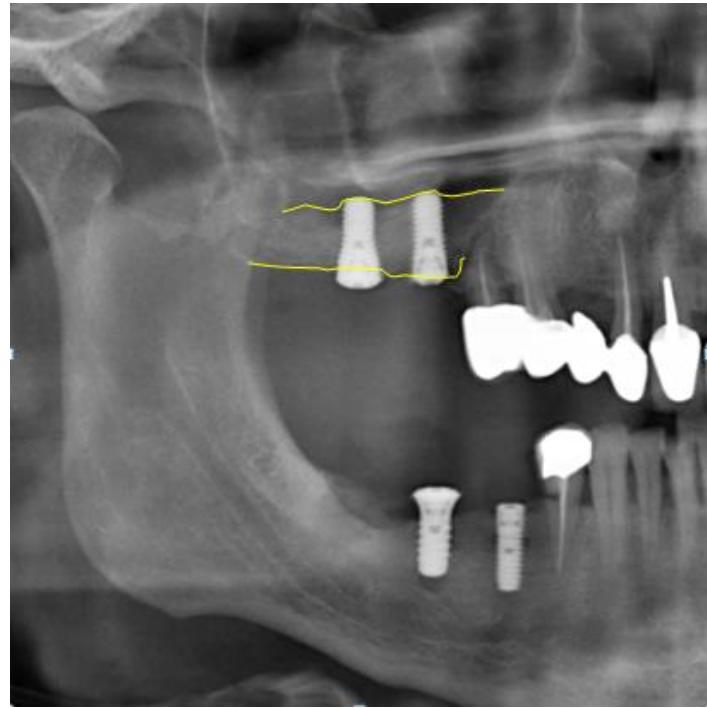


Abbildung 17 58-jähriger Patient: Zustand nach HGSO und Implantation im 1. Quadranten.

Auch 3,5 Jahre nach Implantation zeigt sich die Stabilität des vertikalen Knochenaufbaus um 8 mm im 1. Quadranten (Abbildung 18). Die Größe der Kronenversorgung entspricht auch hier der der natürlichen Zähne, es besteht ein günstiges Verhältnis der Kronenlängen zu den Wurzellängen (1:1), berücksichtigt man den Ausgangsbefund.



Abbildung 18 58-jähriger Patient - Zustand nach Implantation im 1. Quadranten vor 3,5 Jahren.

2.7 Statistik

Die statistische Analyse erfolgte mittels der Software IBM SPSS Statistics, Version 21 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Die grafische Darstellung wurde mit Microsoft Office (Microsoft Corp., Redmond, WA USA) realisiert.

Ermittelt wurden die absoluten (mm) und relativen (%) durchschnittlichen Knochenhöhen, die Entwicklung der Knochenhöhen zwischen den einzelnen definierten Zeitpunkten (T0 bis T6). Es wurden einzelne Gruppen stratifiziert nach Lokalisation im Oberkiefer und Unterkiefer sowie mesial, medial und distal. Mittelwerte und Standardabweichung der Implantatsysteme, Knochenaufbaumaterialien und deren Stabilität, Implantatverluste und Komplikationen wurden ermittelt und verglichen.

Zur Visualisierung der Lage und schnelleren Übersicht über die Streuung der Daten wurden Boxplots erstellt. Die Spannweite der Werte zwischen x_{min} und x_{max} verdeutlicht die Streuung der Werte. Der Median zerlegt die Liste der geordneten Werte in zwei Hälften. Da das arithmetische Mittel stark durch Ausreißerwerte beeinflusst wird, gibt der Median an unter bzw. über welcher Grenze 50 % der Werte liegen und hat so eine größere Aussagekraft.

Die Analyse der Veränderungen innerhalb der Versuchsgruppen Oberkiefer, Unterkiefer und Gesamt sowie mesial, medial und distal über die Zeit werden mit dem abhängigen T-Test, die Veränderungen zwischen den Versuchsgruppen zum jährlichen Untersuchungszeitpunkt mit dem unabhängigen T-Test berechnet. Zum Ausschluss einer Wiederholung von Messfehlern bei wiederholter Messung wurde die Bonferroni-Holm-Korrektur angewendet (65). Das globale Alpha-Niveau ist festgelegt bei 0,05. Die durch die Bonferroni-Holm-Prozedur ermittelten lokalen Alpha Niveaus, die das Vorliegen der statistischen Signifikanz bestimmen, sind den Tabellen A 2 bis A 12 im Anhang zu entnehmen.

Die voraussichtliche Langzeitüberlebensrate der Implantate wurde mittels Kaplan-Meier-Methode analysiert. Verloren gegangene und sofort ersetzte Implantate wurden als Verlust gewertet.

3 Ergebnisse

3.1 Fallbeispiele

3.1.1 Patient 1

Patient 1 war zum Zeitpunkt des Eingriffs 49 Jahre alt. Die HGSO erfolgte im 1. Quadranten in Regio 13 - 17. Präoperativ betrug die maximale Knochenhöhe 2 mm. Als Nebenbefund der Aufnahme ist eine ausgedehnte Mukozele in der rechten Kieferhöhle zu erkennen (Abbildung 19).

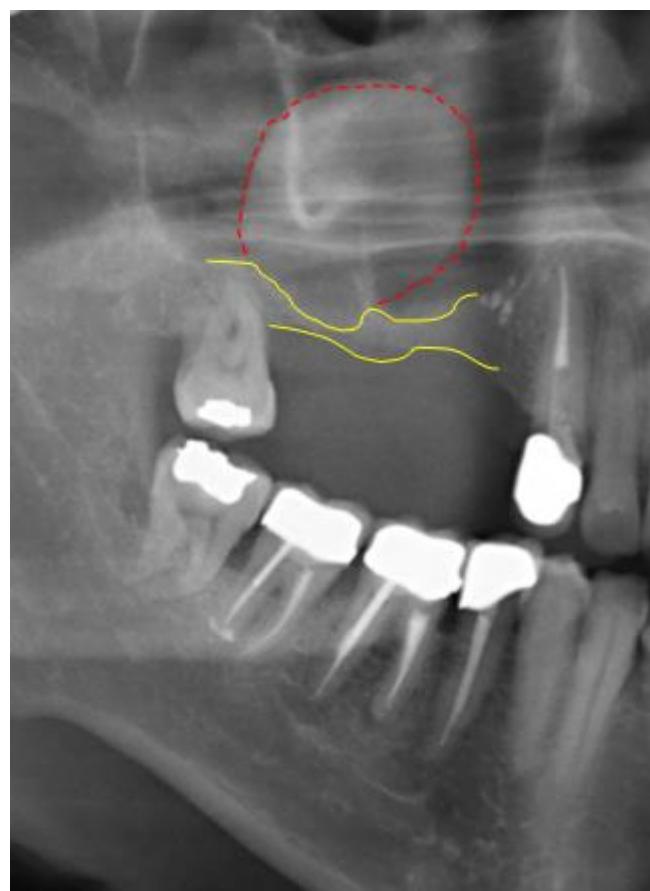


Abbildung 19 49-jähriger Patient: Ausgangsbefund, maximale Restknochenhöhe im 1. Quadranten 2 mm, Nebenbefunde: Begleitmukozele in der Kieferhöhle (gestrichelte rote Linie) sowie Restaugmentat (Cerasorb) Regio 13 distal alio loco eingebracht.

Die Entscheidung zur HGSO im Gegensatz zum Sinuslift wurde auch hier gestellt wegen der zu erwartenden extrem langen Kronenlängen auf den Implantaten.

Die Augmentation erfolgte mit einem BioOss-Block in Kombination mit BioOss Kollagen und einer BioGide Membran. Abbildung 20 stellt dar, dass nach HGSO eine durchschnittliche Knochenhöhe von 7 mm erreicht werden konnte. Die Mukozele im rechten Kieferhöhlenbereich wurde im Rahmen des Eingriffs entfernt. Postoperativ kam es zu einer Nachblutung nach Einnahme von ASS-100.

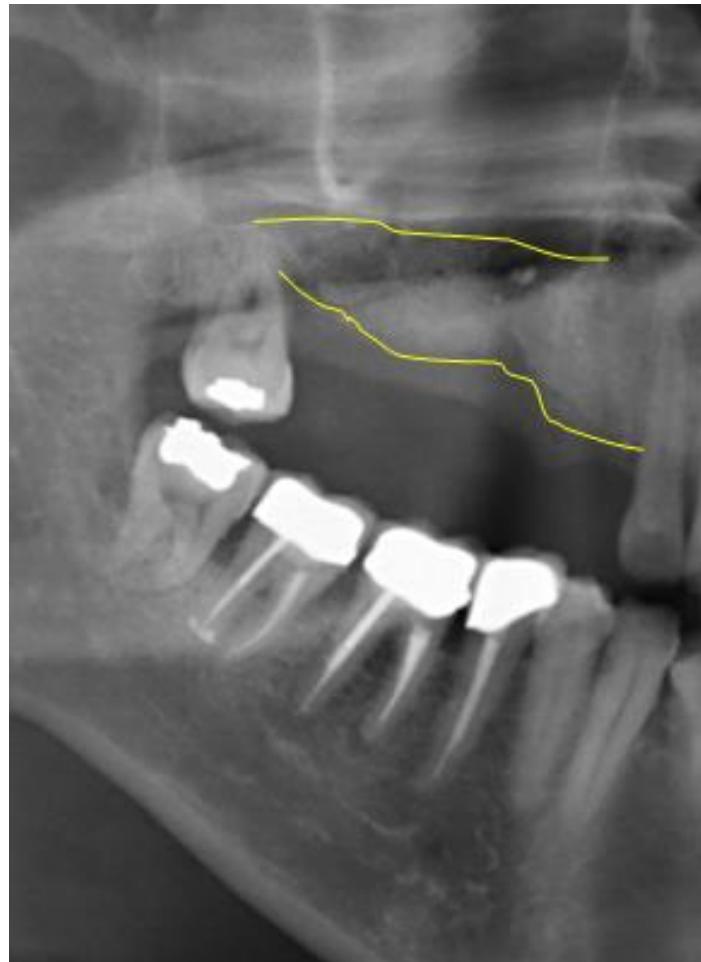


Abbildung 20 49-jähriger Patient: Zustand nach HGSO im 1. Quadranten, Z.n. Entfernung der Mukozele in der Kieferhöhle, Nebenbefund apikale Aufhellung 46.

Nach einer Einheilzeit von 3 Monaten erfolgte die Insertion von vier Straumann Implantaten mit den Ausmaßen drei Mal $4,1 \times 10$ mm und ein Mal $4,1 \times 12$ mm. Die Setzung der Implantate wurde bei dem Zweiteingriff der Implantation mit einem geschlossenen Sinusliftverfahren kombiniert, um so die Restknochenhöhe nach apikal zusätzlich noch einmal zu vergrößern. Abbildung 21 zeigt die Situation ein Jahr nach Implantation. Die Lokalisationen der vier Implantate und ihre prothetische Versorgung mit Kronen sind deutlich zu erkennen. Die Kronenlängen entsprechen in etwa denen der natürlichen Zähne, was durch die Verlagerung des Knochendeckels nach inferior im Sinne der gewünschten vertikalen Augmentation entsprechend der klinischen

Biss Höhe realisiert werden konnte. Es zeigt sich um die einzelnen Implantate ein diskreter krestaler Knocheneinbruch, der am ehesten auf den hohen Nikotinkonsum des Patienten zurückzuführen ist. Der Patient ist starker Raucher und wurde zudem von uns wiederholt auf eine Verbesserung seiner Mundhygiene hingewiesen. Dennoch lag zum Zeitpunkt 3 Jahre nach HGSO weiterhin eine durchschnittliche Knochenhöhe von 7 mm vor. Der Zahn 18 wurde zwischenzeitlich entfernt.

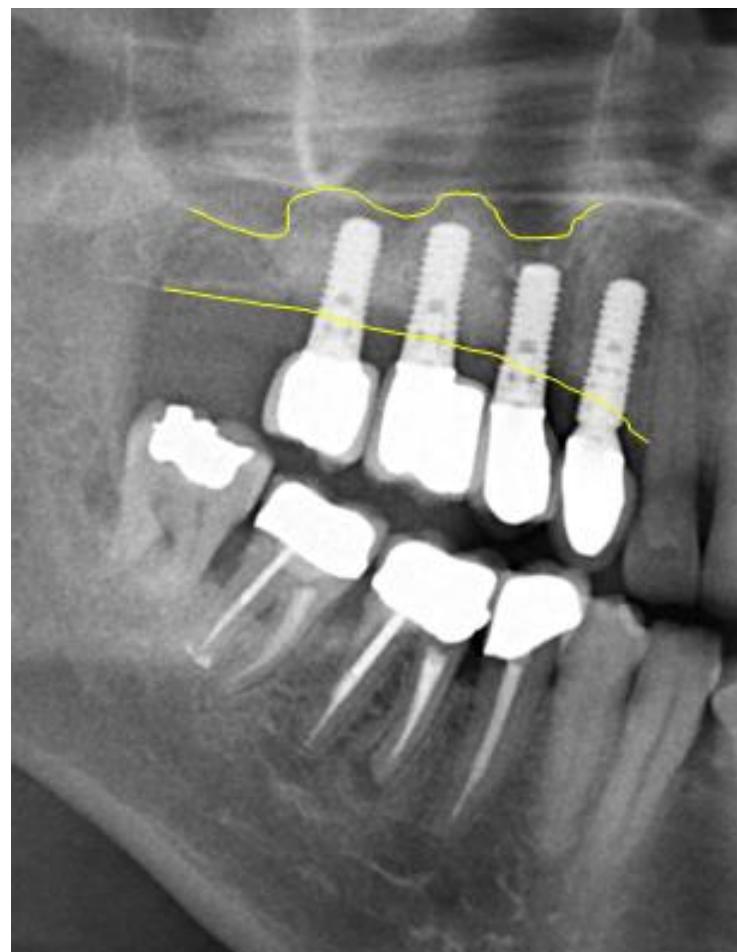


Abbildung 21 49-jähriger Patient: Zustand 1 Jahr nach Implantation und prothetischer Versorgung Regio 13, 14, 15 und 16, krestaler Knocheneinbruch um Implantate, am ehesten wegen starken Rauchens, Z.n. Extraktion 18, Nebenbefunde: apikale Aufhellung 46, Patient ist Raucher.

3.1.2 Patient 2

Bei der zum Zeitpunkt der HGSO 69-jährigen Patientin wurde im 4. Quadranten mit Easygraft und einer OsseoGuard Membran augmentiert. Präoperativ betrug der geringste Abstand zum Mandibularkanal maximal 3 mm (Abbildung 22). Als Nebenbefund ist eine periapikale Aufhellung an Zahn 44 zu erwähnen.

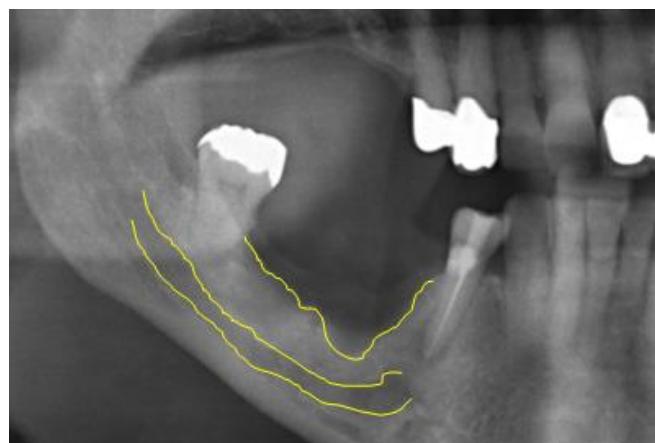


Abbildung 22 69-jährige Patientin: Präoperativer Befund.

Extremer Knocheneinbruch in der Schaltlücke im 4. Quadranten Regio 46 - 47, geringster Abstand zum Mandibularkanal maximal 3 mm, Nebenbefund: periapikale Aufhellung 44.

Nach HGSO konnte eine Knochenhöhe von durchschnittlich 11 mm und somit ein Knochengewinn von 8 mm erzielt werden. In Abbildung 23 ist die horizontale Osteotomielinie deutlich zu sehen. Zudem zeigt sich weiterhin die apikale Aufhellung an Zahn 44.

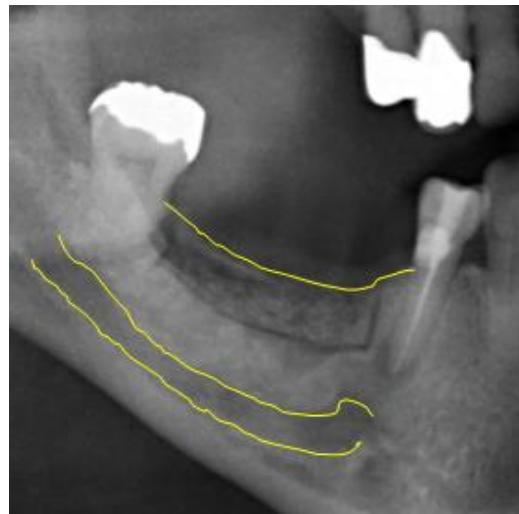


Abbildung 23 69-jährige Patientin: Zustand nach HGSO im 4. Quadranten, deutlich sichtbare Osteotomielinie, Nebenbefund apikale Aufhellung 44.

Abbildung 24 zeigt den Zustand drei Jahre nach HGSO. Zwei Implantate der Firma Straumann mit den Größen $4,8 \times 10$ mm und $4,1 \times 8$ mm wurden inseriert und mit einer Brücke versorgt. Ein ausreichender Abstand des Implantats Regio 45 zum Canalis mandibularis konnte durch die Augmentation so gewahrt werden. Am Nachbarzahn 44 wurde im Rahmen des Eingriffs eine Wurzelspitzenresektion mit retrograder Wurzelfüllung durchgeführt.



Abbildung 24 69-jährige Patientin: Zustand 3 Jahre postoperativ, implantatgetragene Brücke 45 - 47, Z.n. Wurzelspitzenresektion 44 mit retrograder Wurzelfüllung .

3.2 Röntgenologische Befunde

Anhand der röntgenologischen Auswertung wurden Daten zur ursprünglichen Knochenhöhe, zum Gewinn und zur Resorption des Knochens sowie zur Stabilität des Knochenersatzmaterials gewonnen.

Tabelle A1 im Anhang auf den Seiten 77- 82 stellt die einzelnen Patientenfälle mit vollständigen Angaben zu Alter, Augmentation, Implantation und gemessenen Knochenhöhen dar.

3.2.1 Knochenhöhe

3.2.1.1 Ausgangswerte

Die durchschnittlichen Mittelwerte für die ursprüngliche Knochenhöhe zum Zeitpunkt T0 betrugen gemittelt für Ober- und Unterkiefer $7,5 \text{ mm} \pm 5,2 \text{ mm}$. Im Oberkiefer $5,1 \text{ mm} \pm 3,7 \text{ mm}$ und im Unterkiefer $11,6 \text{ mm} \pm 4,2 \text{ mm}$. Die geringsten Knochenhöhen (x_{min}), die anfänglich vorlagen, betrugen im Oberkiefer 1,2 mm, gemessen als Abstand zum Kieferhöhlenboden, und im Unterkiefer 3,3 mm als Abstand zum Mandibularkanal (Abbildung 25). Eine Übersicht über die absoluten Knochenhöhen aller Patienten zeigt die Tabelle A 1 im Anhang.

Ausgangswerte der Knochenhöhen zum Zeitpunkt T0

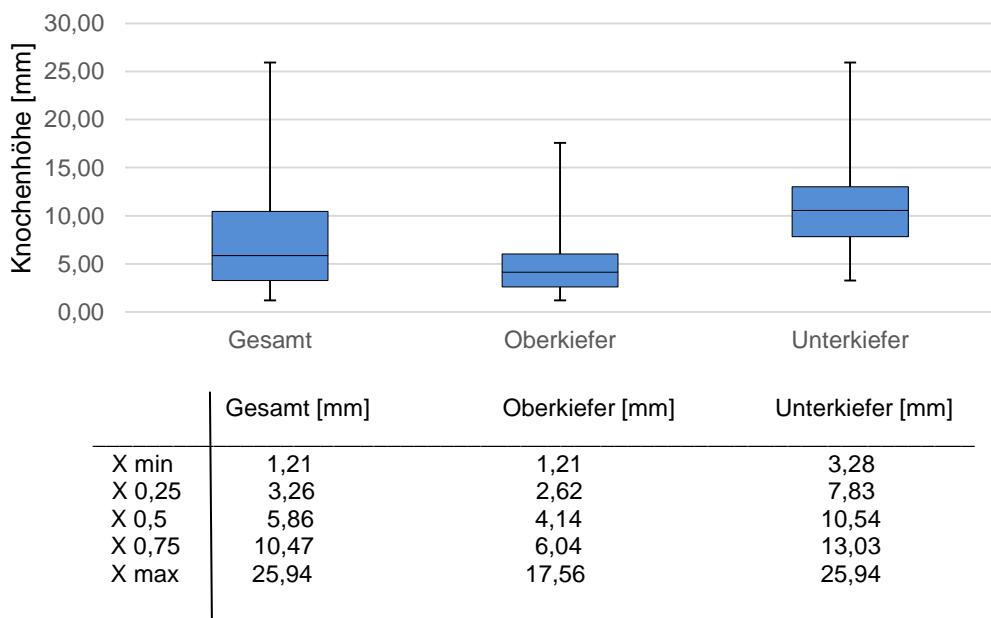


Abbildung 25 Boxplotdarstellung der Ausgangswerte der Knochenhöhen von OK und UK (gesamt) sowie für Oberkiefer und Unterkiefer separat dargestellt zum Zeitpunkt T0.

Die Boxplots in Abbildung 25 verdeutlichen die Streuung der Werte. Die Ausgangswerte für Oberkiefer und Unterkiefer liegen zwischen 1,2 mm bis 25,9 mm, im Oberkiefer zwischen 1,2 mm und 17,6 mm und im Unterkiefer zwischen 3,3 mm und 25,9 mm. Die im Gegensatz zum Mittelwert niedrigeren Mediane der Ausgangswerte, die die Zahlen der Patientengruppe in zwei Hälften teilen, liegen jedoch lediglich bei insgesamt 5,9 mm, im Oberkiefer bei 4,1 mm und im Unterkiefer bei 10,5 mm. Folglich ist die Ausgangsknochenhöhe bei der Hälfte der Patienten geringer als diese Werte.

Trotz der hohen Mittelwerte und Standardabweichungen haben Dreiviertel der Patienten eine anfänglich niedrige Knochenhöhe von weniger als 10,5 mm als Mittelwert für Ober- und Unterkiefer, im Oberkiefer weniger als 6,0 mm und im Unterkiefer geringer als 13,0 mm.

3.2.1.2 Knochengewinn versus Resorption

Die Knochenhöhe konnte durch die HGSO insgesamt auf $12,0 \text{ mm} \pm 4,2 \text{ mm}$ aufgebaut werden. Im mesialen Bereich wurden dabei im Durchschnitt $4,2 \text{ mm} \pm 2,3 \text{ mm}$ an Knochenhöhe dazu gewonnen, medial $5,2 \text{ mm} \pm 2,2 \text{ mm}$ und distal

3,9 mm \pm 2,6 mm. Im Oberkiefer konnte eine durchschnittliche Stärke von 10,3 mm \pm 2,9 mm und im Unterkiefer von 14,6 mm \pm 4,7 mm erreicht werden. Der durchschnittliche Knochengewinn durch HGSO beträgt in OK und UK direkt nach dem HGSO- Eingriff (T0 > T1) + 4,5 mm \pm 2,0 mm (+ 60 %). Die erreichten Werte für die Augmentation im Oberkiefer liegen bei + 5,2 mm \pm 1,9 mm (+ 102 %) und im Unterkiefer bei + 3,0 mm \pm 1,3 mm (+ 25,9 %).

Die statistische Analyse mit dem T-Test einschließlich Bonferroni-Holm-Korrektur für die Veränderung der Knochenhöhen zwischen den Untersuchungszeitpunkten T0 und T1 zeigte hoch signifikante p-Werte. Die Unterschiede im Knochenniveau sind somit auch nach Bonferroni-Holm-Prozedur signifikant (Tabelle A 2).

Knochenhöhen nach HGSO über die Zeit [mm]

Region	T0 Ausgangswert	T1 nach HGSO	T0 vs. T1	T6 nach HGSO und Implantation	T0 vs. T6
Oberkiefer	5,1 \pm 3,7	10,3 \pm 2,9	+ 5,2 (*) \pm 1,9 + 102,0 %	9,1 \pm 2,0	+ 4,0 (**) \pm 2,6 + 78,4 %
	11,6 \pm 4,2	14,6 \pm 4,7	+ 3,0 (*) \pm 1,3 + 25,9 %	13,1 \pm 4,0	+ 1,5 (**) \pm 1,6 + 12,9 %
OK + UK	7,5 \pm 5,2	12,0 \pm 4,2	+ 4,5 (*) \pm 2,0 + 60 %	10,9 \pm 3,6	+ 3,4 (**) \pm 2,3 + 45,3 %

Mittelwerte \pm SD, N = 34 Patienten;

abhängiger T-Test mit Bonferroni-Holm-Prozedur:

* p < 0,05 vs. T1

** p < 0,05 vs. T6

Tabelle 3 Übersicht der Knochenhöhen im Oberkiefer, Unterkiefer und insgesamt zu den Zeitpunkten T0, T1 und T6 sowie des absoluten und prozentualen Gewinns an Knochenhöhe zu T1 und T6.

In den folgenden Abbildungen sind die *relativen* Veränderungen der Knochenhöhe über die Zeit in Prozent dargestellt. Die Ausgangswerte wurden in 100 % angegeben.

Die Werte für die statische Testung für Tabelle 3 sind den Tabellen A 4 bis A 9 im Anhang zu entnehmen.

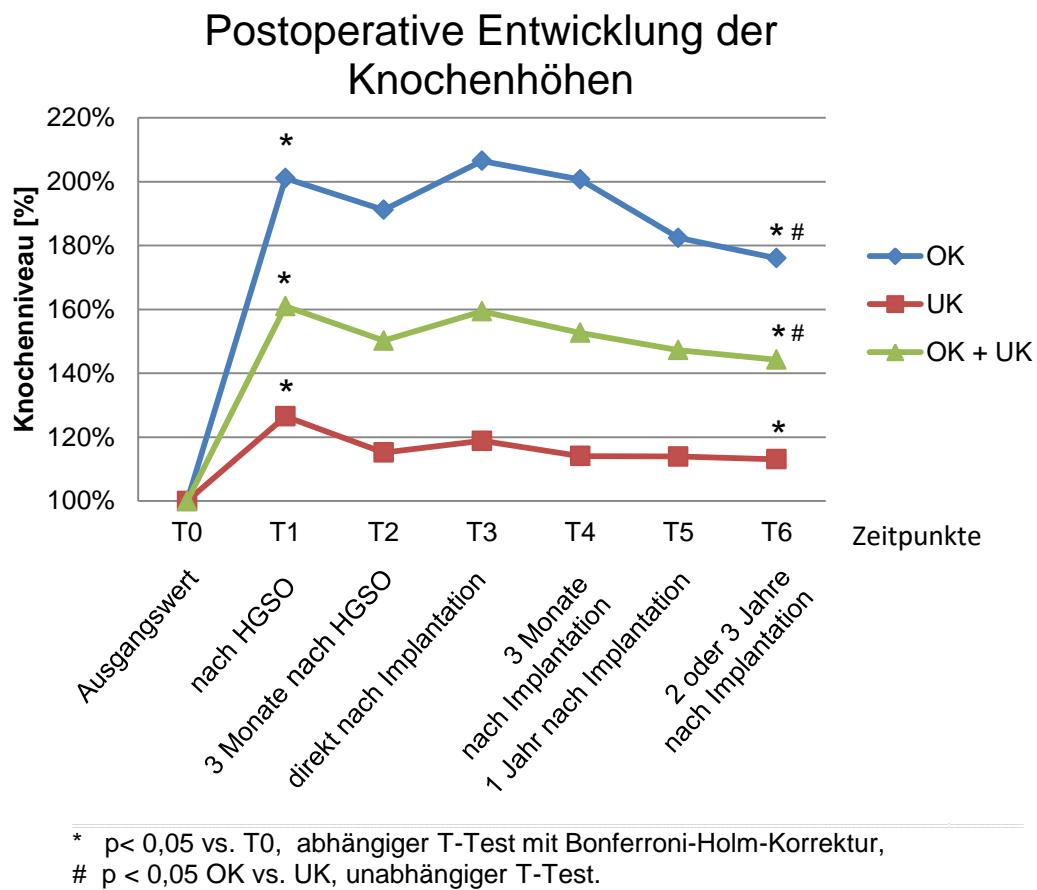


Abbildung 26 Relative Entwicklung der Knochenhöhen in % in OK, UK und OK+UK über die Zeit in n = 34 HGSOs total (Oberkiefer n = 21, Unterkiefer n = 13 bei insgesamt 29 Patienten)

Zum Zeitpunkt T6, also durchschnittlich 3 Jahre nach Implantation, betrug die mittlere Knochenhöhe insgesamt $10,9 \text{ mm} \pm 3,6 \text{ mm}$. Im Oberkiefer lagen die Durchschnittswerte bei $9,1 \text{ mm} \pm 2,0 \text{ mm}$ und im Unterkiefer bei $13,1 \text{ mm} \pm 4,0 \text{ mm}$. Es konnte nach der Implantation eine dauerhafte Erhöhung des Knochens um 45,3 % für OK+UK erzielt werden. Im Oberkiefer wurde ein Anstieg um + 78,4 %, im Unterkiefer um + 12,9 % erreicht. Der Verlauf der Veränderungen der Knochenhöhen ist in den Kurven in Abbildung 26 dargestellt.

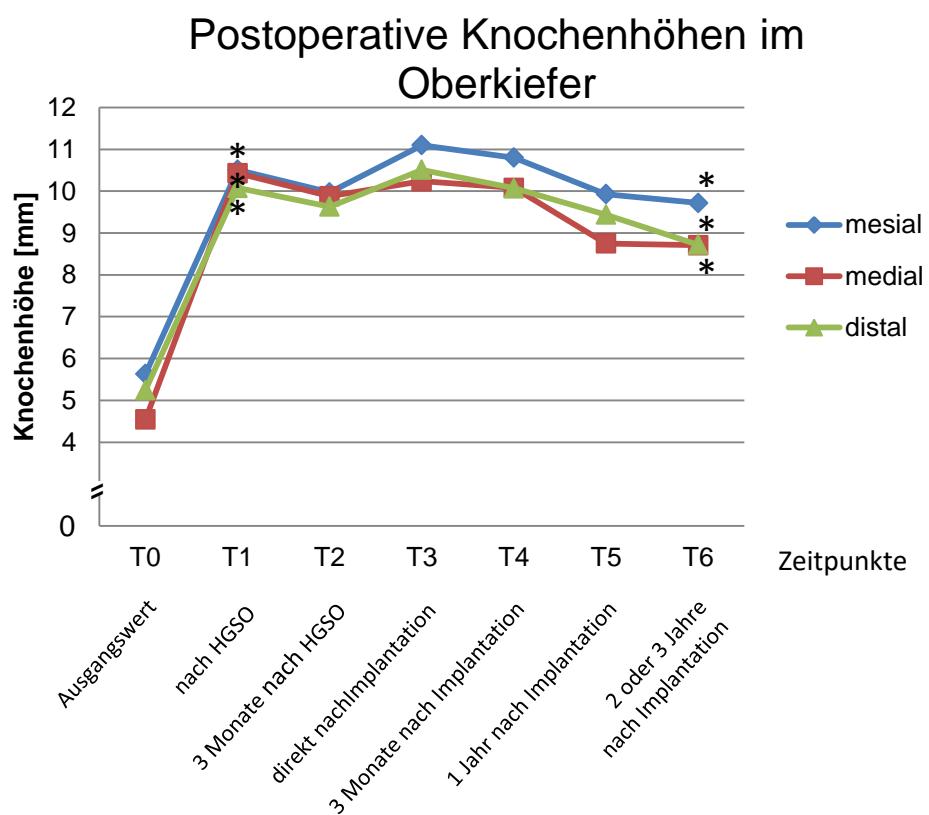
Die Unterschiede der Ausgangsknochenhöhen gegenüber Zeitpunkt T6 sind hoch signifikant. Die p-Werte des abhängigen T-Tests liegen auch nach Bonferroni-Holm-Prozedur deutlich unter dem lokalen α -Niveau (siehe Tabelle A 3). Auch die Zeitpunkte T1 bis T6 sind statistisch signifikant höher gegenüber T0.

Die Augmentationen im Ober- und Unterkiefer unterscheiden sich sowohl zum Zeitpunkt T1 als auch T6. Der unabhängige T-Test zwischen den Gruppen Oberkiefer und

Unterkiefer zeigt, dass sich die Höhe des Aufbaus im Oberkiefer und Unterkiefer ebenfalls signifikant voneinander unterscheiden.

3.2.1.2.1 Oberkiefer

Die gesonderte Betrachtung des Oberkiefers zeigt anfänglich Knochenhöhen von mesial $5,6 \text{ mm} \pm 3,8 \text{ mm}$, medial $4,5 \text{ mm} \pm 3,7 \text{ mm}$ und distal $5,2 \text{ mm} \pm 4,2 \text{ mm}$. Nach der Augmentation durch HGSO wurde mesial ein Wert von durchschnittlich $10,5 \text{ mm} \pm 3,3 \text{ mm}$ erreicht, medial $10,4 \text{ mm} \pm 3,3 \text{ mm}$ und distal $10,1 \text{ mm} \pm 3,0 \text{ mm}$. Somit wurde ein Zuwachs mesial um + 87,5 %, medial um + 131,1 % und distal um + 94,2 % erzielt. In allen drei Bereichen kam es damit zu einer signifikanten Erhöhung der Knochenhöhen (abhängiger T-Test $p < 0,05$ vs. T0).



* $p < 0,05$ vs. T0, abhängiger T-Test mit Bonferroni-Holm-Korrektur

Abbildung 27 Entwicklung der Knochenhöhen im Oberkiefer über die Zeit, gemessen an den Stellen mesial, medial und distal im Augmentationsgebiet

Die Langzeitstabilität der Augmentation zeigt, dass die Knochenhöhen auch nach durchschnittlich 3 Jahren im mesialen Bereich noch bei durchschnittlich 9,7 mm $\pm 2,5$ mm lag (Abbildung 27). Eine diskrete Reduktion gegenüber T1 (direkt nach Augmentation) ist erkennbar, jedoch statistisch nach Bonferroni-Holm-Korrektur nicht signifikant.

Dauerhaft konnten mesial also + 73,2 % an Knochen gewonnen werden,, medial wurde ein Zuwachs von + 93,3 % gemessen und distal + 71,2 %. Die Werte unterscheiden sich zu T0 signifikant (abhängiger T-Test, $p < 0,05$). Die exakten Werte sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Postoperative Knochenhöhen im Oberkiefer [mm]

Region	T0 Ausgangswert	T1 nach HGSO	T0 vs. T1		T6 nach HGSO und Implantation	T0 vs. T6
mesial	5,6 $\pm 3,8$	10,5 $\pm 3,3$	+ 4,9 (*) $\pm 4,5$ + 87,5 %		9,7 $\pm 2,5$	+ 4,1 (**) $\pm 3,1$ + 73,2 %
medial	4,5 $\pm 3,7$	10,4 $\pm 3,3$	+ 5,9 (*) $\pm 2,1$ + 131,1 %		8,7 $\pm 2,5$	+ 4,2 (**) $\pm 2,4$ + 93,3 %
distal	5,2 $\pm 4,2$	10,1 $\pm 3,0$	+ 4,9 (*) $\pm 2,7$ + 94,2 %		8,9 $\pm 1,9$	+ 3,7 (**) $\pm 3,7$ + 71,2 %

Mittelwerte \pm SD, N = 34 Patienten;

abhängiger T-Test mit Bonferroni-Holm-Prozedur:

* $p < 0,05$ vs. T1

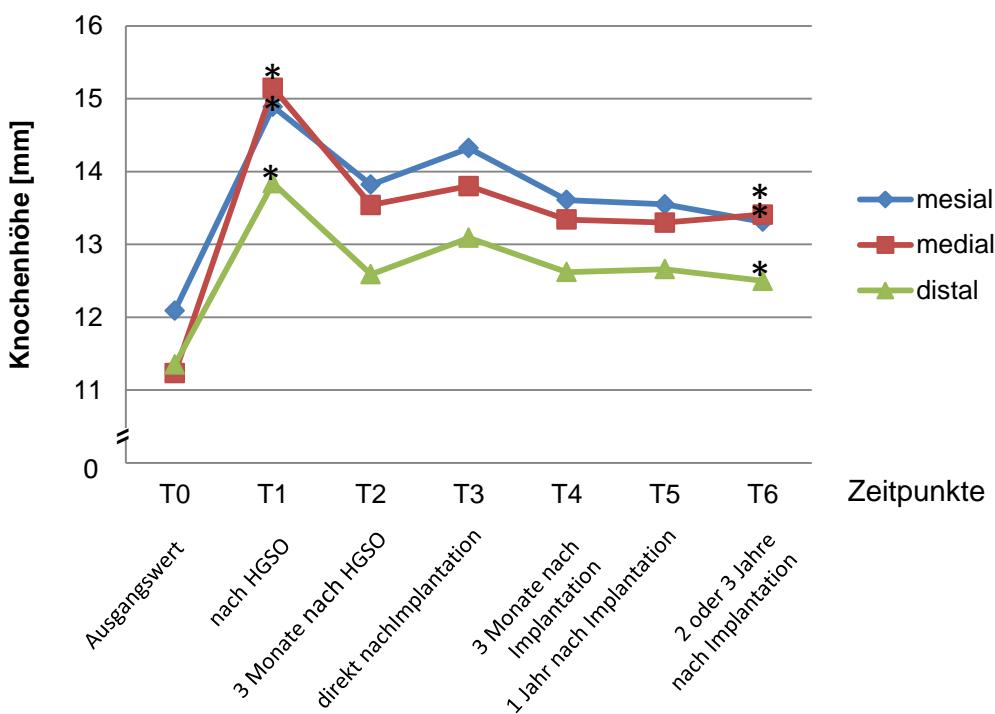
** $p < 0,05$ vs. T6

Tabelle 4 Übersicht der Knochenhöhen im Oberkiefer zu den Zeitpunkten T0, T1 und T6 sowie des absoluten und prozentualen Gewinns an Knochenhöhe im Vergleich zu T1 und T6.

3.2.1.2.2 Unterkiefer

Im Unterkiefer zeigten sich anfängliche Knochenhöhen von mesial $12,1 \text{ mm} \pm 5,9 \text{ mm}$, medial $11,2 \text{ mm} \pm 6,0 \text{ mm}$ und distal $11,4 \text{ mm} \pm 4,4 \text{ mm}$. Nach der Augmentation durch die HGSO wurde mesial ein Wert von durchschnittlich $14,9 \text{ mm} \pm 5,8 \text{ mm}$ erreicht, medial $15,2 \text{ mm} \pm 6,2 \text{ mm}$ und distal $13,8 \text{ mm} \pm 3,9 \text{ mm}$. Folglich konnte mesial um + 23,1 %, medial um + 35,7 % und distal um + 21,1 % augmentiert werden. Über den gesamten Nachbeobachtungszeitraum konnten hoch signifikante Unterschiede gemessen werden (abhängiger T-Test, $p < 0,05$).

Postoperative Knochenhöhen im Unterkiefer



* $p < 0,05$ vs. T0, abhängiger T-Test mit Bonferroni-Holm-Korrektur

Abbildung 28 Entwicklung der postoperativen Knochenhöhen im Unterkiefer über die Zeit, gemessen an den Stellen mesial, medial und distal im Augmentationsgebiet.

Der Kurvenverlauf in Abbildung 28 zeigt die Knochenhöhe im Unterkiefer, stratifiziert nach den Bereichen mesial, medial und distal. Die Werte zum Zeitpunkt T6 zeigen, dass das Knochenniveau nach durchschnittlich 3 Jahren nach Implantation im

mesialen Bereich noch bei $13,3 \text{ mm} \pm 5,4 \text{ mm}$ lag, medial bei $13,4 \text{ mm} \pm 5,4 \text{ mm}$ und distal bei $12,5 \pm 3,0 \text{ mm}$ (vgl. Tabelle 5).

Dauerhaft konnten mesial also + 9,9 %, medial + 19,6 % und distal 9,6 % an Knochen gewonnen werden. Eine signifikante Änderung der Knochenhöhen zeigten die abhängigen T-Tests in diesen Bereiche ($p(\text{mesial}) = 0,011$, $p(\text{medial}) = 0,002$, $p(\text{distal}) = 0,001$, siehe Tabellen A 7 - 9).

Postoperative Knochenhöhen im Unterkiefer [mm]

Region	T0 Ausgangswert	T1 nach HGSO	T0 vs. T1		T6 nach HGSO und Implantation	T0 vs. T6
mesial	12,1 $\pm 5,9$	14,9 $\pm 5,8$	+ 2,8 (*)		13,3 $\pm 5,4$	+ 1,2 (**)
			$\pm 1,5$		$\pm 1,9$	
			+ 23,1 %		+ 9,9 %	
medial	11,2 $\pm 6,0$	15,2 $\pm 6,2$	+ 4,0 (*)		13,4 $\pm 5,4$	+ 2,5 (**)
			$\pm 2,1$		$\pm 2,3$	
			+ 35,7 %		+ 19,6 %	
distal	11,4 $\pm 4,4$	13,8 $\pm 3,9$	+ 2,4 (*)		12,5 $\pm 3,0$	+ 1,1 (**)
			$\pm 1,4$		$\pm 1,4$	
			+ 21,1 %		+ 9,6 %	

Mittelwerte \pm SD, N = 34 Patienten;

abhängiger T-Test mit Bonferroni-Holm-Prozedur:

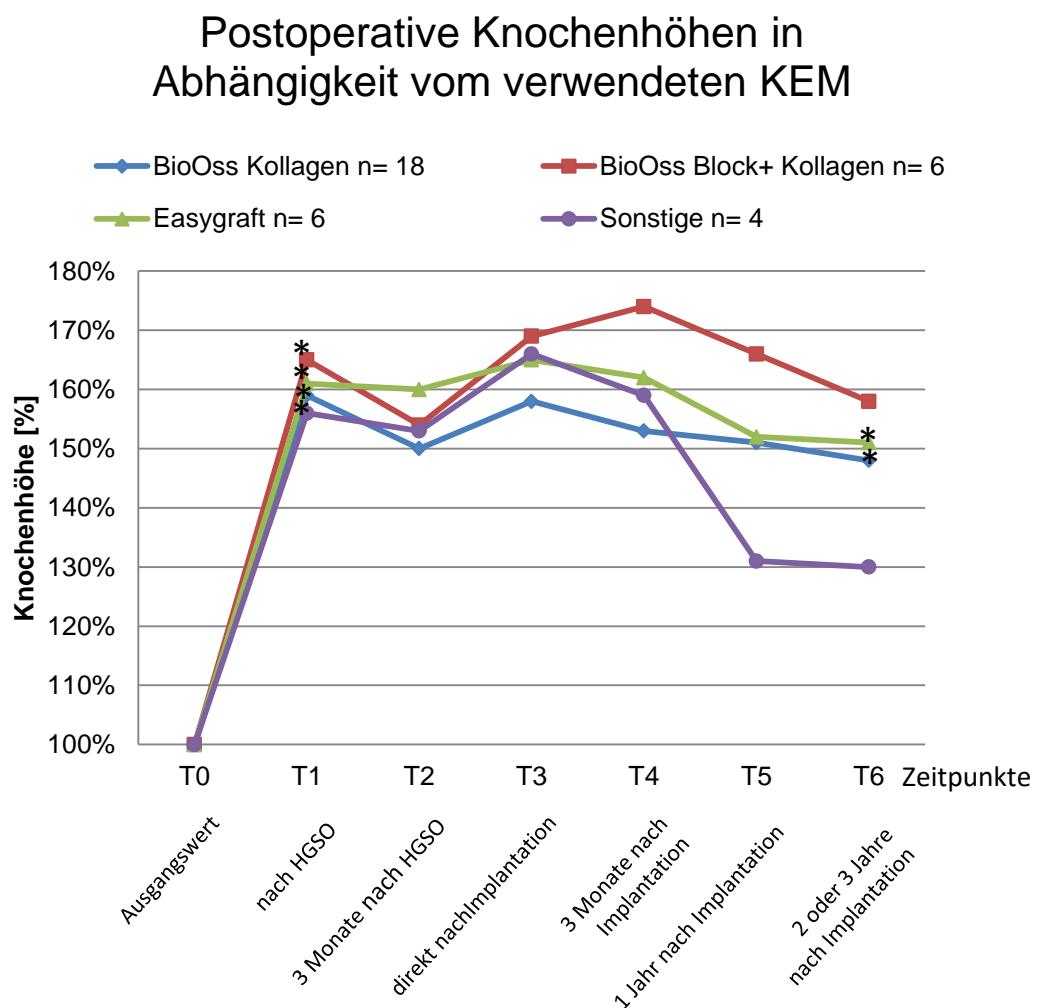
* $p < 0,05$ vs. T1

** $p < 0,05$ vs. T6

Tabelle 5 Übersicht der Knochenhöhe im Unterkiefer zu den Zeitpunkten T0, T1 und T6 sowie des Gewinns an Knochenhöhe zu T1 und T6.

3.2.2 Knochenhöhen in Abhängigkeit von verwendeten Knochenersatzmaterialien (KEM)

Die Stabilität des Knochenersatzmaterials über den Zeitverlauf vor HGSO bis 3 Jahre nach der Operation ist in Abbildung 29 dargestellt.



* p < 0,05 vs. T0, abhängiger T-Test mit Bonferroni-Holm-Korrektur

Abbildung 29 Postoperative Knochenhöhen in Abhängigkeit vom verwendeten Knochenersatzmaterial 3 Jahre nach Operation (n = 34 HGSO, N = 29 Patienten).

Unterschieden wurden verschiedene Knochenersatzmaterialien, die den Gruppen BioOss Kollagen (n = 18), BioOss Block und Kollagen (n = 6), Easygraft (n = 6) und sonstigen Materialien (n = 4) zugewiesen wurden. Die Gruppe Sonstige fasst wegen der

geringen Fallzahlen die Augmentation mit Nanobone (n = 2), Vital Os Cement (n = 1) und Beckenkammstanze (n = 1) zusammen.

In allen vier Gruppen konnten signifikante Änderungen der Knochenhöhe erzielt werden (abhängiger T- Test aller Gruppen: p- Werte <0,05, siehe Tabelle A 2). Der größte Anstieg um 65 % des Ausgangsniveaus konnte mit BioOss Block realisiert werden. BioOss Kollagen und Easygraft erreichten im Durchschnitt Werte von 59 % und 61 %. Nach 3 Jahren lag das Knochenniveau bei BioOss Block weiterhin bei 58 % der ursprünglichen Stärke, bei BioOss Kollagen bei 48 % und bei Easygraft bei 51 %. Auch die Augmentationen der vierten Gruppe "Sonstige" liegen mit 56 % deutlich über dem anfänglichen Knochenniveau. Der Einbruch der Kurve bei "Sonstige" ist auf die Infektion des Augmentats Vital Os Cement zurückzuführen.

3.3 Implantaterfolg

Es wurden bei 20 Patienten insgesamt 79 Implantate gesetzt. In sieben Fällen kam es zu einem Implantatverlust (8,9%), der in Tabelle 6 detaillierter dargestellt wird.

Kiefer	Implantationen	Implantat-Überleben (Survival)	Implantat-Verlust
Oberkiefer	n = 45 (100 %)	n = 40 (89%)	n = 5 (11%)
Unterkiefer	n = 34 (100%)	n = 32 (94%)	n = 2 (6%)
Gesamt	n = 79 (100%)	n = 72 (91%)	n = 7 (9%)

Tabelle 6 Übersicht der inserierten Implantate in OK und UK sowie der Implantatverluste (N = 29 Patienten, n = 79 Implantate) nach durchschnittlich 3 Jahren.

Im Oberkiefer gingen fünf Implantate (11 %) in drei Patienten verloren, davon war eines in die Kieferhöhle verlagert und zwei gingen durch die Infektion des Augmentats verloren. Im Unterkiefer waren zwei Implantatverluste in zwei Patienten zu verzeichnen. Diese sowie die übrigen drei Implantatverluste im Oberkiefer waren auf die Risikofaktoren Rauchen und schlechte Mundhygiene der Patienten zurückzuführen.

72 der 79 (91%) der gesetzten Implantate blieben folglich bis heute erfolgreich in situ. Die mittlere Überlebensrate der Implantate liegt damit bei 91% 3 Jahre nach

Implantation. Dies wird durch die Kaplan-Meier Analyse in Abbildung 30 veranschaulicht. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der im Unterkiefer inserierten Implantate liegt bei 94 %, die im Oberkiefer bei 89 %.

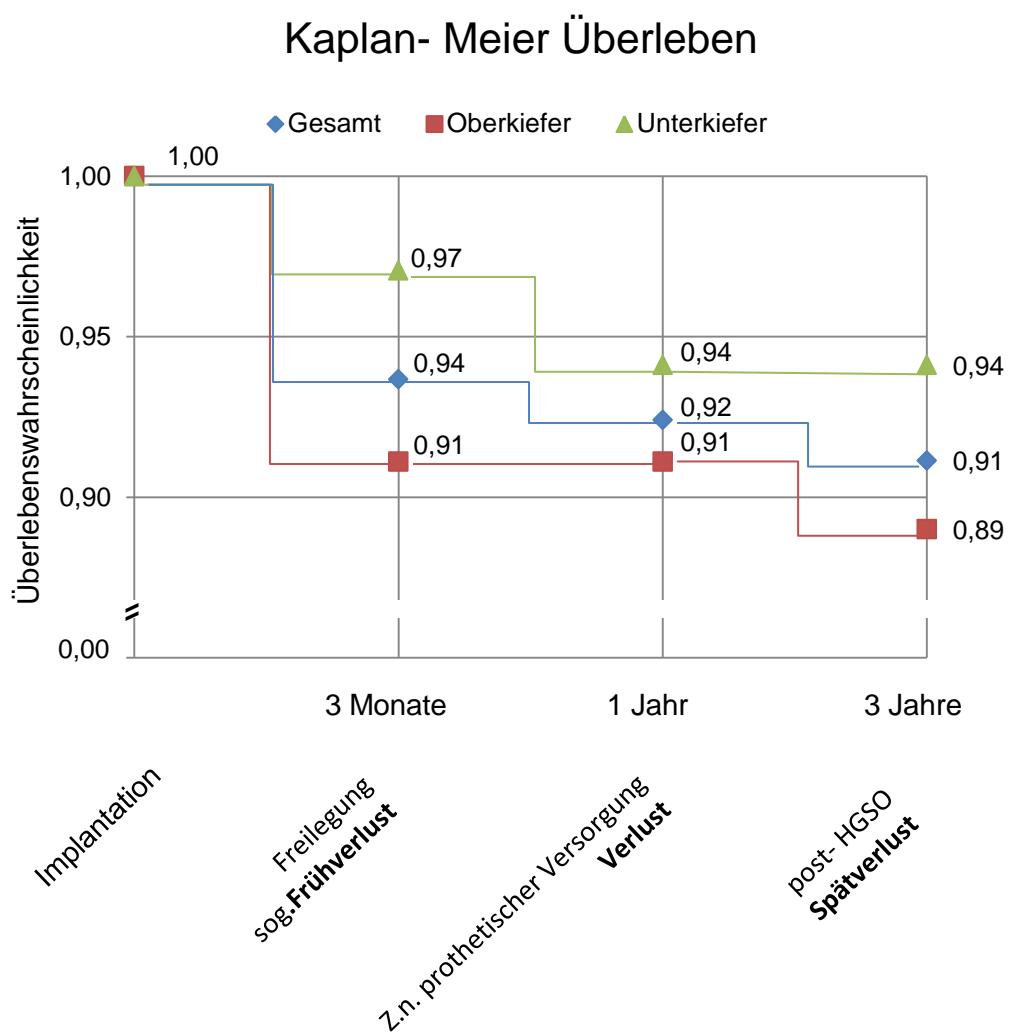


Abbildung 30 Kaplan-Meier-Überlebensanalyse der Implantate, Überlebenswahrscheinlichkeit von 91 % der gesetzten Implantate (n = 79) über einen Zeitraum von 3 Jahren.

Die Abbildung 30 verdeutlicht, dass es sich bei dem Großteil der Implantatverluste um sogenannte Frühverluste (71,4 %) handelt, die bereits zum Zeitpunkt der Freilegung nicht mehr in situ waren. Schlegel und Mitarbeiter rechnen Implantate, die schon vor der prothetischen Versorgung verloren gegangen sind, zu den Frühverlusten (23). Da, wie bereits erwähnt, in der Literatur die Überlebensrate definiert wird als Vorhandensein von Implantat und Prothetik im Mund, würden diese streng genommen nicht in die Verluststatistik einbezogen werden. Nach der internationalen Nomenklatur würde sich "schön gerechnet" eine Überlebensrate der Implantate von 98 % (gesamt) sowie 95 % im Oberkiefer und 100 % im Unterkiefer ergeben. Vier der fünf

Implantatverluste konnten erfolgreich reimplantiert werden. In einem Fall war eine ausreichende prothetische Versorgung dennoch möglich, daher wurde auf eine Reimplantation verzichtet.

Ein Implantat ging innerhalb eines Jahres durch Lockerung verloren (14,3 %) und wurde daraufhin sofort wieder erfolgreich ersetzt. In einem Fall der Verluste kam es zu einem Spätverlust (14,3 %) nach mehr als 3 Jahren. Eine Reimplantation war hier zur festsitzenden Versorgung nicht erforderlich. Dies bedeutet, dass unter Berücksichtigung der Revisionsoperationen sämtliche Patienten zu 100 % festsitzend versorgt werden konnten. Die möglichen Ursachen für die Implantatverluste werden in Kapitel 3.4 unter Komplikationen detailliert abgehandelt.

Implantat- system	n alle inserierten Implantate	n erfolgreich inserierte Implantate	n Implantat- verluste	n in N Patienten
Straumann	59	54 (92%)	5 (8%)	4*
Bego	13	11 (85%)	2 (15%)	1**
Semados				
Camlog	4	4 (100%)	0 (0%)	0
Pitt Easy	3	3 (100%)	0 (0%)	0
Gesamt	79	72 (91%)	7 (9%)	5

* 5 Verluste in 4 Patienten (n = 2 durch Infektion des Augmentats, n = 1 Dislokation Kieferhöhle, n = 1 Lockerung, n = 1 Spätverlust nach mehr als 3 Jahren)

** 2 Verluste in einem Patienten (schlechte Mundhygiene, starker Raucher)

Tabelle 7 Vergleich der verwendeten Implantatsysteme (Straumann, Bego Semados, Camlog und Pitt Easy) und Implantatverluste.

Der Vergleich der Implantathersteller, dargestellt in Tabelle 7, verdeutlicht die Anzahl gesetzter Implantate sowie die Anzahl der Implantatverluste. Das am häufigsten verwendete Implantatsystem stammt von der Firma Straumann. Es wurden 59 Implantate

dieses Herstellers inseriert, fünf Implantate gingen verloren. Die Anzahl erfolgreich gesetzter Implantate liegt mit $n = 54$ Implantaten bei einem Wert von 92 %. Dies entspricht der Überlebenswahrscheinlichkeit der Kaplan-Meier Analyse der Implantate bei HGSO. Am zweithäufigsten wurden Implantate der Firma Bego eingesetzt mit einer Fallzahl von $n = 13$. Es gingen davon zwei Implantate in einem Patienten (Raucher) verloren, damit liegt die Anzahl erhaltener Implantate mit 85 % unter der Kaplan-Meier Überlebenswahrscheinlichkeit.

Implantate der Firmen Camlog ($n = 3$) und Pitt Easy ($n = 3$) wurden nur in geringen Zahlen gesetzt und gingen während der Studie nicht verloren.

Aufgrund der sehr ungleichen Implantatzahlen zwischen den Implantatherstellern sowie der Inhomogenität der Patienten innerhalb dieser Gruppen (Raucher/ Nicht-raucher) lassen diese Ergebnisse zwischen den einzelnen Implantatsystemen keine Schlüsse auf die Qualität derselben zu. Die Fallzahlen bei Camlog und Pitt Easy sind zu gering, um daraus überhaupt Rückschlüsse ziehen zu können.

Bei allen Implantaten, die zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung vorhanden waren, lagen keine gravierenderen Entzündungen des Weichgewebes oder Knochengewebes oder Lockerungen vor. Damit entspricht die Überlebensrate auch in etwa der Erfolgsrate. Um dies besser beurteilen zu können, müssten weitere Nachuntersuchungen erfolgen.

3.4 Komplikationen

Bei sechs von 34 durchgeföhrten HGSOs kam es zu Komplikationen (18 %). Tabelle 8 verdeutlicht, dass es in nur einem Fall (2,9 %) zu einer Infektion kam. Durch diese kam es jedoch zu zwei Implantatverlusten bei einem Patienten. In 97,1 % der HGSO-Operationen heilte damit das Augmentat infektionsfrei ein.

Eine vorübergehende Parästhesie lag in zwei Fällen (5,8 %) vor. Einer dieser Patienten verlor gleichzeitig ein Implantat. Nach Abheilen der Operationswunden lag bei keinem Patienten mehr eine Parästhesie vor. Der Grund für zwei weitere Implantatverluste in einem Patienten war dessen schlechte Compliance und starkes Pfeiferauchen. Insgesamt gingen fünf von 79 gesetzten Implantaten noch vor der Freilegung verloren (6 %). Zu je einem Implantatverlust durch Lockerung kam es nach einem mittleren Zeitraum von einem Jahr (2,5 %) und nach mehr als 3 Jahren (2,5 %). Durch Revisionseingriffe konnten alle Patienten zu 100 % festsitzend versorgt werden. Hauptsikofaktoren bei allen Problempatienten mit Implantatverlusten waren eine anamnestisch belegte zahnärztliche Dokumentation von Rauchen und / oder schlechter Mundhygiene.

Komplikationen		Pat.Nr.	Bemerkung
Infektion	n = 1	3	plus Implantatverlust, s.u.
temporäre Parästhesie	n = 2	14 27	plus Implantatverlust, s.u. -
Implantat-verlust	n = 6	3 14 23 28 13	2 Verluste (11, 12) bereits vor Freilegung, zuvor Infektion des Augmentats 1 Verlust vor Freilegung, Dislokation des Implantats 26 in Kieferhöhle 1 Verlust vor Freilegung, Lockerung des Implantats 35 1 Verlust vor Freilegung, Lockerung des Implantats 45 2 Verluste (Implantate 25, 26) starker Pfeifenraucher, extrem schlechte Compliance
Summe	n = 9		in n = 6 Patienten
Vorfälle			

Tabelle 8 Komplikationsraten nach HGSO und Implantation (n = 24 HGSOs an N = 29 Patienten).

4 Diskussion

4.1 Ergebnisse

Die im Rahmen dieser Studie untersuchten 29 Patientenfälle wiesen vor Augmentation extrem atrophierte Kieferkämme mit Knochenhöhen teilweise unter 3 mm auf. Die Augmentation durch HGSO konnte das vertikale Knochenangebot signifikant um durchschnittlich 4,5 mm (+ 60 %) erhöhen (Tabelle 3). Im Oberkiefer wurde ein Gewinn an Knochen um 102 % erzielt. Auch nach 3 Jahren waren diese Ergebnisse über die Zeit noch stabil (Abbildung 26). Bei gesonderter Betrachtung der einzelnen verwendeten Knochenersatzmaterialien spiegelte sich diese Stabilität ebenso wider.

Die so augmentierten Kieferkämme bildeten ein solides Lager für die inserierten Implantate. Die Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate lag nach 3 Jahren bei 91 %.

Die Ursache für zwei Implantatverluste war in nur einem klinischen Fall die Entzündung des Augmentats. Bei zwei Patienten kam es zu vorübergehenden Parästhesien. Die Implantatverluste mit 9 % im Durchschnitt bei den betroffenen Patienten (Tabelle 8) sind auf die schlechte Compliance und unzureichende Mundhygiene zurückzuführen, da diese Patienten im Vorfeld nicht von der Studie ausgeschlossen worden sind.

Die HGSO stellt damit eine zuverlässige Knochenaufbaumethode zur implantatprothetischen Versorgung von extrem atrophierten Kiefern dar.

4.1.1 Knochenhöhe Oberkiefer versus Unterkiefer

Ziel bei der Verwendung von Knochenersatzmaterialien ist der Zugewinn an knöcherner Hartsubstanz, in welcher schließlich die Implantate inseriert werden können (45).

Durch die HGSO konnte der Oberkieferknochen um 5,2 mm (+ 101,2 %) und der Unterkiefer um 3,0 mm (+ 25,9 %) in der vertikalen Höhe augmentiert werden. Nach drei Jahren Nachbeobachtungszeit lagen diese Werte im Vergleich zur Ausgangssituation im Oberkiefer noch bei + 78,4 % und im Unterkiefer bei + 12,9 %. Durch einen Sinuslift ist es möglich, den Knochen des lateralen Oberkiefers um durchschnittlich 1,7 - 4,1 mm (66) zu augmentieren. Diesbezüglich verzeichnet die Technik der HGSO im Oberkiefer bessere Resultate.

Im Gesamten (OK und UK) wurde direkt nach HGSO zum Zeitpunkt T1 ein Knochengewinn um 4,5 mm (+ 60 %) verzeichnet, das Langzeitergebnis zum Zeitpunkt T6 nach 3 Jahren lag noch bei 3,4 mm (+ 45,3 %) Knochengewinn. Durch die Distraktionsosteogenese ist eine Augmentation um insgesamt 7,08 mm möglich (27), also deutlich mehr als durch die HGSO. Die Onlay-Osteoplastik mit Werten von durchschnittlich 4,7 mm Knochengewinn liegen dabei auf einem vergleichbaren Niveau mit der HGSO (24).

Ein weiterer Vergleich des Zuwachses an Knochenhöhe nur auf den Unterkiefer bezogen erscheint nicht sinnvoll, da der Fokus hier vor allem auf der horizontalen Breite liegt. Diese Auswertung bezieht sich jedoch auf die im OPG messbare Knochenhöhe in der Vertikalen. Gemäß den Literaturangaben ist es generell möglich, den Knochen vertikal um 2 - 5,6 mm aufzubauen (45). Im Bereich dieser Werte liegen auch die Ergebnisse des Knochengewinns der HGSO. Trotz der minimalinvasiven Vorgehensweise ist es möglich, den Kieferkamm um ein hohes Maß aufzubauen.

Die HGSO ist im Vergleich des Aufbaus an Knochenhöhe den Sinusliftmethoden leicht überlegen. Durch die Onlay-Osteoplastik werden ähnlich gute Ergebnisse erzielt. Lediglich die Distraktionsosteogenese ist hinsichtlich des Knochengewinns überlegen.

4.1.2 Knochenhöhen in Abhängigkeit vom Augmentat

Der mögliche Knochenaufbau ist neben dem Ausgangsdefekt abhängig vom eingebrachten Material.

In nur einem Patientenfall wurde für die HGSO mit der Beckenkammstanze ein autogenes Augmentat verwendet. Aufgrund der Eigenschaften und identischen Struktur zählt der autologe Knochen gemeinhin als Goldstandard für den Knochenaufbau (45, 67). Für den Umfang der HGSO sind Knochengewinne aus extraoralen Spendergebieten wegen der erhöhten Morbidität der Entnahmestellen nicht angebracht. Sie sind eher für komplexere Augmentationen zu verwenden (41). Bei der HGSO stehen mit der Versorgung von Schalt- und Freiendlücken eher mittelgroße Defekte im Fokus. Hier sind avaskuläre autogene Transplantate aus intraoralen Spendergebieten möglich.

Die alloplastischen Augmentate Easygraft (in 17,6 %), Nanobone (in 5,9%) und Vital Os Cement (in 2,95 %) kamen bei der HGSO zu 26,5 % zum Einsatz. In der Literatur liegt eine inhomogene Studienlage zu der Vielzahl der verfügbaren synthetischen Materialien vor. Vor allem die Zemente sind als wenig stabil beschrieben (45). Bei der Verwendung von Vital Os Cement kam es bei der HGSO zu einer Infektion und folglich zum Verlust des Augmentats. Mit Easygraft kam es zu Implantatlockerungen, bei Nanobone traten keine schwerwiegenden Komplikationen auf. Die Fallzahlen sind jedoch zu gering, um aussagekräftig zu sein, da vor allem auch die Patientencompliance bei Komplikationen und Einheilung eine große Rolle spielt.

Bei der HGSO wurden mit BioOss Kollagen (in 53 %) und BioOss Blöcken (in 17,6 %) vorwiegend xenogene Knochenersatzmaterialien (gesamt 70,6 %) verwendet. Vor allem BioOss kommt klinisch zahlreich zur Einsatz und hat sich bewährt (45). Die Indikationen für xenogene Materialien reichen von der Rekonstruktion periimplantärer Defekte bis hin zu Sinuslifts. Nachteilig ist hier gegenüber dem autologen Knochen der nicht rückstandslose Abbau. Dies hat klinisch jedoch wenig Konsequenzen (45). Bei der HGSO kam es hier zu keinen Problemen mit dem Augmentat BioOss im Sinne von Infektionen oder Abstoßungsreaktionen.

Der mit der Zeit eintretende Verlust an augmentiertem Knochen von + 4,5 mm zum Zeitpunkt T1 auf nur noch + 3,4 mm zum Zeitpunkt T6 nach 3 Jahren ist (vgl. Tabelle 3) durch die Resorptionsschrumpfung der eingesetzten, vorwiegend xenogenen Augmentate zu erklären. Die Resorptionsschrumpfung ist jedoch bei Verwendung von autogenen Transplantaten als noch höher einzustufen (44, 45).

Dies rechtfertigt den Einsatz xenogener Knochenersatzmaterialien bei der HGSO, da stabile Ergebnisse erzielt wurden, obwohl der autologe Knochen zumeist als Goldstandard für die Augmentation gilt. Vorteilhaft sind die gute Verfügbarkeit und der einfache Einsatz der xenogenen und alloplastischen Materialien verbunden mit dem Entfallen der Morbidität an der Entnahmestelle. Aufgrund der zahlreichen klinischen Erfahrungen mit BioOss (68) bevorzugen wir dieses Material bei der Interpositionsplastik. Im Vergleich zur Onlay Osteoplastik, welche autologen Knochen und somit ein zweites OP-Gebiet erfordert, ist dies von Vorteil.

Die für die HGSO verwendeten Membranen BioGide und OsseoGuard sind xenogenen Ursprungs und resorbierbar. Sie werden verwendet, um das vorzeitige Einsprießen von Weichgewebe zu verhindern. Vor allem bei langsam resorbierbaren Knochenersatzmaterialien ist der Vorteil hinsichtlich der Resorption durch die Verwendung von Membranen beschrieben (22).

4.1.3 **Implantatverlust**

Bei der HGSO gingen von 79 inserierten Implantaten 7 Implantate verloren (8,9%). Die Überlebensrate der Implantate liegt damit bei 91 % insgesamt (Oberkiefer 89 %, Unterkiefer 94 %). Bei genauerer Betrachtung der Verluste handelt es sich bei 71,4 % der gescheiterten Implantate um Frühverluste, d.h.: der Implantatverlust trat noch vor Freilegung ein. Schlegel et. al. rechnen diese Implantate primär nicht zu den Implantatverlusten. Wenn man diesen Ansatz auf die Implantation bei der HGSO anwendet, liegen die Überlebensraten insgesamt bei 98 % bei 95 % im Oberkiefer und 100 % im Unterkiefer.

Für den internen Sinuslift werden Implantatüberlebensraten von 92,8 % nach drei Jahren beschrieben (66). Bei einer geringeren Knochenhöhe als 4 mm liegen diese Werte jedoch nur noch bei 85,7 %. Die Anwendung des internen Sinuslifts bei Knochenhöhen geringer als 5 - 6 mm wird nicht empfohlen, während die HGSO auch hier noch angewendet wird und gute stabile Ergebnisse erzielt. Die Überlebensraten der Implantate beim externen Sinuslift liegen bei einzeitiger Operation bei 88,5 % und bei zweizeitigem Vorgehen bei 90,9 % (69). Diese Werte liegen im Bereich der Überlebensraten bei Implantatinsertion nach HGSO. Für das Bone-Splitting wird eine Implantatüberlebensrate von 94 % angegeben und weist damit leicht bessere Ergebnisse auf (27). Allerdings muss an dieser Stelle nochmals betont werden, dass die klinische Situation, bei der die HGSO angewandt worden ist, mit den anderen

beiden Techniken wegen des vertikalen Knochenverlustes nicht hätte klinisch sinnvoll behandelt werden können. Daher hinkt der alleinige Vergleich der Überlebensraten. Die Implantationsüberlebensrate bei der Distraktionsosteogenese liegt bei 93,3 %, eignet sich vor allem für die Mandibula (27), während die HGSO Überlebensraten von bis zu 100 % erreichen konnte. Auch hier muss jedoch differenziert werden. Denn die Morbidität der Patienten bei der Distraktionsosteogenese ist zweifelsfrei größer als bei der HGSO, bei der die Patienten nicht durch intra- oder extraoral getragene Geräte gestört sind.

Kurzimplantate als Alternative zur Augmentation an sich zeigten mit Überlebensraten von 92% nach einem Jahr gute Ergebnisse, in der anterioren Maxilla lag die Rate bei 88,4% (70). Dies entspricht den Werten der HGSO im Gesamten. Von Vorteil der Kurzimplantate sind der kostengünstigere und geringere Behandlungsaufwand gegenüber der HGSO, da vor allem auf Augmentationen verzichtet werden kann (25). Die Erwähnung der kurzen Implantate geschieht hier nur aus didaktischen Gründen. Dieses Konzept lässt sich bei extremen vertikalen Knochenatrophien aufgrund des Weichgewebslagers und der ungünstigen Hebelverhältnisse erst gar nicht realisieren. Die Indikationsstellung für Kurzimplantate ist daher eine vollkommen andere als bei der HGSO.

Zusammenfassend entspricht die Verlustrate der HGSO ungefähr denen beim Sinuslift oder Bone-Splitting. Im Vergleich zur Distraktionsosteogenese werden im Unterkiefer sogar bessere Ergebnisse erreicht. Unter Würdigung der wissenschaftlichen Einstufung von Frühverlusten (23) liegen die Überlebensraten bei der HGSO mit 98 % deutlich über denen der anderen Techniken.

4.1.4 **Komplikationen**

Komplikationen bei der HGSO waren in 2,9 % der Fälle infektiöser Natur, mit 5,8 % Parästhesien und 9 % Implantatverluste. Die Parästhesien waren nur vorübergehend und besserten sich im Heilungsverlauf. Die Implantatverluste, bei denen es sich um 71,4 % Frühverluste vor Freilegung handelte, waren auf die schlechte Compliance und Mundhygiene der betroffenen Patienten zurückzuführen.

Die Hauptkomplikation des Sinuslift ist die Perforation der Schneiderschen Membran der Kieferhöhle mit bis zu 35 % beim internen Sinuslift und 19,5 % beim externen Sinuslift (66, 69). Eine unverletzte Kieferhöhlenschleimhaut ist für die Funktion und

Clearance der Kieferhöhle von Wichtigkeit (71). Diese trat bei der HGSO nicht auf, da die Membran fest am kranialen Knochendeckel adhärent verblieb. Die Infektionsrate des Sinuslifts liegt bei 2,9 % und entspricht in etwa der der HGSO. Die Überlebensraten der Implantate sind der der HGSO vergleichbar.

Bei der Onlay-Osteoplastik kommt es nach Angaben der Literatur in 12,5-33 % zur Freilegung und zum teilweisen Verlust des Augmentats (24). Diese Komplikation ist bei der HGSO postoperativ nicht aufgetreten, was diese Technik besonders auszeichnet. Denn bei vertikaler knöcherner Augmentation stellt dies bei der Onlay-Osteoplastik immer eine große Gefahr dar (24, 27).

Die Technik des Bone-Splitting verzeichnet als Hauptkomplikation in 29 % der Fälle die Fraktur des bukkalen Knochenfragments. In der Folge kann es zur Resorption des bukkalen Knochens kommen (24, 27). Frakturen der einzelnen Knochenanteile wurden bei der HGSO nicht beobachtet.

Mit 22,4 % liegt Komplikationsrate bei der Distraktionsosteogenese sehr hoch. Vor allem durch die Palatinalkippung des Segments wird die Implantation erschwert (27). Aufgrund der schlechteren Knochenqualität des stark augmentierten Knochens ist die Stabilität der Implantate schlechter und scheitert in 10 % (72). Weiterhin kann es zu Infektionen und Fraktur des Distraktors kommen (25). Bei der HGSO sind diese Komplikationen nicht bekannt.

Die Komplikationsrate bei der HGSO ist also gering und gut zu handeln. Um generell die Komplikations- und Implantatverlustrate gering zu halten, ist ein hochwertiges Knochenlager erforderlich (73). Dies ist durch die permanente Versorgung des Knochens durch die Stielung gegeben. Die Parästhesien verschwanden mit der Zeit. Implantatverluste wurden v.a. bei Patienten mit schlechter Compliance verzeichnet. Diese müssen bei zukünftigen Untersuchungen von der Studie ausgeschlossen werden. Insgesamt war trotz der Komplikationen die prothetische Versorgung der Patienten in 100 % der Fälle suffizient möglich.

4.2 Augmentationstechniken

4.2.1 HGSO

Durch die HGSO können extrem atrophierte Kieferkämme sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen knöchern zuverlässig und anatomisch korrekt rekonstruiert werden. Vor allem hat sich die Verwendung piezochirurgischer Instrumente für diese Technik als sehr hilfreich erwiesen. So wird durch die Piezochirurgie das Risiko des Kollateralschadens an Weichgewebe und Knochen gering gehalten, wodurch eine bessere Wundheilung resultiert. Dies ist gerade bei der Ausgangssituation extrem atrophiert Kiefer von Vorteil (29, 74).

Durch das zweizeitige Vorgehen resultieren längere Behandlungszeiten für die Patienten (ca. 6 Monate). Allerdings ist das zweizeitige Vorgehen bei den klinischen Fällen dieser Studie für alle Oberkiefertechniken obligat. Insofern kann dieses Manko als eine unumgängliche therapeutische Notwendigkeit angesehen werden. Die Erfolgsraten der zweizeitigen Implantation sind aber nach der Einheilungszeit des Knochenaufbaumaterials von drei Monaten aussichtsreicher (13). Für xenogene Ersatzmaterialien werden 6 - 9 Monate Einheilzeit empfohlen. Zudem wird ein zweizeitiges Vorgehen der Augmentation und Implantation ab einer Knochendicke geringer als 4 - 5 mm empfohlen (71, 75), da diese als risikoreich gelten (15). Hauptkriterium für die Entscheidung für ein einzeitiges Vorgehen ist die Primärstabilität der Implantate (71). Die chirurgische Technik der HGSO verlangt aufgrund der extremen knöchernen Ausgangssituation immer eine zweizeitige Vorgehensweise. Eine gleichzeitige Inzision zur Implantatinsertion würde zudem die Trophik der verlagerten Knochensegmente beeinträchtigen.

Im Rahmen der jährlichen Implantatkontrollen wurde der Behandlungserfolg regelmäßig überprüft (Untersuchungszeitpunkte T5, T6). Die Nachuntersuchungen erstreckten sich auf einen Zeitraum von 3 Jahren. Nach Schlegel et. al. ist ein augmentierter Knochen nach einem Zeitraum von 5 Jahren stabil, es sind dann keine weiteren Veränderungen mehr zu erwarten (23). Bei den hier vorgestellten Ergebnissen über die HGSO ist also noch ein gewisses Restrisiko eines weiteren Knochenschwundes möglich. Entsprechend diesen Ergebnissen ist im vierten postoperativen Jahr nur noch ein durchschnittlicher Knochenverlust von 0,64 % und im fünften postoperativen Jahr ein Verlust von 0,61 % zu erwarten (23). Die Studie bezieht sich allerdings nur auf den Sinuslift und die Onlay-Osteoplastiken. Aus den genannten

Gründen der Knochenstielung sind bei der HGSO eher bessere Ergebnisse zu erwarten.

Die Komplikationen der HGSO sind bei guter Compliance gering. Vier der fünf verloren gegangenen Implantate konnten erfolgreich nachimplantiert werden. In einem Fall war eine ausreichende prothetische Versorgung dennoch möglich, daher wurde hier auf eine Reimplantation verzichtet. Die Abbildung 30 verdeutlicht, dass es sich bei dem Großteil der Implantatverluste um Frühverluste (71,4 %) handelte, die bereits zum Zeitpunkt der Freilegung nicht mehr *in situ* waren. Würden die Kriterien nach internationalen Standards angelegt werden und ein Verlust erst ab Vorhandensein der prothetischen Versorgung gewertet werden, so würden die Erfolgsraten von derzeit 91 % auf 98 % ansteigen (vgl. Abschnitt 3.3).

In der aktuellen Literatur wird ein Trend hin zu Inlay-Osteoplastiken beschrieben (25). Die Osteotomie der Sandwichosteoplastik entspricht der Osteotomie der Distraktionsosteogenese, der Knochen wird dabei direkt durch die Einlage von Knochenersatzmaterialien oder autologen Knochen in die entstandene Lücke fixiert (25). Dies kann zusätzlich über Osteosyntheseplatten geschehen, bei der HGSO kann darauf verzichtet werden (5, 25). Walter und Al-Nawas beschreiben, dass zur Gewinnung von vertikaler Knochenhöhe die Distraktionsosteogenese technisch aufwändig und zeitintensiv sei, weswegen im Unterkiefermolarenbereich die Sandwichtechnik vor allem zur Anwendung komme (25). Es wird in dieser Arbeit beschrieben, dass keine der Techniken die Erfolgsrate etablierter Verfahren wie die des Sinuslifts erreicht. Die vorliegenden Ergebnisse dieser Arbeit zeigen jedoch erstmals, dass die HGSO in *puncto* Knochengewinn, Stabilität und Langzeitüberleben der Implantate sehr wohl mit der Methode des Sinuslifts vergleichbar ist. Dies wird vor allem durch den Erhalt der Trophik des Knochens sowie die minimalinvasive Präparationstechnik dank piezochirurgischer Instrumente gewährleistet. Terheyden beschreibt die Sandwichosteoplastik mit Knochenersatzmaterial entsprechend als alternative Technik zu früheren umfangreichen Augmentationen mit Beckenkamm (76). Durch die Einlagerung des Knochentransplantates in den Osteotomiespalt und die Stielung von zwei Seiten kann es optimal versorgt werden und ist so im Vergleich zu Onlay-Osteoplastiken besser gegen Dehiszenzen und Infektionen geschützt. Die durch Inlay-Osteoplastiken gewonnene Knochenhöhe liegt bei 5 - 9 mm (25, 77). Diese Werte liegen etwas höher als die durch unsere Studie ermittelte Knochenhöhe. Zur Erinnerung sei erwähnt, dass von ungleich schwierigen Ausgangssituationen ausgegangen wird, wenn man Sinuslift und HGSO vergleichen will.

4.2.2 **Sinuslift**

In einem systematischen Review von Tan und Mitarbeitern wurde der interne Sinuslift über den transalveolaren Zugang nachuntersucht (66). Nach Tan liegt die Überlebensrate der Implantate nach 3 Jahren bei 92,8 % und ist damit vergleichbar mit der HGSO. Eine Versorgung von stärker atrophierten Kiefern mit Knochenhöhen geringer als 2 - 3 mm sind durch einen zweizeitigen internen Sinuslift möglich (12). Ab einer Knochenhöhe von weniger als 4 mm nahm aber auch die Überlebensrate stark ab und betrug nur noch 85,7 %. Ein durchschnittlicher Knochengewinn durch den internen Sinuslift von 1,7 - 4,1 mm konnte dabei verzeichnet werden. Diese Knochenverhältnisse sind mit denen in dieser Studie beschriebenen vergleichbar. Durch die HGSO konnte im Oberkiefer mit + 5,2 mm ein deutlich höherer Knochengewinn erzielt werden. Eine Perforation der Schneiderschen Membran stellt die Hauptkomplikation des Sinuslifts dar und erfolgt in bis zu 35 % der Fälle (78). Diese kann durch die Vorgehensweise bei der HGSO zuverlässig vermieden werden. Das Infektionsrisiko beim Sinuslift mit nur 0,8 % ist sehr gering und somit niedriger als bei der HGSO, bei der es auch nur in einem Fall zu einer Infektion kam (2,9 %). Der entscheidende Vorteil der HGSO gegenüber dem Sinuslift liegt in seiner Fähigkeit, vertikale Defizite anatomiegerecht zu korrigieren und dadurch günstigere prothetische Achsenverhältnisse beim vertikalen Knochendefizit zu schaffen.

Der Median der anfänglichen Knochenhöhen der durch die HGSO versorgten Patienten lag bei 4,1 mm im Oberkiefer. Bei einem Großteil (75 %) der von uns versorgten Patienten wäre wegen der geringen Knochenstärke im Oberkiefer ein interner Sinuslift über den transalveolären Zugang gar nicht mehr möglich gewesen. Insofern werden auch hier klinisch wieder unterschiedliche Schwierigkeitsgrade verglichen.

Das systematische Review von Pjetursson und Mitarbeitern 2008 behandelt den offenen Sinuslift mit einem lateralen Zugang über ein Fenster zur Kieferhöhle (69). Die durchschnittlichen Knochenhöhen der untersuchten Studien lagen anfangs unter 6 mm, weswegen ein interner Sinuslift nicht mehr zu empfehlen war. Dennoch lag auch hier mit 19,5 % eine hohe Rate an Perforationen der Schneiderschen Membran vor (69). Insgesamt liegt die Komplikationsrate bei 4,7 % (24). In 2,9 % der Fälle kam es zu einer Infektion und in 1,9 % zu einem Augmentatverlust, was gering höher ist als bei der HGSO. Die Überlebensraten der Implantate nach drei Jahren liegen bei einem einzeitigen Vorgehen bei 88,5 % und bei zweizeitiger Implantation bei 90,9 % (69). Hier zeigt die HGSO deutlich bessere Ergebnisse mit Überlebensraten im Oberkiefer von 94 %. Das bedeutet, dass unter schwierigen klinischen Bedingungen der offene

Sinuslift zur Anwendung kommt, der dann mit der HGSO in Sachen Überlebensrate nicht vergleichbar ist.

Der Zugang zum externen Sinuslift sollte über eine krestale Schnittführung erfolgen, um spätere Dehiszenzen und die Freilegung der Membran zu vermeiden (71). Dies bedeutet für die bukkale Knochenwand eine vollständige Denudierung mit dem Nachteil von erschweren Wundheilungsverläufen. Die HGSO lässt das krestale spätere Weichgewebslager unangetastet und gewährleistet so unversehrte Schleimhautverhältnisse.

Die klassische Verwendung rotierender Instrumente wie Rosenbohrer, um das Knochenfenster für den Sinuslift zu schaffen, schafft einen knöchernen Defekt. Hier wird mittlerweile, wie bei der HGSO, die Verwendung piezochirurgischer Instrumente empfohlen, was zusätzlich die Schneidersche Membran schonen soll (63). Eine Perforation durch rotierende Instrumente wird in 7-56 % der Operationen beschrieben, durch die Piezochirurgie kommt es in 5 % zu Membranverletzungen. Bei der HGSO war keine Eröffnung der Kieferhöhle aufgetreten.

Der Sinuslift über das laterale Kieferhöhlenfenster kann am ehesten mit den Ergebnissen der HGSO im Oberkiefer verglichen werden. Vorteil bei der HGSO gegenüber den Sinuslifttechniken ist dabei die anatomisch angestrebte Rekonstruktion des Ausgangszustandes (vor Atrophie) bei der nicht die Kieferhöhle aufgefüllt, sondern das notwendige Knochenvolumen durch Verlagerung des krestalen Knochensegments nach inferior reponiert wird. Dadurch resultiert ein vorteilhafteres Verhältnis zwischen Kronen- und Implantatlänge verbunden mit der Schaffung eines guten Weichgewebslagers durch vertikale Distraktion.

4.2.3 Onlay-Osteoplastik

Die Indikation der Onlay-Osteoplastik ist ebenso wie die der HGSO im Gegensatz zum Sinuslift nicht eingeschränkt. Sie ist die einzige der dargestellten Methoden, mit der auch ein 1 mm hoher Kieferkamm zur Kieferhöhle hin aufgebaut werden kann sowohl in horizontaler als auch vertikaler Richtung. Insofern ist diese Methode am ehesten vergleichbar, wenn es um Gewinn an Knochenhöhe oder Komplikationen geht. Vertikal kann dabei durch das Auflagern von Knochenblöcken ein durchschnittlicher Gewinn an Knochensubstanz von 4,7 mm erzielt werden (24). Dies ist mit der Augmentation durch die HGSO vergleichbar.

Durch den vertikalen Knochenaufbau ergeben sich bei der Onlay-Osteoplastik jedoch häufiger Komplikationen. Dies ist auch leicht nachvollziehbar, wenn man bedenkt, dass der aufgebaute Knochen nun noch mit der durch die Atrophie geschrumpften Schleimhaut plastisch gedeckt werden muss. Ebendiese Problematik führt zu den erhöhten Komplikationsraten im Vergleich zur HGSO. In 12,5 - 33 % kam es in verschiedenen Studien zu einer Freilegung des Augmentats und in 8 - 20 % der Fälle zu einem Augmentatverlust (24). Dadurch, dass bei der HGSO die Schnittführung hoch im Vestibulum in der beweglichen Schleimhaut erfolgt und das Augmentat zwischen zwei gestielten Knochenfragmenten "eingelagert" werden kann, gelingt ein besserer Wundverschluss und Dehiszenzen treten weniger häufig auf. Eine Verfärbung des oberen Anteils des Augmentats wurde im Rahmen der Onlay-Plastik vermehrt bei der Freilegung in einer Studie von Roccuzzo berichtet. Dieses musste vom Behandler abgetragen werden und führte zu einer Komplikationsrate von 25 % (79), während die Komplikationsrate bei der HGSO bei 18 % liegt. Im Gegensatz zur Onlay-Osteoplastik weist die HGSO durch die Stielung des Knochens eine bessere Trophik des Knochens auf, wodurch es weniger Probleme mit der Versorgung des großen Volumens an Knochenersatzmaterial gibt. Es traten keine Komplikationen des Augmentats im Sinne von Exposition oder Verfärbung auf. Dichte und Vaskularisationsgrad des Knochens sind entscheidende Faktoren, die die Umbaurate und den Knochenabbau beeinflussen (38). Durch den Split bei der HGSO kann das Interponat von zwei Seiten mit notwendigen Nährstoffen und Sauerstoff versorgt werden (39), durch die weichgewebige Stielung erfolgt somit sofort postoperativ rundum eine Versorgung mit gut durchblutetem Knochen. Bei der Onlay-Osteoplastik ist einzig das inferiore Transplantatlager verantwortlich für die ausreichende Versorgung. Zur Durchführung einer Onlay-Osteoplastik ist in der Regel die Schaffung eines zweiten Wundgebietes zur Entnahme des Spenderknochens notwendig. Auf dieses kann durch die Benutzung

und Anwendbarkeit der verschiedenen Knochenersatzmaterialien bei der HGSO verzichtet werden, die Entnahmemorbidität entfällt also. Auch im Hinblick auf die Dauer der Einheilung ist die HGSO der Onlay-Osteoplastik überlegen. Da das ideale Material für die Interposition bei der HGSO noch nicht endgültig gefunden ist, stellt zweifellos die Entnahme eines autologen Knochenblocks eine sinnvolle Modifikation der HGSO-Methode dar, die die Komplikationsrate noch weiter senken dürfte allerdings auf Kosten der Morbidität des Patienten. Festzuhalten gilt, dass die HGSO der Osteoplastik im Hinblick auf die Morbidität der Patienten überlegen ist. Allerdings muss gesagt werden, dass die chirurgische Technik der HGSO technisch deutlich anspruchsvoller ist und ein hohes Maß an Erfahrung voraussetzt. Insofern dürften die erfreulichen Ergebnisse dieser Methode in der Hand eines Anfängers nicht zu erwarten sein.

4.2.4 **Bone-Splitting**

Das Bone-Splitting wird vor allem angewendet zur horizontalen Verbreiterung des Knochens, der Gewinn in der Vertikalen liegt daher im Bereich von nur 2,95 mm (24). Die Durchführung der Methode ist ebenfalls anspruchsvoller und damit abhängig von der Erfahrung des Operateurs. Daher sollte auch die Wahl dieser Technik sorgsam erfolgen (24). Nach unserer Erfahrung ist diese Technik ideal, um auf die Technik der HGSO vorbereitet zu werden. Denn die Technik des "Splittings" ist nahezu identisch nur mit dem Unterschied, dass unter Sicht (nicht tunnelierend) gearbeitet wird. Die Komplikationsrate ist vor allem aufgrund häufiger Frakturen des bukkalen Fragments mit 29 % sehr hoch (24). Dies kann die vollständige Resorption der vestibulären Lamelle zur Folge haben mit der Folge des Freiliegens des augmentierten Knochen unter der Schleimhaut (24, 80). Durch die weichgewebige Stielung des Knochens wird bei der HGSO diese Hauptkomplikation der Bone-Split Technik minimiert, die Nutrition des vestibulären Knochens sicherer und somit einer Resorption des Knochens entgegengewirkt (24, 73).

Die Implantatüberlebensrate von 94 % (Range 91 - 97,3 %) ist gegenüber der HGSO leicht besser (27), was zum Teil auf die unterschiedliche Methodik der Messung (Verluste bei der Freilegung nicht erfasst) zurückzuführen ist. Der Fokus der Augmentation liegt hier vor allem in der Verbreiterung des Knochens. Wie bei der Technik der HGSO wird ein geringes vorhandenes Knochenangebot optimal genutzt und es kann durch die Verwendung xenogener oder alloplastischer Knochentransplantate auf die Entnahme von autologem Knochen verzichtet werden (73, 80). Die Implantate stehen trotzdem im lokalen Knochen (73).

Auch beim Bone-Splitting gibt es Ansätze zur alleinigen Präparation von Mukosalappen, um durch das Periost die Versorgung des Knochens zu erhalten (73). Dies zeigt, dass die Versorgung des Knochens, wie bei der HGSO gewährleistet, mehr und mehr im Fokus des Handelns steht.

4.2.5 **Distraktionsosteogenese**

Der Anwendungsbereich der Distraktionsosteogenese erstreckt sich wie der der HGSO grundsätzlich auf alle Bereiche des Kiefers. Chiapasco fasst in seinem Review jedoch zusammen, dass die Methode eher für die Mandibula geeignet sei, da im Oberkiefer die Kieferhöhle und die feste palatinale Mukosa die Möglichkeiten einschränken und oft nicht genügend anfängliches Knochenangebot vorhanden ist (27). Ein Vorteil der Methode ist in dem Verzicht auf transplantierten Eigen- oder Fremdknochen zu sehen, da der vorhandene Knochen in der Technik nach Ilizarov distrahiert wird (6, 25). Unter Betrachtung der erwähnten Techniken stellt die HGSO eine Kombination aus Split-Technik und Distraktionsosteogenese dar.

Nach der Distraction konnten mit dieser Methode in vertikaler Richtung im Durchschnitt 7,08 mm Knochenzuwachs (Range 4,58 - 10,9 mm) erzielt werden (24). Vor allem im Unterkiefer konnte durch die HGSO nicht derart viel Knochen aufgebaut werden, da das Weichteillager für die einseitige Distraction klare Grenzen setzt. Trotz des hohen Zuwachses an Knochenhöhe durch die Distraktionsosteogenese gelang laut einer Studie von Jensen nicht unbedingt eine stabilere Verankerung der Implantate, da die Knochenqualität nach Distraktionsosteogenese schlecht war. Dies führte in 10 % der Fälle zu einem Scheitern der Implantate (72). Milinkovic berichtete von einer Implantaterfolgsrate von 93,3 % (24). Diese Werte entsprechen in etwa denen der HGSO. Zusammenfassend stellt er dar, dass die durchschnittliche Komplikationsrate bei 22,4 % lag, was deutlich höher ist als bei der HGSO, und auf die exogene Infektion über die in der Mundhöhle getragenen Apparaturen zurückzuführen ist.

Chiapasco stellte heraus, dass es bei der Durchführung der Distraktionsosteogenese regelmäßig zu einer Lingual- beziehungsweise Palatinalkippung des distrahierten Segments kommt (13 - 35,5% der Fälle) (27). Derartige Kippungen traten bei der HGSO nicht auf. Zudem lässt sich dadurch, dass das spätere krestale Implantatlager durch die HGSO geschont wird, die Richtung des Aufbaus durch die HGSO sehr gut steuern. Der Kieferkamm wird in die gewünschte, an die ursprünglichen Verhältnisse angelehnte Position aufgebaut. Der Einbau des Distraktors verlangt eine Denudierung des Gewebes mit relativ großer Wundfläche. Außerdem ist das circa 6 Wochen lange Tragen des Geräts für die Patienten nicht angenehm. All das entfällt bei der HGSO.

Gegenüber der direkten Augmentation von großen Volumina durch die anderen Methoden ist bei der Distraktionsosteogenese von Vorteil, dass die Entnahmemorbidität autologen Knochens entfällt und das oft geringe Weichgewebe langsam mit

gedehnt wird (25). Dehiszenzen werden so vermieden, sind jedoch bei der HGSO auch nicht aufgetreten. Hinsichtlich des Implantatüberlebens (93,3 %) sind keine größeren Unterschiede zu anderen Verfahren zur vertikalen Augmentation zu erkennen (66).

Es wird hier deutlich, dass bei der HGSO Grundzüge der Distraktionsosteogenese mit dem Bone-Splitting vereint werden. Wie beim Bone-Splitting wird ein Spalt geschaffen, in welchen das Knochenersatzmaterial direkt eingelagert wird. Elemente der Distraktionsosteogenese sind die vertikale Richtung des Knochenaufbaus entsprechend der ursprünglichen Anatomie sowie der Gedanke der guten Trophik der Knochenfragmente, welche das Augmentat von beiden Seiten versorgen.

4.2.6 Kurzimplantate

Eine Augmentation des Knochens ist notwendig, wenn Implantate in Standardgrößen nicht stabil im vorhandenen Restknochen verankert werden können. Es gibt inzwischen chirurgische Alternativen zur Augmentation.

Der Einsatz von kurz dimensionierten Implantaten stellt eine einfache und kostengünstige Möglichkeit dar, um Zahnersatz im Kiefer zu verankern, wenn das vorhandene Knochenangebot zwischen 4 - 6 mm liegt (81). Diese kurzen Implantate haben Längen von 5 - 8 mm (82). Durch Vermehrung der Implantat- und somit der Pfeilerzahl ist es möglich, die Prothetik stabil zu verankern. Die Überlebensrate liegt bei verschiedenen Studien bei 80 - 90 %, in neueren Studien schon bei 98 - 100 %. Ein zu geringes Knochenvolumen gilt hier aber grundsätzlich als Kontraindikation (83).

Unter unseren klinischen Bedingungen stellen diese kurz dimensionierten Implantate jedoch keine Therapiealternative dar. Denn das Knochenangebot ist nicht ausreichend für die Aufnahme dieser kurzen Implantate, zumindest was die Knochenhöhen im Oberkiefer angeht. Außerdem würden die daraus resultierenden vertikalen Achsenverhältnisse aus Implantatlänge zu Kronenlänge unverhältnismäßig ungünstig sein für die spätere prothetische Versorgung. Durch die HGSO ist es dagegen möglich, den Patienten prothetisch festsitzend mit Einzelzahnkronen und Brückenkonstruktionen suffizient zu versorgen. Dies ist für den Tragekomfort der wichtig, weswegen die HGSO hier einen entscheidenden klinischen Vorteil verschafft.

4.2.7 Vergleich der Methoden

Die in der Literatur beschriebenen und weiter oben dargestellten Methoden des Knochenaufbaus bieten je nach Indikation sehr gute Ergebnisse. Die Vorteile der HGSO sind, neben der schonenden, minimalinvasiven Vorgehensweise, dass sie in allen Kieferbereichen anwendbar ist, ästhetisch anspruchsvolle Ergebnisse liefert und die Morbidität gering ist. Ein zweiter Entnahmedefekt entfällt.

In Bezug auf die augmentierte Knochenhöhe ist die HGSO den Sinusliftmethoden knapp überlegen. Die Onlay-Osteoplastik erzielt ähnliche Ergebnisse, lediglich durch die Distraktionsosteogenese kann mehr vertikaler Knochen aufgebaut werden.

Die Implantatverlustraten sind mit 91 % entsprechend den Zahlen des Sinuslifts und des Bone-Splittings besser als bei der Distraktionsosteogenese. Rechnet man die bei unserer Studie einbezogenen Frühverluste nicht hinzu, liegt das Implantatüberleben bei der HGSO bei 98 %. Weitere Probleme waren mit 2,9 % Infektionen und 5,8 % temporäre Parästhesien. Perforationen der Schneiderschen Membran, wie es bei den Sinusliftmethoden vorkommt, oder Dehiszenzen wie bei der Onlay-Osteoplastik traten nicht auf. Es kam weiterhin zu keiner Fraktur des segmentierten Knochens. Durch die HGSO wird also bei geringer Komplikationsrate ein suffizientes Lager zur Implantation geschaffen. Alle aufgetretenen Komplikationen waren gut zu behandeln, sodass am Ende alle Patienten mit festsitzender Prothetik versorgt werden konnten.

Hinsichtlich der Implantatüberlebensrate, der Komplikationsrate und den geringen Einschränkungen der Indikation ist der externe Sinuslift am ehesten mit den Erfolgen der HGSO zu vergleichen. Allerdings hinkt der Vergleich schon deswegen, weil bei unseren klinischen Fällen eine Sinuslifttechnik medizinisch gar nicht mehr vertretbar war und daher ein Erfolgsvergleich bei unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad nicht sinnvoll erscheint.

Die Onlay-Osteoplastik ist wie die HGSO wenig limitiert und kann bei extremer Atrophie angewendet werden. Die schonendere minimalinvasive Vorgehensweise der HGSO gewährleistet eine gute Versorgung des Knochens mit Nährstoffen und Sauerstoff von beiden Seiten des Augmentats. Durch die Möglichkeit der Verwendung von Knochenersatzmaterialien wird der HGSO ein deutlicher Vorteil gegenüber der Onlay-Osteoplastik, bei der überwiegend autogener Knochen transplantiert wird, verschafft, da die Entnahmemorbidität für den autogenen Knochen entfällt (21, 25). Beim Bone-Splitting werden leicht bessere Ergebnisse hinsichtlich des Implantatüberlebens erzielt. Hier ist die HGSO jedoch aufgrund der geringen

Komplikationsrate, der permanenten Stielung des Knochens und Unversehrtheit des Krestalen späteren Implantatlagers überlegen. Im Vergleich zur Distraktionsosteogenese ist das Implantatüberleben nach HGSO besser. Zudem sind der technische Aufwand und die Belastung für den Patienten bei der HGSO geringer. Durch die Insertion von Zygomaimplantaten oder von Kurzimplantaten kann gegebenenfalls eine Augmentation vermieden werden. Die auf diesen Implantaten basierenden Versorgungen sind jedoch eher Teil- beziehungsweise vollprothetische Arbeiten (84). Das Indikationsgebiet der HGSO zielt vorwiegend auf kleinere, festsitzend zu versorgende Areale ab. Daher stellen diese Behandlungsweisen keine Alternativen zur HGSO dar.

Da es sich um eine retrospektive Studie handelt, wurden alle Patienten, bei denen die HGSO bislang durchgeführt wurde, in die Untersuchungen mit einbezogen. Bei der Patientenauswahl wurde nicht streng auf die zu erwartende Compliance und Faktoren wie ausreichende Mundhygiene und Rauchen geachtet. Bei diesen Patienten zeigten sich, wie zu erwarten, Komplikationen, die die Ergebnisse negativ verzerren. Dies bedeutet, dass die Einschlusskriterien für eine Operation noch strenger definiert werden müssen. Raucher sollten grundsätzlich von einer solchen Therapie ausgeschlossen werden.

Der Trend in der augmentierenden Chirurgie der Kiefer geht in die Richtung der gestielten Techniken, dem wichtigsten Aspekt der HGSO (25). Es wird besonders Wert auf die schonende Präparation und die Trophik des Knochenlagers gelegt, um auch bei schwierigen Knochenverhältnissen die gute Einheilung des Knochenersatzmaterials und somit den Erfolg der Augmentation zu gewährleisten (73). Verfahren wie die Distraktionsosteogenese oder Knochengewinnung von extraoralen Spenderarealen sind technisch aufwändig und langwierig (25). Terheyden plädiert für die Reduktion komplexer Augmentationen und spricht sich für die Interpositionsosteoplastiken aus, auch um Komplikationen zu verringern (76). Dies verdeutlicht nochmals die Bedeutung der HGSO und zeigt, dass diese Technik den aktuellen Entwicklungen entspricht. Bei guter Patientencompliance hat die HGSO ausgezeichnete Erfolgsaussichten und stellt ein Augmentationsverfahren dar, welches bei schwierigen Knochenverhältnissen universell anwendbar ist, ohne dabei zu komplex zu sein.

4.3 Limitationen der Studie

Die Aussagekraft der Studie ist limitiert durch die retrospektive Betrachtung. Da die Daten zurückblickend aus den Informationen der Behandlungen im Alltag der Praxisklinik gewonnen wurden und die Studie nicht prospektiv angelegt war, sind weder das Implantatsystem noch das Augmentationsmaterial konstant. Ebenso handelt es sich bei der Beobachtungszeit nur um eine mittlere Beobachtungszeit. Dadurch gibt es eine Menge Einflussfaktoren auf den Knochengewinn, welcher das Hauptresultat der Studie darstellt.

Des Weiteren gibt es keine Kontrollgruppe. In einigen Fällen ist dies durch die fehlende Indikation alternativer Behandlungen, beispielsweise zu geringe Knochenhöhe beim Sinuslift, begründet.

Ein Ethikantrag liegt nicht vor, da es sich um eine retrospektive Studie handelt, bei der die vorliegenden Daten über Augmentationen und Implantationen im Rahmen der Nachuntersuchungen der Eingriffe im Praxisalltag gewonnen wurden. Die Informationen sind nicht auf einzelne Patienten zurückzuführen, d.h. der Datenschutz ist berücksichtigt. Die verwendeten Medizinprodukte (Implantate, Knochenersatzmaterialien) sind umfassend erprobt und im Klinikalltag etabliert.

Eine Einschränkung oder Vorauswahl des Patientenkollektivs hinsichtlich Rauchens und Mundhygiene hat nicht stattgefunden, was bedeutet, dass eine Vielzahl von Cofaktoren möglicherweise den Knochengewinn mit beeinflusst haben. Die Komplikationen weisen darauf hin, dass vor allem das Rauchen ein wichtiger Faktor für den Implantaterfolg darstellt. Dies sollte bei weiteren Studien als Ausschlusskriterium gelten.

Die zum Teil multiplen Eingriffe pro Patient bei dem vergleichsweise kleinen Patientenkollektiv führen zu einem Bias durch den Patientenfaktor. Den multiplen Vergleichen zu verschiedenen Zeitpunkten wurde jedoch durch die Bonferroni Holm-Korrektur des Alpha-Niveaus Rechnung getragen.

Eine Validierung der Röntgenauswertung hat nicht stattgefunden, eine Inter- und Intrarater-Reliabilität wäre zur Darstellung der Unabhängigkeit der erhobenen Daten vom Beobachter wünschenswert gewesen.

Eine Folgestudie müsste klar definierte Indikationen haben im Vergleich zu Therapiealternativen.

Trotz aller Limitationen gibt die Studie erste Hinweise auf einen Therapieerfolg bzw. die klinische Praktikabilität der horizontalen gefäßgestielten Splitosteotomie.

5 Zusammenfassung

Die Implantation im stark atrophen Ober- und Unterkiefer stellt eine besondere implantologische Herausforderung dar. Die horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie (HGSO) ist eine neue chirurgische Augmentationsmethode, die bei starker vertikaler und horizontaler Atrophie des Kiefers Anwendung findet. Die Technik der HGSO wurde in allen Kieferbereichen angewendet (N = 34). Sie zeichnet sich im Gegensatz zu den bekannten Techniken vor allem durch die permanente Stielung des Knochens vestibulär und palatinal aus. Durch die schonende Verwendung der Piezochirurgie wird ein knöcherner Spalt mit einem mobilen Knochensegment geschaffen, zwischen denen mit autogenem, alloplastischem oder kombiniert autogen-alloplastischem Knochen bzw. Knochenersatzmaterial augmentiert werden kann. So wird der Kieferknochen in eine anatomisch gerechte Richtung reponiert. Als eine modifizierte Weiterentwicklung der bisherigen Bonesplittechniken verringert die HGSO die Nachteile durch permanente Stielung der Knochensegmente und damit guter Vaskularisierung des eingebrachten Augmentats. Nach einer Einheilzeit von drei Monaten kann die Implantation erfolgen.

29 Patienten, die über einen Zeitraum von insgesamt drei Jahren retrospektiv nachuntersucht wurden, zeigte teils extrem atrophierte Kieferkämme mit 1,2 mm Knochen zur Kieferhöhle im Oberkiefer und 3,3 mm Abstand zum Mandibularkanal im Unterkiefer. Das Patientenkollektiv wurde im Hinblick auf Qualität, Quantität und Langzeitstabilität der Augmentation, Implantatüberleben und Komplikationen der HGSO nachuntersucht. Im Durchschnitt konnten 4,5 mm (+ 60 %) an Knochenhöhe gewonnen werden, im Oberkiefer lag die Augmentation bei + 102 %, im Unterkiefer bei + 25,9 %. Nach durchschnittlich 3 Jahren waren die Werte stabil. Es konnte ein Zuwachs von insgesamt 45,3 % an vertikalem Knochengewinn dauerhaft geschaffen werden. Im Oberkiefer liegt der Gewinn langfristig bei + 78,4 %, im Unterkiefer bei + 12,9 %. Das Implantatüberleben ergab 91 % nach 3 Jahren.

Die Anwendung der HGSO ist wenig limitiert und kann auch bei atrophierten Kieferkämmen zur Anwendung kommen. Zudem ist durch die Verwendung xenogener und alloplastischer Knochenersatzmaterialien der technische Aufwand moderat.

Die horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie des Ober- und Unterkiefers ist ein zweizeitiges Implantationsverfahren, welches den alternativ verfügbaren Augmentationstechniken (Sinuslift, Onlay-Osteoplastik, Bonesplitting,

Distractionsosteogese) zur Zeit sogar überlegen ist. Weitere Untersuchungen sind notwendig. Wenn bei der Patientenauswahl Raucher ausgeschlossen werden, versprechen die Ergebnisse vor allem im Hinblick auf die Implantaterfolgsrate noch besser zu werden.

6 Literatur

1. Buser D, Mericske-Stern R, Bernard J, Behneke A, Behneke N, Hirt H, et al. Long-term evaluation of non-submerged ITI implants. Part 1: 8-year life table analysis of a prospective multi-center study with 2359 implants. *Clin Oral Implants Res.* 1997;8(3):161-72.
2. Albrektsson T, Branemark P, Hansson H, Lindstrom J. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a long-lasting, direct bone-to-implant anchorage in man. *Acta Orthop Scand.* 1981;52(2):155-70.
3. Tatum O. Maxillary and sinus implant reconstruction. *Dent Clin North Am.* 1987;30:207-29.
4. Boyne P, James R. Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone. *J Oral Surg.* 1980;38:613.
5. Brandtner C, Borumandi F, Krenkel C, Gaggl A. A new technique for a sandwich osteoplasty with interpositional bone grafts for fixation. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29(5):1164-9.
6. Ilizarov G. The principles of the Ilizarov method. *Bull Hosp Jt Dis.* 1988;48:1-11.
7. Ilizarov G. The tension- stress effect on the genesis and growth of tissues: Part I. The influence of stability of fixation and soft tissue preservationpreservation. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;238:249-81.
8. Ilizarov G. The tension- stress effect on the genesis and growth of tissues. Part II: The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop Relat Res.* 1989;239:263-85.
9. Härlé F. Visor osteotomy to increase the absolute height of the atrophied mandible. *J Maxillofac Surg.* 1975;3:257-60.
10. Schettler D. Sandwich- Technik mit Knorpeltransplantat zur Alveolarkammerhöhung im Unterkiefer. IN : K Schuchardt: Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie. 1976;20:61.
11. Kao ST, Scott DD. A review of bone substitutes. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2007;19(4):513-21.
12. Trombelli L, Franceschetti G, Trisi P, Farina R. Incremental, transcrestal sinus floor elevation with a minimally invasive technique in the rehabilitation of severe maxillary atrophy. Clinical and histological findings from a proof-of-concept case series. *J Oral Maxillofac Surg.* 2015;73:861-88.
13. Listl S, Faggion C. An economic evaluation of different sinus lift techniques. *J Clin Periodontol.* 2010;37(8):777-87.
14. Summers R. Sinus floor elevation with osteotomes. *J Esthet Dent.* 1998;10:164-71.

15. Summers R. A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique. *Compend Contin Educ Dent.* 1994;15:152-8.
16. Summers R. The osteotome technique: Part 2. The ridge expansion osteotomy (REO) procedure. *Compend Contin Educ Dent.* 1994;15:422-6.
17. Summers R. The osteotome technique: Part 3. Less invasive methods of elevating the sinus floor. *Compend Contin Educ Dent.* 1994;15:698-708.
18. Summers R. The osteotome technique: Part 4. Future site development. *Compend Contin Educ Dent.* 1995;16:1080-92.
19. Obwegeser HL. Weitere Erfahrungen der aufbauenden Kammplastik. *Schweiz Mschr Zahnheilk.* 1967;77:1002.
20. Coulthard P, Esposito M, Jokstad A, Worthington H. Interventions for replacing missing teeth: bone augmentation techniques for dental implant treatment (Review). *Cochrane Database Syst Rev.* 2006;18(4).
21. Esser E, Hümmcke S, Krebs M, Maier F. The use of allogeneic bone grafts for pre-implant alveolar ridge augmentation. *Z Zahnärztl Impl.* 2016;32(4):284-95.
22. Jensen S, Terheyden H. Bone Augmentation Procedures in Localized Defects in the Alveolar Ridge: Clinical Results with Different Bone Grafts and Bone-Substitute Materials. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24 (Suppl.):218-36.
23. Schlegel K, Karascholi T, Fenner M, Nkenke E. Klinische und radiologische Ergebnisse nach Augmentationen - eine prospektive Evaluation. *Mund Kiefer Gesichtschir.* 2007;11:209-19.
24. Milinkovic I, Cordaro L. Are there specific indications for the different alveolar bone augmentation procedures for implant placement? A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2014;43:606-25.
25. Walter C, Al- Nawas B. Vertikale Augmentation. *Der MKG-Chirurg.* 2016;9:28-34.
26. Khoury F. Augmentative Verfahren in der Implantologie. Berlin: Quintessenz Verlag; 2009.
27. Chiapasco M, Casentini P, Zaniboni M. Bone Augmentation Procedures in Implant Dentistry. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009;24((Suppl.)):237-59.
28. Fuchs E. Garagentor-Distraction Zürich, CH. Available from: <http://bonemanagement.com/content/news/print/Garagedoor-distraction-Layout%201.pdf>.
29. Vercellotti T. Technological characteristics and clinical indications of piezoelectric bone surgery. *Minerva Stomatol.* 2004;53:207-14.
30. Enislidis G, Wittwer G, Ewers R. Preliminary Report on a Staged Ridge Splitting Technique for Implant Placement in the Mandible: A Technical Note. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2006;21:445-9.
31. Kazanjian V. Bone transplanting to the mandible. *Am J Surg.* 1952;83:633-99.

32. Reddi A, Hascall V. Changes in proteoglycan types during matrix-induced cartilage and bone development. *J Biol Chem.* 1978;253:24-9?
33. Burchardt H. The Biology of Bone Graft Repair. *Clin Orthop Relat Res.* 1983;174:28-42.
34. Al- Nawas B, Schiegnitz E. Augmentation procedures using bone substitute materials or autogenous bone. *European Journal of Oral Implantology.* 2014;7(Suppl.):1-16.
35. Urist M. Bone: Formation by Autoinduction. *Science.* 1965;150:893-9.
36. LeGeros R. Properties of Osteoconductive Biomaterials: Calcium Phosphates. *Clin Orthop Relat Res.* 2002;395:81-98.
37. Leimbruckner B, Dielert E, Wolf K. Histomorphometric examinations of free revascularised iliac crest bone after transplantation for mandibular reconstruction. *Microsurgery.* 1995;16:377-82.
38. Adell R, Lekholm U, Rockler B, Branemark P. A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *Int J Oral Surg.* 1981;10(6):386-416.
39. Cutting C, McCarthy J. Comparison of residual osseous mass between vascularized and nonvascularized onlay bone transfers. *Plast Reconstr Surg.* 1983;72(5):672-5.
40. Berglundh T, Lindhe J. Healing around implants placed in bone defects treated with Bio Oss. *Clin Oral Implants Res.* 1997;8(2):117-24.
41. Carini F, Longoni S, Amosso E, Paleari J, Carini S, Parcaro G. Bone augmentation with TiMesh. autologous bone versus autologous bone and bone substitutes. A systematic review. *Ann Stomatol (Roma).* 2014;2(Suppl. 2):27-36.
42. Diès F, Etienne D, Abboud N, Ouhayoun J. Bone regeneration in extraction sites after immediate placement of an e-PTFE membrane with or without a biomaterial. A report on 12 consecutive cases. *Clin Oral Implants Res.* 1996;7(3):277-85.
43. Jensen S, Aaboe M, Pinholt E. Tissue reaction and material characteristics of four bone substitutes. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1996;11:55-66.
44. Rothamel D, Fienitz T, Kielhorn J. Neue augmentative Möglichkeiten durch allogene Knochenersatzmaterialien - Chance oder Risiko? *Quintessenz.* 2015;66:1167-77.
45. Smeets R, Hanken H, Beck-Broichsitter B, Gröbe A, Precht C, Heiland M, et al. Knochenersatzmaterialien. Übersicht und aktuelle Empfehlungen. *Der MKG-Chirurg.* 2016;9:2-11.
46. Piattelli M, Favero G, Scarano G. Bone reactions to anorganic bovine bone (Bio Oss) used in sinus augmentation procedures: A histologic long-term report of 20 cases in humans. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1999;14:835-40.
47. Hallman M, Senneryby L, Lundgren S. A clinical and histologic evaluation of implant integration in the posterior maxilla after sinus floor augmentation with

- autogenous bone, bovine hydroxyapatite, or a 20:80 mixture. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2002;17:635-43.
48. Lee Y, Shin S, Kim J. Bone reaction to bovine hydroxyapatite for maxillary sinus floor augmentation: histologic results in human. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2006;26:471-81.
 49. Solar P, Geyerhofer U, Taxler H. Blood supply to the maxillary sinus relevant to sinus floor elevation procedures. *Clin Oral Implants Res*. 1999;10(1):34-44.
 50. Wallace S, Froum S. Effect of maxillary sinus augmentation on the survival rate of endosseous dental implants. A systematic review. *Ann Periodontol*. 2003;8(1):328-43.
 51. Hallman M, Zetterqvist L. A 5-year prospective follow-up study of implant-supported fixed prostheses in patients subjected to maxillary sinus floor augmentation with a 80:20 mixture of deproteinized bovine bone and autogenous bone. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2004;6(2):82-9.
 52. Bozkurt A, Apel C, Sellhaus B, Van Neerven S, Wessing B, Hilgers R, et al. Differences in degradation behavior of two non- cross- linked collagen barrier membranes: an in vitro and in vivo study. *Clin Oral Implants Res*. 2014;25:1403-11.
 53. Park S, Lee K, Oh T, Misch C, Shotwell J, Wang H. Effect of absorbable membranes on sandwich bone augmentation. *Clin Oral Implants Res*. 2008;19(1):32-41.
 54. Karoussis I, Brägger U, Salvi G, Bürgin W, Lang N. Effect of implant design on survival and success rates of titanium oral implants: a 10-year prospective cohort study of the ITI Dental Implant System. *Clin Oral Implants Res*. 2004;15(1):8-17.
 55. Schatzker JG, Horne JG, Summer-Smith G. The effect of movement on the holding power of screws in bone. *Clin Orthop*. 1975;111:257-62.
 56. Brägger U, Gerber C, Joss A. Patterns of tissue remodeling after placement of ITI (R) dental implants using an osteotome technique: a longitudinal radiographic case cohort study. *Clin Oral Implants Res*. 2004;15:158-66.
 57. Del Fabro M, Testori T, Francetti L. Systematic review of survival rates for implants placed in the grafted maxillary sinus. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2004;24:565-77.
 58. Rodoni L, Glauser R, Feloutzis A. Implants in the posterior maxilla. A comparative clinical and radiologic study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2005;20:231-7.
 59. Simonis P, Dufour T, Tenenbaum H. Long- term implant survival and success: a 10- 16 year follow- up of non- submerged dental implants. *Clin Oral Implants Res*. 2010;21(7):773-7.
 60. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1986;1:11-25.

61. Albrektsson T, Branemark P, Eriksson A, Lindström J. The preformed autologous bone graft. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg.* 1978;12:215-23.
62. Naert I, Quirynen M, van Steenberghe D, Darius P. A six-year prosthodontic study of 509 consecutively inserted implants for the treatment of partial edentulism. *J Prosthet Dent.* 1992;67(2):236-45.
63. Vercellotti T, De Paoli S, Nevins M. The piezoelectric bony window osteotomy and sinus membrane elevation: Introduction of a new technique for simplification of the sinus augmentation procedure. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2001;21:561-7.
64. Harder S, Wolfart S, Mehl C, Kern M. Leistung von Ultraschallgeräten in der Knochenchirurgie und damit verbundene Temperaturrentwicklung im Knochen. *Implantologie.* 2009;17(3):305-13.
65. Holm S. A simple sequential rejective method procedure. *Scandinavian Journal of Statistics.* 1979;6:65-70.
66. Tan CT, Lang N, Zwahlen M, Pjetursson BE. A systematic review on the success of sinus floor elevation and survival of implants inserted in combination with sinus floor elevation - Part II: Transalveolar technique. *J Clin Periodontol.* 2008;35(Suppl 8):241-54.
67. Smeets R, Hanken H, Jung O, al e. Was können regenerative Materialien in der Zahnmedizin leisten. und wo sind die Grenzen? *Dtsch Zahnärztl Z.* 2014;12:708-21.
68. Kolk A, Handschel J, Drescher W, Rothamel D, Kloss F, Blessmann M, et al. Current trends and future perspectives of bone substitute materials - from space holders to innovative biomaterials. *J Craniofac Surg.* 2012;40(8):706-18.
69. Pjetursson BE, Tan CT, Zwahlen M, Lang N. A systemativ review of the success of sinus floor elevation and survial of implants inserted in combination with sinus floor elevation - Part I: Lateral approach. *J Clin Periodontol.* 2008;35(Suppl 8):216-40.
70. Pabst A, Walter C, Ehbauer S, Zwiener I, Ziebart T, Al-Nawas B, et al. Analysis of implant-failure predictors in the posterior maxilla: a retrospective study of 1395 implants. *J Craniomaxillofac Surg.* 2015;43(3):414-20.
71. Dawirs K, Haßfeld S. Sinusbodenelevation. *Der MKG-Chirurg.* 2016;9:12-9.
72. Jensen O, Cockrell R, Kuhike L, Reed C. Anterior maxillary alveolar distraction osteogenesis: 1 prospective 5- year clinical study. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2002;17:52-68.
73. Mertens C, Hoffmann J. Horizontale Knochenaugmentationen. *Der MKG-Chirurg.* 2016;9:20-7.
74. Altiparmak N, Soydan S, Uckan S. The effect of conventional surgery and piezoelectric surgery bone harvesting techniques on the donor site morbidity of the mandibular ramus and symphysis. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2015;44:1131-7.

75. Smiler DG, Johnson PW, Lozada JL, Misch C, Rosenlicht JL, Tatum O, et al. Sinus lift grafts and endosseous implants. Treatment of the atrophic posterior maxilla. *Dent Clin North Am.* 1992;36:151-86
76. Terheyden H. Komplexe Augmentationen. *Der MKG-Chirurg.* 2016;9:35-43.
77. Laino L, Iezzi G, Piattelli A, Lo Muzio L, Cicciu M. Vertical ridge aufmentation of the atrophic posterior mandible with sandwich tenique: bone block from the chin area versus corticocancellous bone block autograft - clinical and histological prospective randomized controlled study. *Biomed Res Int.* 2014;2014:982104. doi: 10.1155/2014/982104. Epub 2014 Apr 29.
78. Meleo D, Mangione F, Corbi S, Pacifici L. Management of the schneiderian membrane perforation during the maxillary sinus elevation procedure: a case report. *Ann Stomatol (Roma).* 2012;III(1):24-30.
79. Roccuzzo M, Ramieri G, Bunino M, Berrone S. Autogenous bone graft alone or associated with titanium mesh for vrtial alveolar ridge augmentation: a controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res.* 2009;18:286-94.
80. Ella B, Laurentjoye M, Coutant J, Masson E, Rouas A. Mandibular Ridge Expansion Using a Horizontal Bone- Splitting Technique and Synthetic Bone Substitute: An Alternative to Bone Block Grafting? *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2014;29:134-40.
81. Esposito M, Grusovin M, Rees J, Karasoulos D, Felice P, Alissa R, et al. Effectiveness of sinus lift procedures for dental implant rehabilitation: a Cochrane systematic review. *European Journal of Oral Implantology.* 2010;3(1):7-26.
82. Renouard F, Nisand D. Impact of implant lenght and diameter on survival rates. *Clin Oral Implants Res.* 2006;17((suppl 22)):35-51.
83. Karthikeyan I, Desai SR, Singh R. Short implants: A systematic review. *J Indian Soc Periodontol.* 2012;16(3):302-12.
84. Fernandez H, Gomez-Delgado A, Trujillo-Saldarriaga S, Varon-Cardona D, Castro-Nunez J. Zygomatic implants for the management of the severely atrophied maxilla: a retrospective analysis of 244 implants. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72:887-91.

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Indikationsstellung und Vergleich der verschiedenen Augmentationsmethoden (Sinuslift, Onlay-Osteoplastik, Bone-Splitting und HGSO).....	5
Tabelle 2 Anzahl der HGSO-Eingriffe und Implantatsetzungen beim Patientenkollektiv (N = Anzahl der Patienten; HGSO = Horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie; n = Anzahl).	18
Tabelle 3 Übersicht der Knochenhöhen im Oberkiefer, Unterkiefer und insgesamt zu den Zeitpunkten T0, T1 und T6 sowie des absoluten und prozentualen Gewinns an Knochenhöhe zu T1 und T6.	45
Tabelle 4 Übersicht der Knochenhöhen im Oberkiefer zu den Zeitpunkten T0, T1 und T6 sowie des absoluten und prozentualen Gewinns an Knochenhöhe im Vergleich zu T1 und T6.....	48
Tabelle 5 Übersicht der Knochenhöhe im Unterkiefer zu den Zeitpunkten T0, T1 und T6 sowie des Gewinns an Knochenhöhe zu T1 und T6.	50
Tabelle 6 Übersicht der inserierten Implantate in OK und UK sowie der Implantatverluste (N = 29 Patienten, n = 79 Implantate) nach durchschnittlich 3 Jahren.....	52
Tabelle 7 Vergleich der verwendeten Implantatsysteme (Straumann, Bego Semados, Camlog und Pitt Easy) und Implantatverluste.....	54
Tabelle 8 Komplikationsraten nach HGSO und Implantation (n = 24 HGSOs an N = 29 Patienten).	57
Tabelle A 1 Übersicht aller Patientenfälle.....	93

Tabelle A 2 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0gesamt und T1gesamt.....	98
Tabelle A 3 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0gesamt und T6gesamt.....	99
Tabelle A 4 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0mesial und T1mesial.....	100
Tabelle A 5 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0medial und T1medial.....	100
Tabelle A 6 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0distal und T1distal.....	100
Tabelle A 7 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0mesial und T6mesial.....	100
Tabelle A 8 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0medial und T6medial.....	101
Tabelle A 9 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0distal und T6distal.....	101
Tabelle A 10 Ergebnisse des unabhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die Testvariable $\Delta T0, T1$	101

Tabelle A 11 Ergebnisse des unabhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur
zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die Testvariable $\Delta T_0, T_6$ 102

Tabelle A 12 Ergebnisse des unabhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur
zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die Testvariable $\Delta T_1, T_6$ 102

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Altersverteilung des Patientenkollektivs. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei $55,4 \pm 10,0$ Jahren.....	17
Abbildung 2 Klinisches Untersuchungsprotokoll. Die klinischen und röntgenologischen Untersuchungsparameter wurden zu den angegebenen Zeitpunkten (T0, T1, ...T6) erhoben. Nähere Details siehe Text.....	19
Abbildung 3 Lokalisation und prozentuale Verteilung der HGSO-Eingriffe und Implantate auf die vier Quadranten im Zahnschema.....	20
Abbildung 4 Lokalisation der Eingriffe im Kiefer der Patienten	21
Abbildung 5 Auswertung des präoperativen OPGs: Lage der Messpunkte mesial, medial und distal. Beachte die gestrichelte Linie an 13 als wiederkehrende Referenzgröße. Man beachte die erhebliche Einschränkung der vertikalen Biss Höhe des Knochens an dem nach hinten oben verlaufenden Alveolarfortsatz (untere gestrichelte Linie). Die obere gestrichelte Linie markiert den Boden der Kieferhöhle.....	24
Abbildung 6 Indikationsstellung für HGSO - stark atrophierter Oberkiefer beidseits mit gelben Linien dargestellt, Implantation ohne Augmentation nicht möglich. Der natürliche ideale Knochenverlauf ist als rote Linie gekennzeichnet, die Verluste in der Vertikalen werden deutlich. Ein Sinuslift wäre möglich, die Kronenlängen wären jedoch durch die vertikale Atrophie aufgrund der ungünstigen Implantatkronen- versus Implantatwurzel-Längenverhältnisse aus prothetischer Sicht problematisch.....	26
Abbildung 7 Schematische Darstellung der Operationstechnik der HGSO im Oberkiefer im Frontalschnitt (Quelle: Professoren Nolte und Ewers).....	27

Abbildung 8 Schematische Darstellung der Operationstechnik im Sagittalschnitt (Quelle: Professoren Nolte und Ewers)	28
Abbildung 9 Prozentuale Verteilung der verwendeten Knochenersatzmaterialien als Interpositionsosteoplastiken bei HGSO (n = 34 HGSOs bei N = 29 Patienten).	29
Abbildung 10 Prozentuale Verteilung der verwendeten Membranen zur Fixierung des Augmentats bei HGSO (n = 34 HGSOs bei N = 29 Patienten). (k.A. keine Angabe)	31
Abbildung 11 Prozentuale Verteilung der verwendeten Implantatsysteme (n = 79 Implantate bei N = 29 Patienten).....	32
Abbildung 12 58-jähriger Patient: Röntgenologischer und klinischer Ausgangsbefund vor HGSO im 1. Quadranten. Restknochenhöhe von maximal 1 mm. Osteotomielinie klinisch in horizontaler Richtung markiert.....	33
Abbildung 13 58-jähriger Patient: Klinische Situation der HGSO. Split des Kieferkammes (A) und Mobilisation von Knochen und Schleimhaut nach inferior (B). Die bukkale Knochenwand wird dadurch nicht geschwächt.....	34
Abbildung 14 58-jähriger Patient: Klinische Situation der HGSO. Einbringen von Knochenaufbaumaterial (BioOss Kollagen) (A) und Membran (BioGide) (B).	34
Abbildung 15 58-jähriger Patient: Klinische Situation der HGSO. Verschluss des Operationsfeldes durch Naht.	35
Abbildung 16 58-jähriger Patient: Zustand nach HGSO im 1. Quadranten; Nebenbefund: Z.n. Extraktion der Zähne 13 und 48 sowie Implantatsetzung an 45 und 47.....	35

Abbildung 17 58-jähriger Patient: Zustand nach HGSO und Implantation im 1. Quadranten.....	36
Abbildung 18 58-jähriger Patient - Zustand nach Implantation im 1. Quadranten vor 3,5 Jahren.....	36
Abbildung 19 49-jähriger Patient: Ausgangsbefund, maximale Restknochenhöhe im 1. Quadranten 2 mm, Nebenbefunde: Begleitmukozele in der Kieferhöhle (gestrichelte rote Linie) sowie Restaugmentat (Cerasorb) Regio 13 distal alio loco eingebracht.	38
Abbildung 20 49-jähriger Patient: Zustand nach HGSO im 1. Quadranten, Z.n. Entfernung der Mukozele in der Kieferhöhle, Nebenbefund apikale Aufhellung 46.....	39
Abbildung 21 49-jähriger Patient: Zustand 1 Jahr nach Implantation und prothetischer Versorgung Regio 13, 14, 15 und 16, krestaler Knocheneinbruch um Implantate, am ehesten wegen starken Rauchens, Z.n. Extraktion 18, Nebenbefunde: apikale Aufhellung 46, Patient ist Raucher.....	40
Abbildung 22 69-jährige Patientin: Präoperativer Befund.	41
Abbildung 23 69-jährige Patientin: Zustand nach HGSO im 4. Quadranten, deutlich sichtbare Osteotomielinie, Nebenbefund apikale Aufhellung 44.	42
Abbildung 24 69-jährige Patientin: Zustand 3 Jahre postoperativ, implantatgetragene Brücke 45 - 47, Z.n. Wurzelspitzenresektion 44 mit retrograder Wurzelfüllung	42
Abbildung 25 Boxplotdarstellung der Ausgangswerte der Knochenhöhen von OK und UK (gesamt) sowie für Oberkiefer und Unterkiefer separat dargestellt zum Zeitpunkt T0.....	44

Abbildung 26 Relative Entwicklung der Knochenhöhen in % in OK, UK und OK+UK über die Zeit in n = 34 HGSOs total (Oberkiefer n = 21, Unterkiefer n = 13 bei insgesamt 29 Patienten)	46
Abbildung 27 Entwicklung der Knochenhöhen im Oberkiefer über die Zeit, gemessen an den Stellen mesial, medial und distal im Augmentationsgebiet	47
Abbildung 28 Entwicklung der postoperativen Knochenhöhen im Unterkiefer über die Zeit, gemessen an den Stellen mesial, medial und distal im Augmentationsgebiet.	49
Abbildung 29 Postoperative Knochenhöhen in Abhängigkeit vom verwendeten Knochenersatzmaterial 3 Jahre nach Operation (n = 34 HGSO, N = 29 Patienten).	51
Abbildung 30 Kaplan-Meier-Überlebensanalyse der Implantate, Überlebenswahrscheinlichkeit von 91 % der gesetzten Implantate (n = 79) über einen Zeitraum von 3 Jahren.	53

9 Anhang

9.1 Übersicht der Patientenfälle

Tabelle A 1 Übersicht aller Patientenfälle

Patient	HgSO					Implantate			Knochenhöhe								
	Nr.	Alter	Nr. Quadrant	KEM	Membran	n	Regio	System		T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
	♂	♀	bei OP						[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]		
1	♂	72	1	-	BioOss	BioGide	1	16	Straumann	mesial	5,14	11,38	9,65	10,34	10,84	7,91	7,42
					Kollagen					medial	4,95	10,00	8,97	8,10	7,90	7,22	7,07
2	♂	49	2	-	BioOss	BioGide	4	13,14,	Straumann	distal	5,33	8,27	7,93	5,86	7,38	7,05	6,38
					Block+		15,16			mesial	1,90	4,14	4,83	6,06	7,75	6,55	6,55
3	♂	32	3	-	Kollagen					medial	3,28	7,76	7,76	7,62	6,89	7,59	7,07
					Vital Os	Osseoguard	3	11,12	Straumann	distal	4,31	8,45	7,59	8,66	8,76	8,79	8,45
					Cement					mesial	12,76	17,07	19,45	19,66	16,35	11,88	13,43
										medial	14,31	19,31	17,39	17,07	18,03	12,02	13,94
										distal	15,35	15,52	16,87	19,46	17,87	11,51	10,85
4	♀	63	4	-	Easygraft	BioGide	4	14,15,	Bego Semados	mesial	5,86	10,34	10,34	10,34	10,34	10,46	10,17
							16,17			medial	3,97	8,62	8,62	8,62	11,38	7,50	7,07
5	♂	58	5	-	BioOss	Osseoguard	2	14,17	Camlog	distal	4,83	10,17	10,17	10,17	9,46	8,89	8,28
					Block +					mesial	4,99	K.D.	K.D.	14,32	15,90	15,34	11,21
6	♂	72	6	-	Kollagen					medial	4,65	K.D.	K.D.	8,55	8,41	7,76	7,94
					BioOss	BioGide	2	11,12	Camlog	distal	5,16	K.D.	K.D.	9,60	9,44	8,96	8,45
										mesial	17,56	16,89	16,89	17,07	17,09	13,43	13,43
										medial	14,46	16,89	16,89	16,55	16,22	13,60	13,60
										distal	16,01	17,41	17,41	15,17	16,74	14,63	
7	♀	53	7	-	BioOss	BioGide	1	16	Straumann	mesial	3,80	10,34	8,28	9,31	8,26	K.D.	K.D.
					Kollagen					medial	4,14	10,17	7,24	8,97	6,96	K.D.	K.D.
8	♂	45	8	-	BioOss	BioGide	(2)	(15, 17)	K.D.	distal	3,11	5,35	5,09	5,35	5,05	K.D.	K.D.
					Kollagen					mesial	4,31	9,14	K.D.	K.D.	K.D.	K.D.	K.D.
										medial	2,76	10,86	K.D.	K.D.	K.D.	K.D.	

14	♂	51	18	II	Beckenkamm+	BioGide	4	26	Straumann	mesial	1,38	11,22	11,55	10,34	10,33	10,20
					BioOss				Dislokation KH	medial	1,21	8,64	8,64	10,52	11,88	8,78
					Kollagen				Straumann	distal	3,10	10,80	10,80	9,67	9,64	8,38
15	♀	44	19	II	BioOss	BioGide	3	24, 25, 26	PittEasy	mesial	4,46	8,45	8,45	8,62	8,97	K.D.
					Kollagen					medial	2,31	5,52	5,52	6,55	6,21	K.D.
					BioOss	BioGide	(2)	(26, 27)	K.D.	distal	3,08	5,00	5,00	5,52	4,83	K.D.
16	♀	63	20	II	BioOss	Block+				mesial	4,22	5,34	5,35	K.D.	K.D.	K.D.
					Kollagen					medial	2,64	9,65	8,98	K.D.	K.D.	K.D.
					BioOss	Block+				distal	5,08	8,96	8,31	K.D..	K.D.	K.D.
17	♂	70	21	II	BioOss	BioGide	(1)	(26)	K.D.	mesial	7,58	12,56	K.D.	K.D.	K.D.	K.D.
					Block+					medial	7,32	11,07	K.D.	K.D.	K.D.	K.D.
					Kollagen					distal	9,10	11,99	K.D..	K.D..	K.D..	K.D..
18	♀	49	22	II	Easygraft	BioGide	2	25, 26	Straumann	mesial	3,23	7,93	7,93	8,48	8,62	8,79
					BioOss					medial	1,77	7,59	7,59	8,85	8,45	7,41
					Block+					distal	4,36	9,83	9,83	11,72	11,72	8,45
19	♀	53	23	III	BioOss	BioGide	2	35, 36	Straumann	mesial	5,69	8,93	8,71	9,49	9,19	9,98
					Block+					medial	7,07	9,79	9,50	8,97	9,15	7,59
					Kollagen					distal	9,14	9,96	9,91	10,00	10,19	10,00
20	♀	52	24	III	Easygraft	OsseoGuard	2	36, 37	Straumann	mesial	12,59	16,90	16,55	17,24	15,84	15,69
					BioOss					medial	11,72	17,41	16,03	16,03	15,84	15,51
					Kollagen					distal	12,41	15,53	15,86	15,69	14,81	15,69
21	♀	47	25	III	BioOss	OsseoGuard	2	35, 36	Straumann	mesial	17,07	19,48	18,45	18,32	K.D.	18,27
					Kollagen					medial	15,86	18,10	16,38	17,02	K.D.	17,22
					BioOss	OsseoGuard	4	33, 34,	Straumann	mesial	25,77	29,83	29,83	28,01	29,13	28,05
22	♀	59	26	III	BioOss	OsseoGuard	4	35, 36	Straumann	mesial	25,94	30,86	30,86	27,52	28,10	28,53
					Kollagen					medial						28,10

23	♂	57	27	III	Easygraft	OsseoGuard	3	35	Straumann	distal	11,40	12,59	12,59	11,75	13,10	12,43	10,42	
						Lockering			medial	7,85	11,17	11,17	12,05	11,90	10,51	10,51		
							36		Straumann	distal	7,41	9,91	9,91	9,74	9,65	9,13	9,13	
							35		Straumann	distal	10,35	11,70	11,70	11,88	11,98	12,06	12,06	
24	♂	68	28	III/IV	BioOss	BioGide	(2)	(32, 42)	(Straumann)	Reimplantation	mesial	17,34	21,27	k.D.	k.D.	k.D.	k.D.	
					Block+					mesial	16,81	22,29	k.D.	k.D.	k.D.	k.D.		
					Kollagen					distal	22,31	23,74	k.D..	k.D..	k.D..	k.D..		
25	♀	47	29	III	BioOss	BioGide	6	35, 36,	Bego Semados	mesial	12,28	13,79	14,14	14,11	13,91	13,24	13,24	
					Kollagen		37			medial	10,42	16,03	12,94	13,21	13,40	13,41	13,41	
										distal	12,85	16,03	14,14	14,29	14,60	14,79	14,79	
30	♀	IV	BioOss	BioGide	46, 47,	Bego Semados	mesial	13,56	14,65	14,14	14,65	13,74	13,50	13,50				
					48		medial	10,56	14,83	14,31	14,29	14,42	13,76	13,76				
26	♂	63	31	IV	BioOss	BioGide	4	45, 46,	Straumann	distal	12,59	15,17	15,53	16,79	16,66	15,30	15,30	
					Kollagen		47, 48			mesial	k.D.	12,24	11,03	12,45	12,55	13,41	12,41	
27	♀	53	32	IV	BioOss	BioGide	3	45, 46,	Straumann	medial	12,93	11,89	12,30	12,21	12,21	12,41	12,41	
					Kollagen		47			distal	k.D..	14,82	14,14	15,45	15,30	15,13	15,17	
28	♀	57	33	IV	Easygraft	OsseoGuard	3	45	Straumann	mesial	10,52	11,53	10,48	10,69	10,30	9,47	9,47	
						Verlust			medial	8,10	9,13	7,90	10,17	8,23	8,15	8,15		
										distal	6,38	8,78	7,21	7,24	7,37	7,29	7,29	
29	♀	69	34	IV	Easygraft	OsseoGuard	2	45, 46	Straumann	Reimplantation	mesial	4,49	10,52	9,66	11,57	10,34	10,16	10,16
										medial	3,28	11,90	12,07	11,54	12,41	12,22	12,22	
										distal	7,76	12,24	12,59	12,93	12,76	12,23	12,23	

9.2 Statistische Tests

9.2.1 abhängiger T-Test

Gruppenvariablen	globales	p	Rang	lokales	Signifikanz
	α -Niveau			α -Niveau	$p < \alpha_{lokal}$
Gesamt	0,05	$5,58 \cdot 10^{-14}$	1	0,00625	ja
Oberkiefer	0,05	$1,94 \cdot 10^{-14}$	2	0,00714	ja
Unterkiefer	0,05	0,000004	4	0,01	ja
KEM I (BioOss Kollagen)	0,05	$4,36 \cdot 10^{-7}$	3	0,00833	ja
KEM II (BioOss Block + Kollagen)	0,05	0,000373	5	0,0125	ja
KEM III (Easygraft)	0,05	0,000527	6	0,0167	ja
KEM IV (Beckenkamm)	0,05		Berechnung nicht möglich		
KEM V (Vital Os Cement)	0,05		Berechnung nicht möglich		
KEM VI (Nanobone)	0,05	0,109575	8	0,05	nein
KEM VII (Sonstige)	0,05	0,014231	7	0,025	ja

Tabelle A 2 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0gesamt und T1gesamt.

Gruppenvariablen	globales α-Niveau	p	Rang	lokales α-Niveau	Signifikanz $p < \alpha_{lokal}$
Gesamt	0,05	$3,40 \cdot 10^{-7}$	1	0,00625	ja
Oberkiefer	0,05	0,000043	2	0,00714	ja
Unterkiefer	0,05	0,001311	3	0,00833	ja
KEM I (BioOss Kollagen)	0,05	0,001390	4	0,01	ja
KEM II (BioOss Block + Kollagen)	0,05	0,039489	6	0,0167	nein
KEM III (Easygraft)	0,05	0,004095	5	0,0125	ja
KEM IV (Beckenkamm)	0,05		Berechnung nicht möglich		
KEM V (Vital Os Cement)	0,05		Berechnung nicht möglich		
KEM VI (Nanobone)	0,05	0,265128	8	0,05	nein
KEM VII (Sonstige)	0,05	0,158130	7	0,025	nein

Tabelle A 3 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α-Niveaus für die gepaarten Variablen T0gesamt und T6gesamt.

Gruppenvariablen	globales	p	Rang	lokales	Signifikanz
	α -Niveau			α -Niveau	$p < \alpha_{lokal}$
Oberkiefer	0,05	$4,29 \cdot 10^{-8}$	2	0,05	ja
Unterkiefer	0,05	0,000020	1	0,025	ja

Tabelle A 4 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0mesial und T1mesial.

Gruppenvariablen	globales	p	Rang	lokales	Signifikanz
	α -Niveau			α -Niveau	$p < \alpha_{lokal}$
Oberkiefer	0,05	$8,94 \cdot 10^{-11}$	1	0,025	ja
Unterkiefer	0,05	0,000027	2	0,05	ja

Tabelle A 5 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0medial und T1medial.

Gruppenvariablen	globales	p	Rang	lokales	Signifikanz
	α -Niveau			α -Niveau	$p < \alpha_{lokal}$
Oberkiefer	0,05	$1,56 \cdot 10^{-7}$	1	0,025	ja
Unterkiefer	0,05	0,000073	2	0,05	ja

Tabelle A 6 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0distal und T1distal.

Gruppenvariablen	globales	p	Rang	lokales	Signifikanz
	α -Niveau			α -Niveau	$p < \alpha_{lokal}$
Oberkiefer	0,05	0,000145	1	0,025	ja
Unterkiefer	0,05	0,010849	2	0,05	ja

Tabelle A 7 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0mesial und T6mesial.

Gruppenvariablen	globales	p	Rang	lokales	Signifikanz
	α -Niveau			α -Niveau	$p < \alpha_{lokal}$
Oberkiefer	0,05	0,000009	1	0,025	ja
Unterkiefer	0,05	0,002318	2	0,05	ja

Tabelle A 8 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0medial und T6medial.

Gruppenvariablen	globales	p	Rang	lokales	Signifikanz
	α -Niveau			α -Niveau	$p < \alpha_{lokal}$
Oberkiefer	0,05	$1,56 \cdot 10^{-6}$	1	0,025	ja
Unterkiefer	0,05	0,001354	2	0,05	ja

Tabelle A 9 Ergebnisse des abhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die gepaarten Variablen T0distal und T6distal.

9.2.2 unabhängiger T-Test

Gruppenvariablen	globales	p	Rang	lokales	Signifikanz
	α -Niveau			α -Niveau	$p < \alpha_{lokal}$
Oberkiefer vs. Unterkiefer	0,05	0,00017	1	0,0167	ja
Oberkiefer vs. Gesamt	0,05	0,159	3	0,05	nein
Unterkiefer vs. Gesamt	0,05	0,001	2	0,025	ja

Tabelle A 10 Ergebnisse des unabhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die Testvariable $\Delta T_0, T_1$.

Gruppenvariablen	globales α-Niveau	p	Rang	lokales α-Niveau	Signifikanz $p < \alpha_{lokal}$
Oberkiefer vs. Unterkiefer	0,05	0,0028	1	0,0167	ja
Oberkiefer vs. Gesamt	0,05	0,217	3	0,05	nein
Unterkiefer vs. Gesamt	0,05	0,009	2	0,025	ja

Tabelle A 11 Ergebnisse des unabhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die Testvariable $\Delta T_0, T_6$.

Gruppenvariablen	globales α-Niveau	p	Rang	lokales α-Niveau	Signifikanz $p < \alpha_{lokal}$
Oberkiefer vs. Unterkiefer	0,05	0,703	1	0,0167	nein
Oberkiefer vs. Gesamt	0,05	0,859	3	0,05	nein
Unterkiefer vs. Gesamt	0,05	0,782	2	0,025	nein

Tabelle A 12 Ergebnisse des unabhängigen T-Tests und Bonferroni-Holm-Prozedur zur Anpassung des lokalen α -Niveaus für die Testvariable $\Delta T_1, T_6$.

10 Danksagung

11 Lebenslauf

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Heidi Bradatsch, erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

**"Die horizontale gefäßgestielte Splitosteotomie
- eine Augmentationstechnik für den extrem atrophen Kiefer -
Untersuchungen an einem größeren Patientenkollektiv"**

selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

Oldenburg, 29.05.2018

Heidi Bradatsch

Ort / Datum

Unterschrift