

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

Retrospektive, monozentrische klinische Nachuntersuchung von Kieferkammaugmentationen
durch patientenspezifische CAD/CAM basierte Titangitter

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Charlotte Wiek

aus Düsseldorf

Mainz, 2024

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

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 30. Juli 2024

Widmung

Meinen Freunden und meiner Familie, die mich durch Höhen und Tiefen begleitet haben – ihr seid unersetzlich.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Literaturdiskussion	3
2.1 Übersicht Augmentationsarten	3
2.2 Guided Bone Regeneration	3
2.3 Biomembranen	4
2.3.1 Nicht-resorbierbare Membranen	4
2.3.2 Resorbierbare Membranen	5
2.4 Knochenersatzmaterialien	5
2.4.1 Übersicht	5
2.4.2 Bio-Oss®	6
2.4.3 Cerabone®	6
2.4.4 Symbios® Biphasic Bone Graft Material	6
2.5 Autologe Knochentransplantate	7
2.6 Eigenbluttherapie	7
2.7 Augmentationsgitter-Systeme	8
2.7.1 Historische Entwicklung	8
2.7.2 CAD/CAM-Titangitter	9
2.8 Weichgewebsdehiszenzen	9
2.9 Ziel der Arbeit	11
3 Material und Methoden	12
3.1 Erfassung Patientendaten	12
3.1.1 Einschlusskriterien und Patientengut	12
3.1.2 Datenerhebung	13
3.1.3 Datendokumentation	15
3.2 Planung und chirurgisches Vorgehen CAD/CAM spezifische Patientengitter	16
3.2.1 Gitterplanung	16
3.2.2 Backward-Planning	16
3.2.3 Fertigung	16
3.2.4 Op-Technik	17
3.3 Statistische Auswertung	18
4 Ergebnisse	20
4.1 Deskriptive Analyse des Patientenguts	20
4.1.1 Geschlecht und Alter	20
4.1.2 Generelles Risiko und spezielles Risiko (Pa/Rauchen)	20
4.1.3 Gingivatyp	21
4.1.4 Defekttyp	21

4.2	Deskriptive Analyse der angewendeten Therapieoptionen	23
4.2.1	Volumenersatz (cm ³)	23
4.2.2	Operateure	23
4.2.3	Anästhesiemethoden	23
4.2.4	Schnittführung	24
4.2.5	Augmentationsmaterial	25
4.2.6	Entnahmestellen autologer Knochen	26
4.2.7	Membranen	27
4.2.8	Eigenbluttherapie.....	28
4.2.9	Schraubenanwendung.....	28
4.2.10	Augmentationsverlust	28
4.3	Deskriptive und statistische Analyse des Outcomes	29
4.3.1	Dehiszenzen.....	29
4.4	Subkohorte implantierter Patienten.....	39
4.4.1	Deskriptive und statistische Analyse des Patientenguts.....	39
4.4.2	Deskriptive Analyse zum Implantationsverfahren.....	41
5	Diskussion.....	44
5.1	Diskussion der klinischen Auswertung.....	44
5.1.1	Diskussion von Material und Methoden sowie Ergebnissen.....	44
5.2	Diskussion zur Subkohorte implantierter Patienten.....	56
5.2.1	Diskussion zur deskriptiven Analyse des Implantationsverfahrens.....	56
6	Zusammenfassung.....	59
7	Literaturverzeichnis	60
8	Danksagung.....	71
9	Tabellarischer Lebenslauf	72

Abkürzungsverzeichnis

3-D	<i>Dreidimensional</i>
A-PRF+	<i>Advanced Platelet-Rich-Fibrin</i>
BGM	<i>Bone graft material</i>
BSE	<i>Bovine spongiforme Enzephalopathie</i>
CAD	<i>Computer-Aided-Design</i>
CAM	<i>Computer-Aided-Manufacturing</i>
CBR	<i>Customized Bone Regeneration</i>
CNC	<i>Computerized Numerical Control</i>
DGZMK	<i>Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde</i>
DVT	<i>Digitale Volumentomographie</i>
FZ	<i>Frontzahn</i>
GBR	<i>Guided Bone Regeneration</i>
GOZ	<i>Gebührenordnung für Zahnärzte</i>
GTR	<i>Guided Tissue Regeneration</i>
IGF-1	<i>Insulin-like Growth Factor 1</i>
i-PRF	<i>Injectable Platelet-Rich-Fibrin</i>
ISO	<i>Internationale Organisation für Normung</i>
ITN	<i>Intubationsnarkose</i>
KEM	<i>Knochenersatzmaterial</i>
LA	<i>Lokalanästhesie</i>
L-PRF	<i>Leukozyten Platelet-Rich-Fibrin</i>
Max	<i>Maximum</i>
Min	<i>Minimum</i>
MKG	<i>Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie</i>
n	<i>Anzahl</i>
OK	<i>Oberkiefer</i>
OP	<i>Operation</i>
Pa	<i>Parodontitis</i>
PDGF	<i>Platelet Derived Growth Factor</i>
PRF	<i>Platelet-Rich-Fibrin</i>
PRP	<i>Platelet-Rich-Plasma</i>
PTFE	<i>Polytetrafluorethylen</i>
SD	<i>Standardabweichung</i>
STL	<i>Stereolithographie</i>
SZ	<i>Seitenzahn</i>
TGF-β1	<i>Transforming Growth Factor beta 1</i>
UK	<i>Unterkiefer</i>

VEGF *Vascular Endothelial Growth Factor*
ZMK *Zahn-, Mund- und Kieferklinik*

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Histogramm Altersverteilung.....	20
Abb. 2: Balkendiagramm Defektursache.....	22
Abb. 3: Histogramm Anzahl der fehlenden Zähne.....	22
Abb. 4: Balkendiagramm Schnittführung.....	24
Abb. 5: Balkendiagramm Entnahmestelle autologer Knochen.....	26
Abb. 6: Balkendiagramm separate Entnahmeregion.....	27
Abb. 7: Balkendiagramm Membranarten.....	28
Abb. 8: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an dehiszenzfreier Einheilung.....	29
Abb. 9: Balkendiagramm zeitliches Auftreten Dehiszenzen.....	30
Abb. 10: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an dehiszenzfreier Einheilung unter Berücksichtigung des speziellen Risikos Rauchen.....	32
Abb. 11: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an dehiszenzfreier Einheilung unter Berücksichtigung des speziellen Risikos Parodontitis.....	33
Abb. 12: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an dehiszenzfreier Einheilung unter Berücksichtigung des Gingivatyps.....	34
Abb. 13: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur dehiszenzfreien Einheilung unter Berücksichtigung der Lokalisation im Kiefer (Mandibula/Maxilla).....	35
Abb. 14: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an dehiszenzfreier Einheilung unter Berücksichtigung der Volumengruppen $<1\text{cm}^3/>1\text{cm}^3$	37
Abb. 15: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an Implantatüberleben.....	42

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Defektaufteilung Kieferregionen	21
Tab. 2: Volumenersatz	23
Tab. 3: Häufigkeitsverteilung Anästhesiemethoden unter Betrachtung unterschiedlicher Faktoren	24
Tab. 4: Häufigkeitsverteilung Schnitfführungswahl bezüglich Kiefereinteilung	25
Tab. 5: Häufigkeitsverteilung Augmentationsmaterialwahl bezüglich Defektyp	26
Tab. 6: Häufigkeitsverteilung des altersspezifischen Auftretens von Dehiszenzen	30
Tab. 7: Häufigkeitsverteilung des geschlechterspezifischen Auftretens von Dehiszenzen	31
Tab. 8: Häufigkeitsverteilung Auftreten von Dehiszenzen, abhängig vom allgemeinen Risiko	31
Tab. 9: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz bei Risiko Rauchen und Parodontitis	32
Tab. 10: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz bezüglich Gingivatyp	33
Tab. 11: Häufigkeitsverteilung Auftreten von Dehiszenzen in Abhängigkeit zur Defektursache	34
Tab. 12: Häufigkeitsverteilung zeitliche Dehiszenztypen bezüglich der Kiefereinteilung (Mandibula/Maxilla)	35
Tab. 13: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz bezüglich Defektyp	36
Tab. 14: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz bezüglich Lokalisation des Defekts	36
Tab. 15: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz unter Berücksichtigung des Volumenersatzes (cm ³)	37
Tab. 16: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz unter Berücksichtigung des Operateurs	38
Tab. 17: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz unter Berücksichtigung der Schnitfführung	38
Tab. 18: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz unter Berücksichtigung des verwendeten Augmentationsmaterials	38
Tab. 19: Betrachtung deskriptive Analyse des Patientenguts bei der Subkohorte implantierter Patienten	39
Tab. 20: Zusammenhang des Auftretens von Implantatverlusten mit patientenspezifischen und operationsspezifischen Faktoren (Statistisch signifikant positive Assoziationen (p<0,05= signifikant *, p<0,01= sehr signifikant **, p<0,001= hoch signifikant ***))	40
Tab. 21: Häufigkeitsverteilung Implantationszeitpunkte	41
Tab. 22: Häufigkeitsverteilung Auftreten Implantatverlust bei vorausgegangenen Dehiszenzen während der Augmentationsphase	42
Tab. 23: Häufigkeitsverteilung Auftreten Implantatverlust unter Berücksichtigung der zeitlichen Insertion der Implantate	43

1 Einleitung

In der heutigen Gesellschaft gewinnt ästhetischer und funktioneller Zahnersatz stetig an Bedeutung. Das Ziel ist eine langfristig suffiziente, für den Patienten individuell optimierte, zahnärztliche Versorgung. Zunehmend kommen hierfür Implantate zum Einsatz. Mittlerweile wird diese Therapieform seit über 40 Jahren genutzt (1). Sie unterliegt einer kontinuierlichen Weiterentwicklung, um den steigenden Erwartungen und Anforderungen an die Funktionalität gerecht zu werden.

Seit 1982 gilt der Einsatz von dentalen Implantaten laut der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) als gesicherte Therapieform (Stellungnahme der DGZMK) (2). Im Jahr 1988 erfolgte die Aufnahme zahnärztlich-implantologischer Leistungen in die amtliche Gebührenordnung für Zahnärzte (GOZ) (3).

Eine erfolgreiche Implantation bedarf eines ausreichenden Angebots von Hartgewebe, um eine ästhetische und langfristig suffiziente Versorgung zu erreichen. Häufig ist jedoch eine ideale lokale knöcherne Ausgangssituation nicht gegeben. Die Ursachen hierfür sind mannigfaltig. Zu nennende Gründe können Zahnverluste - bedingt durch Karies, Parodontopathien oder Traumata -, vorangegangene Implantatverluste, Resektionen im Rahmen der Tumorchirurgie oder zystische Defekte sein. Nichtanlagen der bleibenden Zähne können ebenfalls mit Knochenatrophien in diesem Bereich zusammenhängen (4).

Zum einen verhindern diese Defekte, je nach Ausprägung, die notwendige Primärstabilität der zu inserierenden Implantate. Zum anderen können sie auch ein ästhetisch zufriedenstellendes und nachhaltiges Gesamtergebnis für den Patienten erschweren.

Um dieses Problem zu lösen, werden bereits verschiedene Arten der Knochenaugmentation angewendet. Eine neuere Variante ist der Knochenaufbau unter Verwendung von Computer-Aided-Design (CAD)/Computer-Aided-Manufacturing (CAM) basierten patientenspezifischen Titangittern. Diese können individuell für jede Defektsituation vorab geplant, gefertigt und passgenau inseriert werden. So kann es gelingen, größere Knochenvolumina für ein ausreichendes Hartgewebe aufzubauen.

In der folgenden Studie werden 85 Knochenaugmentationen mittels dieser patientenindividuellen Titangitter, die an der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten (ZMK) der Universitätsmedizin Mainz zwischen 2014 und 2021 durchgeführt wurden, retrospektiv untersucht. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Erfolgsquote von Knochenaugmentationen mittels patientenindividueller Titangitter mit anschließender

Implantation zu ermitteln. Besondere Aufmerksamkeit wird hierbei auf das Auftreten von Wunddehiszenzen gelegt. Dafür werden patientenspezifische Parameter und die verschiedenen intraoperativen Faktoren analysiert.

2 Literaturdiskussion

2.1 Übersicht Augmentationsarten

Zur Rekonstruktion von Hartgewebe im Bereich des Alveolarkamms steht schon heute eine Vielzahl an Materialien und chirurgischen Techniken zur Verfügung. Diese lassen sich in die Inlay-, die Block Onlay- und die partikulären Onlay-Techniken einteilen (5).

Zu den augmentativen Inlay-Techniken zählen die Bone-Split-Technik, die Distaktionsosteogenese und die Sandwich-Technik (5). Bei der Block-Onlay-Technik stammen die autogenen Knochenblöcke i.d.R. aus dem Ramus mandibulae oder dem Beckenkamm und wurden über einen längeren Zeitraum als Goldstandard bei oralen Augmentationsverfahren angesehen (5). Die partikulären Onlay-Techniken umfassen die Schalenteknik, die Umbrella-Technik, die klassische zweizeitige Guided Bone Regeneration oder die CAD-CAM Mesh-Augmentation (5).

In dieser Studie werden Eingriffe unter Nutzung der CAD-CAM Mesh-Augmentation betrachtet.

2.2 Guided Bone Regeneration

Nyman et al. schufen Anfang der 80er Jahre die Grundlagen für die membrangesteuerte Geweberegeneration, auch Guided Tissue Regeneration (GTR) genannt. Ziel dieser neuartigen Therapiemethode war damals die parodontale Regeneration unter Nutzung von Barrieremembranen (6, 7). Daraufhin folgte im Verlauf die Weiterentwicklung zur Unterstützung der gezielten Knochenregeneration beim Vorliegen von Knochendefekten am Alveolarfortsatz, welche später als Guided Bone Regeneration (GBR) bezeichnet wurde. Seit 1968 ist diese im zahnmedizinischen Bereich etabliert und dokumentiert (8).

Das Prinzip der GBR beruht auf dem Einsatz einer Barrieremembran. Diese dient dazu, den zu augmentierenden Defekt vom umgebenden, einwachsenden Bindegewebe zu trennen (9). Durch die räumliche Trennung wird verhindert, dass die schnell proliferierenden Epithel- und Bindegewebszellen in den knöchernen Defekt einwandern. Somit kann es zu einer rein knöchernen Regeneration durch potentiell regenerative Zellarten, wie desmodontale Fibroblasten und Osteoblasten, kommen (10). Weiterhin sollen die Membranen die Stabilisierung des Blutkoagulums und des Augmentats gewährleisten (11). Zusätzlich ist, wie bei jedem implantierten Medizinprodukt, die Biokompatibilität für den Patienten ein entscheidender Faktor. Durch eine entsprechende Semipermeabilität der verwendeten resorbierbaren Biomembranen erreicht man eine frühzeitige transmembranöse Angiogenese (6).

Der zusätzliche Einsatz einer Membran kann sich, abhängig von der Defektart, positiv auf den Behandlungserfolg auswirken (7). Defekte mit bestehenden Knochenwänden, die das Augmentat auf natürliche Weise stabilisieren, scheinen auch ohne Membran zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen (7). Wohingegen die zusätzliche Anwendung einer Membran bei bereits bestehenden oder durch eine Extraktion entstandenen Defekten der Alveolenwände bessere Gesamtergebnisse erzielt als bei alleiniger Anwendung eines Knochenersatzmaterials (7).

2.3 Biomembranen

Membranen vereinfachen teilweise zusätzlich das künstliche Offenhalten eines dreidimensionalen Raumes, welcher dann wiederum entweder mit autologen Knochentransplantaten, mit einer Mischung aus einem Knochenersatzmaterial (KEM) und autologen Knochen, oder alleinigem KEM gefüllt werden kann (8).

Grundsätzlich wird zwischen den nicht resorbierbaren Membranen, welche zuerst Anwendung bei der GTR fanden, und den resorbierbaren Membranen, die heutzutage bevorzugt eingesetzt werden, differenziert (9-11).

2.3.1 Nicht-resorbierbare Membranen

Membranen auf Basis von Polytetrafluorethylen (PTFE) stellen in der regenerativ-chirurgischen Zahnmedizin, bedingt durch ihre gute Biokompatibilität sowie die Barrierefunktionalität gegen Zell- und Bakterienmigration, die meistgenutzten nicht-resorbierbaren Membranen dar (12). Zudem ist eine Kombination mit strukturstärkenden Elementen, wie etwa bei Titangittern, möglich (13-15).

Während der Heilungsphase zeigt sich sowohl der Erhalt der strukturellen Integrität als auch ihre Volumenstabilität. Jedoch ist es aufgrund der nicht-resorbierbaren Eigenschaft der Materialien notwendig, einen zweiten chirurgischen Eingriff durchzuführen, um diese zu entfernen (16, 17). Durch die Ablösung des Periosts kann es zum Auftreten von krestalen Knochenresorptionen kommen, welche dann wiederum Einfluss auf das Behandlungsergebnis nehmen können (18). Problematisch und häufig vorkommend sind Spontanperforationen, welche eine bakterielle Kontamination des Augmentats verursachen können. So ist ein zeitnahes Entfernen dieser erforderlich, da eine sekundäre Wundheilung über eine infizierte PTFE-Oberfläche nicht stattfindet (19, 20).

2.3.2 Resorbierbare Membranen

Die bioresorbierbaren Membranen lassen sich spezifischer in synthetische (aliphatische Polyester) und natürliche (Kollagen) Membranen einteilen (21). Heutzutage werden klinisch in der Regel resorbierbare Materialien aus bovinem oder porcinem Kollagen Typ I und III verwendet (22). Diese Membranen können auf verschiedene Arten hergestellt werden. Bei derartigen resorbierbaren Materialien kommt es durch Hydrolyse oder enzymatische Aktivität zur Metabolisierung und somit zu einem vollständigen Abbau im Laufe der Zeit. Hierdurch wird ein zweiter chirurgischer Eingriff zur Membrantfernung überflüssig. Zudem findet bei einer eventuell auftretenden frühen Membranexposition eine sekundäre Epithelialisierung statt, mit einer, im Vergleich zum Einsatz einer nicht-resorbierbaren Membran, deutlich geringeren Beeinflussung des Behandlungserfolgs (21).

Am häufigsten wurde bei den untersuchten Augmentationen eine Kollagenmembran mit einer porcinen bilayer Kollagenstruktur verwendet. Dies soll eine zuverlässige Vaskularisierung mit einer Gewebeintegration und Wundstabilisierung ermöglichen (23).

2.4 Knochenersatzmaterialien

2.4.1 Übersicht

Erste an Tieren durchgeführte Untersuchungen zum Thema Knochenersatzmaterialien wurden schon 1890 durch Barth (24) und parallel von Ollier (25) durchgeführt. Wichtige Anforderungen an diese Materialien sind sowohl die Biokompatibilität, die Belastungsstabilität und die Osteoinduktion. Ebenso relevant ist die Resorbierbarkeit, die Formbarkeit und die Sterilität des KEM. Bis heute gibt es jedoch noch kein Material auf dem Markt, welches all diesen genannten Anforderungen gerecht wird und in seinen Eigenschaften denen des autologen Knochens entspricht (26).

Die Knochenersatzmaterialien lassen sich in 3 Gruppen einteilen (7):

- Allogen (von einem Individuum derselben Spezies)
- Xenogen (von einer fremden Spezies)
- Alloplastisch (körperfremde, künstliche Materialien)

Das an der Zahnklinik der Universitätsmedizin Mainz am häufigsten verwendete Knochenersatzmaterial bei Knochenaugmentationen im Kieferbereich mittels patientenspezifischer Titangitter ist das von der Firma Geistlich entwickelte Bio-Oss®, gefolgt von dem Material Symbios® Biphasic Bone Graft der Firma Dentsply Sirona, sowie Cerabone® von der Firma Straumann.

2.4.2 Bio-Oss®

Bei dem von der Firma Geistlich entwickelten Bio-Oss® handelt es sich um ein bovines Material. Dieses wird ausschließlich von australischen (und für einige Länder neuseeländischen) Rindern gewonnen. Die länderspezifische Auswahl dient der Vermeidung von Infektionen, beispielsweise durch die bovine spongiforme Enzephalopathie (BSE) (27).

Jung et al. erhoben Langzeitdaten über 12 bis 14 Jahre, welche vorhersagbare Resultate von Knochenaugmentationen mit Geistlich Bio-Oss® und Geistlich Bio-Gide® ergaben (28). Ein systematisches Review und Metaanalyse zeigen, dass die Implantatüberlebensrate bei einer Nachuntersuchungszeit von durchschnittlich 13 Monaten für die GBR mit anorganisch bovinem KEM bei etwa 98,34% liegt (11). Die durchschnittlich erreichte vertikale Defektreduktion beträgt 3,05 mm unter alleiniger Verwendung des anorganisch bovinen KEM (Bio-Oss®, Geistlich Pharma) in Kombination mit Kollagenmembranen (11).

2.4.3 Cerabone®

Das Material Cerabone® von der Firma Straumann ist ebenfalls ein bovines Knochenersatzmaterial (29). Bio-Oss® unterscheidet sich hiervon hauptsächlich durch die zur Aufreinigung verwendete Temperatur, welche im Falle von Bio-Oss® bei etwa 300°C und im Falle von Cerabone® bei etwa 1.250°C liegt (30, 31).

Sowohl präklinische als auch klinische Studien zeigen, dass beide Materialien vergleichbare Ergebnisse in Bezug auf die Knochenneubildung, des verbliebenen Knochenersatzmaterials sowie des Bindegewebsanteils erzielen (30-32). Studien deuten darauf hin, dass durch eine höhere Anzahl an Riesenzellen im Zeitraum der primären Phase nach Implantation eine gesteigerte Implantatbettvaskularisierung erreicht wird. Dies kann wiederum die Knochenheilung begünstigen (31).

2.4.4 Symbios® Biphasic Bone Graft Material

Symbios® Biphasic Bone Graft Material der Firma Dentsply Sirona ist ein biphasisches, resorbierbares und anorganisches KEM, welches durch hydrothermale Umwandlung aus Rotalgen gewonnen wird und eine vorteilhafte Porosität aufweist (33-35). Es handelt sich um eine biphasische Mischkeramik, bestehend aus 20% Hydroxylapatit und 80% β -Trikalziumphosphat. Ziel der Anwendung ist die nahezu vollständige Resorption des Materials bei gleichzeitig stabilem Volumen während der Knochenneubildungsphase (36).

Eine retrospektive Studie zur Untersuchung des klinischen, radiologischen und histologischen Erfolgs des Materials bei periimplantären Defektaugmentationen zeigt, dass das KEM, aus den bisherigen Resultaten schließend, aller Wahrscheinlichkeit nach zur Augmentation periimplantärer Knochendefekte geeignet ist (36). Sowohl der Erhalt des Knochenvolumens als auch die marginale Knochenstabilität erscheinen günstig (36). Aufgrund der geringen dokumentierten Fallzahl sind jedoch laut der Autoren weitere klinische Langzeituntersuchungen erforderlich, um eine abschließende Bewertung vornehmen zu können (36). Innerhalb der Studie zeigen sich histologisch in dem mit Symbios® BGM vier Monate zuvor augmentierten Bereich große Anteile neu gebildeten Knochens und nur noch ein geringes Vorkommen des enthaltenen Hydroxylapatit (36).

2.5 Autologe Knochentransplantate

Körpereigener Knochen wird noch immer von einigen Autoren als Goldstandard, bezogen auf die Anwendung bei Augmentationen im Kieferbereich, angesehen (37-39). Als Begründung werden die Vorzüge in Bezug auf seine immunologische und infektiöse Unbedenklichkeit aufgezeigt. Zudem besitze er ein hohes osseoinduktives Potenzial (7). Autologer Knochen ist das Material mit der höchsten regenerativen Potenz (37-39). Nachteilig zu benennen sind unter anderem der zusätzliche zeitliche Entnahmeaufwand und die durch die Entnahme entstehende unterschiedlich hohe Morbidität, die je nach Spenderregion variiert (40-42). Gleichzeitig besteht ein Problem, besonders bei der enoralen Entnahme, im begrenzten Knochenangebot und dem generell erhöhten Auftreten und Risiko von unerwünschten Resorptionseffekten (43-45). Die Transplantation des patienteneigenen Knochens kann entweder in Form von rein kortikalen oder kortiko-spongiösen Blöcken, aber auch als partikulierte Knochenspäne durchgeführt werden (46, 47). Mögliche intraorale Spenderstellen sind die Crista zygomaticoalveolaris, die laterale Wand der posterioren Maxilla im Oberkiefer sowie im Unterkiefer die Unterkiefersymphyse und die Linea obliqua externa (48-50). Bei größeren Defekten mit einem ausgeprägten Lumen sind zum Teil extraorale Spenderstellen notwendig, an denen größere Mengen autologen Knochens gewonnen werden können. Dazu zählen sowohl der Beckenkamm als auch der Tibiakopf und die Calvaria (50-52).

2.6 Eigenbluttherapie

Als weitere Methode zur Unterstützung der Hart- und Weichgewebsregeneration wird mittlerweile seit mehreren Jahren sowohl bei dentoalveolären als auch bei implantologischen Eingriffen eine Eigenbluttherapie mittels der Platelet Rich Fibrin (PRF)-Methode durchgeführt

(53). Eingeführt wurde sie 2001 von Dr. Joseph Choukroun aus Nizza und seinen Kollegen (54). Durch Zentrifugation des vom Patienten erworbenen Eigenblutes ist es möglich, Fibrin, welches wichtig für die Blutstillung ist, sowie verschiedene Wachstumsfaktoren (z. B.: PDGF, VEGF, TGF- β 1, IGF-1) aus dem Blut zu gewinnen. Zusätzlich zu den Proteinen weist die fertig zentrifugierte fibrinreiche, körpereigene Matrix viele weiße Blutkörperchen auf, die ihrerseits wiederum wichtige Informationen bezüglich des Gewebeaufbaus enthalten (55). Das klassische PRF (Standard PRF) ermöglicht laut klinischen Studien eine schnellere und effizientere Wundregeneration mit gleichzeitig geringerer Morbidität (56, 57).

Mit Hilfe der Weiterentwicklung des Zentrifugationsprotokolls und auch der Blutentnahmeröhrchen ist es gelungen, zwei PRF-Derivate zu entwickeln. Dabei handelt es sich zum einen um die A-PRF+ (advanced PRF). Diese soll laut Hersteller eine vorteilhaftere Fibrinstruktur und ein vermehrtes Auftreten sowie eine ausgeglichene Verteilung enthaltener Leukozyten aufweisen. Es lässt sich nachweisen, dass über einen Zeitraum von über drei Tagen Wachstumsfaktoren durch stabile A-PRF+-Matrix freigesetzt wurden (53).

Zum anderen konnte die i-PRF (injectable PRF), eine temporär flüssige und injizierbare Form, erfolgreich hergestellt werden. Diese koaguliert zeitversetzt zu einer gallertigen Masse (56, 58, 59).

2.7 Augmentationsgitter-Systeme

2.7.1 Historische Entwicklung

Bei der GBR wurden ursprünglich teilweise zusätzlich planare Titangitter für die Rekonstruktion von Defekten im Gesichtsbereich genutzt. Diese fanden dann fortschreitend Einsatz im Bereich der Kieferkämme. Das erste Mal zur Anwendung kamen sie im Jahr 1969 (60). Ziel der Titangitter ist die Stabilisierung des Augmentates, um gemäß des Prinzips der mechanischen Ruhe eine Knochenheilung zu erlauben (61). Weiterhin wird die Resorption des Knochentransplantats bei dreidimensionalen und vertikalen Augmentationen verringert (62). Bei der Anwendung der konventionellen Titangitter zeigen sich jedoch diverse Nachteile. Zum einen muss dieses vor der Anwendung intraoperativ defektspezifisch zugeschnitten und adaptiert werden, wodurch sich die Behandlungszeit verlängert (63). Zum anderen besteht für den Behandelnden die Gefahr, sich an scharfen Kanten des zugeschnittenen Gitters zu verletzen. Weiterhin können diese zu Schleimhautreizungen sowie Gitterexpositionen führen (64). Teilweise berichtet die Literatur über sehr hohe Dehizensraten von bis zu 80% in der Einheilphase (65, 66).

2.7.2 CAD/CAM-Titangitter

Durch den Einsatz der modernen CAD/CAM gefertigten Gitter kann ein relevanter Anteil der Problematiken der regulären Gitter behoben werden. Sie führen zu einer verkürzten Behandlungszeit. Hierdurch reduziert sich die OP-Dauer bzw. Expositionszeit im Rahmen des Eingriffs (67). Es zeigt sich eine erhebliche Verbesserung bezüglich der Qualität und Stabilität des Gerüsts, verglichen mit handkonfigurierten Gittersystemen (61). Die patientenindividualisierten Gitter können aus unterschiedlichen Materialien hergestellt werden. Dazu zählt unter anderem die Herstellung aus Titan, wie auch bei dem Yxoss® Customized Bone Regeneration (Fa. ReOss®, Filderstadt). Weiterhin finden Materialien aus biologisch abbaubaren Polymeren und Calciumphosphatkeramiken Verwendung (61). Ein weiterer untersuchter Erfolgsfaktor ist die Oberflächenbeschichtung, wobei über die Zeit verschiedene Varianten erprobt worden sind (68). Unter Zuhilfenahme einer Mikroperforationsstruktur der spezifischen Gittersysteme wird sowohl das Einwandern von Immunzellen sichergestellt als auch die Versorgung und Ausbreitung von verschiedenen Nährstoffen sowie Sauerstoff gewährleistet (61).

Seit einiger Zeit wird die CBR in der Zahnmedizin angewendet (69). Multiple Studien belegen, dass durch die stetige Weiterentwicklung der patientenspezifischen Gitter und der damit durchgeführten Augmentationsverfahren optimiertere Therapiemöglichkeiten umsetzbar sind (70-74). Bei der Versorgung von vertikalen und horizontalen Knochendefekten konnten bereits gute Ergebnisse mithilfe der modernen CAD/CAM-Technik erzielt werden (75-79).

Die genauen Schritte von der Planung bis hin zum chirurgischen Einsetzen der Gitter werden im Abschnitt Material und Methoden im Kapitel 3.2 (Planung und chirurgisches Vorgehen CAD/CAM spezifische Patientengitter) genauer erläutert.

2.8 Weichgewebsdehiszenzen

Das Auftreten von Wundheilungsstörungen in Form von Dehiszenzen gehört zu den typischen postoperativen Komplikationen von Augmentationen mittels Titangittern und wird in der Literatur mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 20-60% angegeben (80). Klinisch zeigen sich diese, durch freiliegende Gitteranteile variabler Größe und Lokalisation, welche sowohl mit als auch ohne Entzündungsreaktion vorliegen können.

In der Literatur lassen sich unterschiedliche Einteilungen finden. Unterschieden wird zum einen zwischen dem genauen Auftreten der Dehiszenzen.

Volkman et al. nehmen eine Klassifizierung anhand des chronologischen Auftretens nach Gitterinsertion vor (81). Weiterhin betrachtet wurden mögliche Ursachen dieser und die Therapieoptionen zur optimalen Behandlung sowie die unterschiedlichen Prognosen je nach zeitlichem Auftreten (81).

Folgende Einteilung wurde vorgenommen (81):

- Früh auftretende Dehiszenzen (innerhalb von 2 Wochen)
- Mittelfristig auftretende Dehiszenzen (3-9 Wochen)
- Spät auftretende Dehiszenzen (mehr als 10 Wochen)

Jede der drei Formen kann sowohl infiziert als auch nicht infiziert auftreten. Die Autoren berichten jedoch auch vom sogenannten „submeshtalen Creeping“ (81). Dort kommt es unterhalb des Gitters zu einer Neubildung der Schleimhaut und des Granulationsgewebes, sodass ein speicheldichter Wundverschluss vorliegt. Dennoch zeigen sich laut den Autoren bei den entsprechenden Patienten keine klinisch relevanten negativen Effekte bezüglich der Knochenneubildung. Insgesamt ergibt sich, dass frühe entzündliche Dehiszenzen eine eher schlechte Prognose aufweisen, aber die ossäre Regeneration bei nichtentzündlichen frühen Dehiszenzen und mittleren/späten Dehiszenzen keine signifikanten Volumeneinbußen im Vergleich zu der dehiszenzfreien Wundheilung zeigen (81).

Weitere Studien belegen diesen negativen Einfluss früh auftretender Dehiszenzen auf die Knochenheilung im Vergleich zu später auftretenden Dehiszenzen (82-85).

Generell zeigt sich innerhalb mehrerer Studien, dass Dehiszenzen das klinische Ergebnis in der Regel nicht beeinträchtigen (77, 80, 86-89).

2.9 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Promotionsschrift ist die retrospektive Auswertung des Patientenkollektivs, welches an der Mund-Kiefer- und Gesichtschirurgie der Uniklinik Mainz patientenspezifische Gitter mittels der modernen CAD/CAM-Technik (Customized Bone Regeneration (CBR)) inseriert bekommen hat. Die Arbeit strebt eine Einschätzung zu der Frage an, inwieweit Wundheilungsstörungen in Form von Dehiszenzen Einfluss auf die erfolgreiche Augmentation nehmen können. Diesbezüglich werden sowohl patientenspezifische als auch operationsindividuelle Parameter auf deren mögliche Beeinflussung des Dehiszenzauftritts untersucht. Insbesondere die Implantationsrate in den augmentierten Gebieten wird betrachtet. Zudem soll geprüft werden, ob das individuelle zeitliche Management bezogen auf die Zeitspanne zwischen dem Reentry und der anschließenden Implantation Einfluss auf die Erfolgsrate nimmt. Abschließend erfolgt eine retrospektive Analyse der Implantate in der augmentierten Region im Hinblick auf das Implantatüberleben sowie weitere sekundäre Erfolgskriterien.

3 Material und Methoden

Es handelt sich bei der vorliegenden Untersuchung um eine retrospektive Kohortenstudie. Insgesamt wurden bei 85 Eingriffen im Zeitraum vom Dezember 2014 bis Oktober 2021 Knochenaugmentationen unter Zuhilfenahme von patientenspezifisch angefertigten Titangittern (Yxoss-Gitter, ReOss) der Klinik für MKG-Chirurgie der Universitätsklinik Mainz durchgeführt. Bei 78 Patienten wurden Gitter inseriert. Von diesen 78 Patienten erhielten 7 jeweils 2 Gitter. In den nachfolgenden Analysen wird jede durchgeführte Gitteraugmentation jedoch eigenständig bewertet, unabhängig davon, ob sie an demselben Patienten durchgeführt wurde.

Die hier vorgestellte Studie untersucht zahlreiche mögliche Einflussfaktoren auf die Erfolgsrate der Knochenaugmentation. Hauptaugenmerk wird dabei auf den gewünschten Knochengewinn zur späteren erfolgreichen Implantation gelegt. Zusätzlich findet eine Untersuchung zum Auftreten von Dehiszenzen und den möglichen negativen Auswirkungen dieser auf das Gesamtergebnis statt.

3.1 Erfassung Patientendaten

3.1.1 Einschlusskriterien und Patientengut

Innerhalb dieser Studie findet eine Patientenevaluation, bezüglich verschiedener zeitlicher und organisatorischer Parameter, statt. Wie bereits im vorherigen Abschnitt erläutert, werden 85 Knochenaugmentationstherapien bei 78 Patienten innerhalb eines Zeitraumes von etwa sieben Jahren betrachtet. Lediglich bei drei Augmentationen wurde das Gitter in der Klinik für MKG bis zum Abschluss der Erhebungen nicht entnommen. Dementsprechend können bei der Auswertung zum Auftreten von Dehiszenzen Daten von allen Patienten bewertet und analysiert werden, wobei jedoch im Falle der drei entsprechenden Augmentationen aufgrund der fehlenden Nachkontrollen nicht abschließend geklärt werden kann, ob sich eine Dehiszenz, wenn nicht vorher aufgetreten, im weiteren Verlauf ausgebildet hat. Im Ganzen wurden bei acht, der anfangs 85 vorgenommenen Augmentationen im Anschluss keine Implantationen im Hause der Zahnklinik Mainz durchgeführt.

Erhoben wird bei den implantierten Patienten, von welchem zeitlichen Abstand nach der Implantation aktuelle Röntgenbilder vorliegen. Die zeitlichen Abstände werden eingeteilt in <1J, was bedeutet, dass lediglich Röntgenbilder entweder vom Tag der Insertion des Implantates oder unter zwölf Monaten vorliegen. Die Implantationen werden weiter unterteilt in Implantationen mit dem aktuellsten Zeitpunkt der Röntgenaufnahmen nach mehr als 1, 2, 3, 4 und 5 Jahren. Die durchgeführte Studie analysiert lediglich den Knochenverlust der

Patienten, bei welchen Röntgenaufnahmen nach einem Zeitraum von einem Jahr vorliegen, um ein aussagekräftiges Ergebnis zum Auftreten von Knochenabbau treffen zu können.

Das Patientenkollektiv lässt sich, bezogen auf den Zeitpunkt der Implantation, in drei verschiedene zeitliche Gruppen unterteilen. Einige Patienten erhielten zeitgleich zur Knochenaugmentation eine Implantation. Bei der zweiten Patientengruppe wurde eine Implantation direkt anschließend an die Gitterentfernung durchgeführt. Die restlichen wurden in einem Zeitraum von ungefähr sechs Monaten nach der Gitterentfernung implantiert.

Die Ursachen für das nicht Vorhandensein des Zahnes oder der Zähne waren vielfältig und wurden als möglicher Einflussfaktor erfasst. Als potentielle Risikofaktoren werden unter anderem Rauchen als auch eine Parodontitis bei dem Patientenkollektiv untersucht. Ebenfalls einbezogen und analysiert wird der Gingivatyp der Patienten, um eventuelle Rückschlüsse bezüglich des Auftretens von Dehiszenzen bei einem dünneren oder dickeren Typen zu ziehen.

3.1.2 Datenerhebung

Für die vorliegende wissenschaftliche Arbeit wird zur Datenerhebung auf verschiedene Plattformen zur Behandlungsdokumentation an der Universitätsklinik Mainz zurückgegriffen.

3.1.2.1 Patientenbezogene Daten

3.1.2.1.1 Anamnese und defektbezogene Daten

Über die standardisierten Anamnesebögen der MKG-Chirurgie Mainz, die von den Patienten ausgefüllt und auf der Plattform SAP (<https://www.sap.com/germany/index.html>) hinterlegt werden, erfolgt eine Erhebung der unten genannten Fakten.

- Alter
- Geschlecht
- Risiko generell, spezifisch: Rauchen/Parodontitis (Pa)

Die im folgenden genannten Fakten können anhand von Operationsberichten, der Analyse von intraoperativ entstandenen Bilddokumentationen und der Beurteilung von zwei- und dreidimensionalen Röntgenbildern erfasst werden.

- Gingivatyp
- Defekttyp
 - Oberkiefer (OK)/Unterkiefer (UK)

-
- Spezifischere Kieferaufteilung
 - Horizontaler/Vertikaler-, Kombiniertes Defekt

3.1.2.2 Operationsbezogene Daten

Eine ausführliche Betrachtung der patientenindividuellen Operationsberichte erlaubt die Auswertung mehrerer operationsbezogener Daten, welche für die weitere Analyse relevant sind. Operationsberichte werden von dem jeweiligen Hauptoperateur postoperativ angefertigt und dienen der Dokumentation aller im Rahmen der Operation durchgeführten Schritte und der verwendeten Materialien. Sie werden digitalisiert und auf der Plattform SAP hinterlegt. Im Weiteren erfolgt eine Auflistung der enthaltenen Fakten.

- Operateure
- Anästhesiemethode
- Schnittführung
- Augmentationsmaterial
- Entnahmestelle autologer Knochen
- Membranart
- Eigenbluttherapie
- Schraubenanzahl
- Volumenersatz (cm³)

Das zu rekonstruierende Volumen wird von der Firma ReOss patientenspezifisch berechnet und dem behandelnden Operateur auf der Website (<https://www.reoss.eu/myreoss/login.php>) unter dem Punkt MyReOss zur Verfügung gestellt.

3.1.2.3 Postoperative Daten

Postoperativ findet eine weitere Dokumentation der obligaten Kontrolltermine statt. Diese werden zum einen auf der Plattform Visident (<https://dental.bdv.com/visident/>) dokumentiert, welche eine digitale Dokumentationsplattform darstellt, die sowohl von der Zahnklinik als auch von der MKG-Chirurgie der Uniklinik Mainz genutzt wird. Parallel hierzu erfolgt eine Dokumentation auf der Plattform SAP, auf welche alle Fachbereiche der Uniklinik Zugriff haben. Für diese Studie relevante Informationen sind nachfolgend aufgelistet.

- Dehiszenzaufreten

Sowohl der Reentry der Augmentationsgitter als auch die Implantation werden ebenfalls in Form von Operationsberichten dokumentiert und bei SAP digital hinterlegt mit den entsprechend operationsrelevanten Informationen:

-
- Reentry
 - Implantation
 - Operationstermin
 - Implantatsystem
 - Anzahl der Implantate

Bei den Patienten, die eine Implantation erhielten, fanden postoperativ zudem Kontrolltermine statt, welche bei Visident und SAP festgehalten wurden. Zudem liegen Röntgenkontrollaufnahmen in regelmäßigen Abständen – abhängig von der Häufigkeit der Kontrolltermine – vor, um eine Beurteilung des Knochenzustands vorzunehmen. Dies erlaubt die Feststellung, ob ein Knochenabbau generell und wenn ja, ein relevanter von >2mm, stattgefunden hat oder eine suffiziente Osseointegration vorliegt.

- Knochenabbau generell
- Knochenabbau relevant (>2mm)

Die in der MKG-Chirurgie der Universitätsklinik Mainz aufgenommenen Röntgenbilder wurden auf der Bildgebungsplattform Sidexis (<https://www.dentsplysirona.com/de-de/entdecken/produktmarken-entdecken/sidexis-4.html>) abgespeichert, sodass ein klinikinterner Zugriff möglich ist. In der Regel wurden zur Verlaufskontrolle Panoramaschichtaufnahmen des gesamten Kiefers oder Halbseiten-Panoramaschichtaufnahmen der implantierten Kieferhälfte aufgenommen. Teilweise fand eine Kontrolle des Knochenstands auch nur durch eine Einzelzahnaufnahme der Implantate statt. Innerhalb von Sidexis gibt es die Möglichkeit, mithilfe eines Bild-Analyse-Tools Längen zu messen.

3.1.3 Datendokumentation

Die erhobenen Daten wurden in eine speziell für diese Dissertation erstellte Excel-Tabelle übertragen. Zudem erfolgte die Pseudonymisierung der Probanden mit einer Nummer. Personenbezogene Daten, wie der Name oder das Geburtsdatum, wurden nicht in die Excel-Tabelle aufgenommen.

Um eine Zuordnung der enthaltenen Angaben jederzeit zum jeweiligen Probandennamen zu ermöglichen, wurde eine Probandenidentifikationsliste angelegt. Personenbezogene Daten befinden sich lediglich intern auf den Rechnern der MKG-Chirurgie der Universitätsklinik Mainz.

Final wurde sowohl die Vollständigkeit als auch die Richtigkeit der erhobenen Daten durch erneute Durchsicht überprüft. Daraufhin folgte die Datenanalyse, nach der vor Beginn der Studie festgelegten Auswertungsstrategie (siehe Kapitel 3.3).

3.2 Planung und chirurgisches Vorgehen CAD/CAM spezifische Patientengitter

3.2.1 Gitterplanung

Das individuelle Design wird mittels Computer Aided Design/Computer-Aided Manufacturing konstruiert. Auf Grundlage einer digitalen Volumetomographie (DVT) wird ein dreidimensionales Modell des patientenspezifischen Knochendefekts generiert. Anschließend erfolgt die Gitterherstellung mittels einer speziellen Rekonstruktionssoftware (Reverse-Engineering-Software) auf der 3-D-Projektion (61). Durch die Subtraktion des Knochens vom Modell, kann man die Gitterstruktur individuell nach dem gewünschten Augmentationsvolumen gestalten. Um im Anschluss an die erfolgreiche Augmentation eine einfache Entfernung des Gitters zu gewährleisten, weist jedes Gitter einen koronal gelegenen Schlitz auf. Mittels des CAD-Programms ist es möglich, sowohl das sich ergebende Augmentationsvolumen als auch die dementsprechende Menge an erforderlichem Knochen oder Allograft zu berechnen (69).

3.2.2 Backward-Planning

Durch eine entsprechende Operationsplanung des Herstellers lässt sich das CBR® Gitter auch als Orientierungsschablone zur Implantation nutzen. Diese veranschaulicht die vorgesehene Öffnung für die Platzierung des Implantat-Vorbohrers. Laut ReOss® ermöglicht dies dem Anwender, in Bezug auf die Bohrschablone Informationen zu übertragen, wie die Lage der Implantatschulter oder den Implantatdurchmesser, je nach gewähltem Implantatsystem (90).

3.2.3 Fertigung

Das fertige digitale Modell wird anschließend in eine Stereolithographie-Datei (STL-Datei) transformiert. Daraufhin erfolgt eine Computerized Numerical Control (CNC)-Programmierung und die Gitterstruktur wird durch die Rapid-Prototyping-Technik (3-D-Druck, 3D-Druck Pulververfahren) erstellt (69). Die Gitter der Firma ReOss® (Yxoss CBR®) werden aus dem für den medizinischen Bereich zugelassenen Reintitan oder Titanlegierungen (Medical Grade 1) gemäß ISO 5832/2 und ISO 5832/3 für Titan bzw. Titanlegierungen hergestellt. Sie gelten

als biokompatibel, korrosionsbeständig und weisen eine hohe spezifische Festigkeit auf (91). Dies ermöglicht es trotz geringer Materialstärke, einen volumenstabilen und gesicherten Raum zur knöchernen Regeneration zu schaffen. Zudem ermöglichen sie eine nahezu störungsfreie radiologische Bildgebung (91). Die Titangitter werden in nicht steriler Form geliefert und müssen vor der Verwendung am Patienten nach Herstellerangaben sterilisiert werden (92).

3.2.4 Op-Technik

Von der Firma ReOss® wird dem Behandler eine empfehlenswerte Schnittführung vorgeschlagen. Diese kann vom jeweiligen Operateur jedoch individuell an die anatomischen Gegebenheiten angepasst werden. Vor dem Planen der Versorgung mit einem ReOss®-Gitter muss eine ausführliche Bewertung und Planung sowohl des parodontalen Zustands der umgebenen Zähne als auch der möglichen zukünftigen prothetischen Versorgung stattfinden. Bei der Schnittführung gibt es neben dem Schützen der anatomischen Strukturen einige andere Faktoren, die wichtig sind, um ein suffizientes Ergebnis zu erzielen. Dazu zählen eine ausreichend dimensionierte Lappenbasis zur Gewährleistung der Blutversorgung, die Durchführung eines vollständig scharfen Schnittes, die Wahl einer marginalen Schnittführung im ästhetischen Bereich und die Vermeidung von Gewebsquetschungen (92). Bei der Mobilisierung ist darauf zu achten, dass das Periost im Bereich des Lappens nicht verletzt oder perforiert wird und eine folgende Deckung des Gitters nach Volumenvergrößerung weiterhin gewährleistet ist (92).

3.2.4.1 Insertion des Yxoss® CBR Titangitters

Das Einsetzen des Yxoss® Titangitters beinhaltet mehrere Schritte. Dazu zählen die Darstellung des Defektes, teilweise die individuell gewählte Form der Knochenentnahme, die Augmentation an sich und schließlich der Wundverschluss (92). Manche Behandler führen je nach Situation eine Anfrischung des Lagerknochens durch. Im weiteren Verlauf unterscheidet man zwischen dem einzeitigen und dem zweizeitigen Vorgehen. Die Implantate können bei ersterem direkt mithilfe der Positionierungsschiene in die vorher gewählte Stelle inseriert werden. Bei dem zweizeitigen Vorgehen können die Implantate zum Zeitpunkt des Reentry ebenfalls unter Zuhilfenahme der Implantationslöcher innerhalb der Schiene exakt eingebracht werden. Das eingebrachte Gitter sollte spannungsfrei sitzen und in einem Abstand von etwa 1,5 mm zu den Nachbarzähnen und Nervenstrukturen eingebracht werden. Je nach Bedarf erfolgt die Einlage von Knochenersatzmaterial in Kombination mit autologem, partikuliertem Knochen oder auch die alleinige Einbringung des, aus den häufig gewählten intraoralen oder extraoralen Donorstellen entnommenen, Eigenknochens. Osteosyntheseschrauben werden

nach Überprüfung der optimalen Lage des Gitters, im Sinne des Zugschraubenprinzips, zur Fixierung verwendet. Anschließend erfolgt in der Regel die Abdeckung mit einer resorbierbaren Membran aus Kollagen. Der dichte und spannungsfreie Wundverschluss erfolgt mittels Einzelknopf- und auch tiefen Matratzennähten (92).

3.2.4.2 Reentry der Yxoss® CBR Titangitter

Im Anschluss an die Operation erfolgt nach einem vorher festgelegten Zeitraum die Nahtentfernung. Infolgedessen müssen in regelmäßigen Abständen die Wundheilung sowie das Auftreten von Dehiszenzen überprüft werden. Laut der Firma ReOss® kann nach einer Knochenheilungsphase des Augmentates von etwa 4-6 Monaten das Yxoss® Gitter entfernt werden. Hierzu erfolgen erneut eine Präparation eines Lappens und die Entnahme mittels leichten lateralen Extrusionsbewegungen, unter Schonung des Augmentates. Wenn bereits Implantate in Form des einzeitigen Vorgehens inseriert wurden, werden diese des Öfteren bei dieser Gelegenheit mit Gingivaformern versorgt. Bei Patienten mit einem eher dünnen Gingiva-Typ kann zudem, zur Verbreiterung der fixierten Gingiva, eine Schleimhautplastik eingesetzt werden. Zur Nachsorge wird eine regelmäßige (halbjährlich) klinische und auch radiologische Kontrolle sowohl der Implantate, also auch des augmentierten Bereiches gemäß den standardisierten Empfehlungen der jeweiligen Fachgesellschaften, empfohlen (92).

3.3 Statistische Auswertung

Alle Daten wurden in einer Excel-Tabelle erfasst und anschließend für die Auswertung als statistische Einheit in Form von Zahlenwerten anonymisiert. Somit wurden patientenidentifizierende Daten nicht registriert und damit auch nicht ausgewertet. Die statistische und graphische Auswertung der in der Excel-Tabelle zusammengeführten Daten und Parameter erfolgt unter Verwendung des Programms IBM SPSS Statistics 27 (<https://www.ibm.com/de-de/products/spss-statistics>).

Es werden deskriptive Analysen zu unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen bezüglich patientenspezifischer (Geschlecht, Alter, Generelles Risiko, Spezielles Risiko (Parodontitis/Rauchen), Gingivatyp, Defekttyp) und operationsspezifischer Faktoren (Volumenersatz (cm³), Operateure, Anästhesiemethoden, Schnittführung, Augmentationsmaterial, Entnahmestellen autologer Knochen, Membranen, Eigenbluttherapie, Schraubenanwendung, Augmentationsverlust) durchgeführt. Spezifischer wird betrachtet und dargestellt, ob es eine mögliche Einflussnahme der verschiedenen patientenspezifischen und operationsspezifischen Gegebenheiten auf die Rate an dehiszenzfreier Einheilung gibt.

Weiterhin analysiert wird eine eventuelle Beeinflussung des Implantatüberlebens bei vorangegangenen Dehiszenzgeschehen. Zur Veranschaulichung werden sowohl benutzerdefinierte APA-Tabellen, Balkendiagramme, als auch Histogramme genutzt.

Die Überlebensanalyse anhand der statistischen Methode von Kaplan und Meier [1958] wird verwendet um die Rate an dehiszenzfreier Einheilung beim Vorliegen verschiedener patientenspezifischer (Rauchen, Parodontitis, Gingivatyp, Lokalisation Kiefer) und operationsspezifischer Faktoren (Volumengruppen) innerhalb eines festgelegten Zeitraumes von einem Jahr auszuwerten. Ebenfalls wird mit dieser Methode die Implantatüberlebensrate in einem zeitlichen Bereich von 5 Jahren veranschaulicht. Mögliche Zusammenhänge verschiedener patientenspezifischer (Geschlecht, Gingivatyp, Risikofaktoren, Defekttyp) und operationsspezifischer Faktoren (Volumenersatz, Operateur, Schnittführung, Eigenbluttherapie) mit dem Auftreten von Dehiszenzen werden mithilfe des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson oder mit dem exakten Test nach Fischer analysiert. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% ($p \leq 0.05$) festgelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Analyse des Patientenguts

4.1.1 Geschlecht und Alter

In dieser Studie wurden Daten von 85 Eingriffen analysiert. Diese wurden an 69% (n=59) weiblichen und 31% (n=26) männlichen Patienten durchgeführt.

Das durchschnittliche Alter der weiblichen Patienten lag bei 44 Jahren mit einem Minimum (Min) von 15 Jahren und einem Maximum (Max) von 77 Jahren. Die Standardabweichung (SD) betrug 17 Jahre. Das männliche Durchschnittsalter lag bei 46 Jahren (Min: 23; Max: 68; SD: ± 14). Das folgende Histogramm zeigt eine weitestgehend ausgeglichene Altersverteilung.

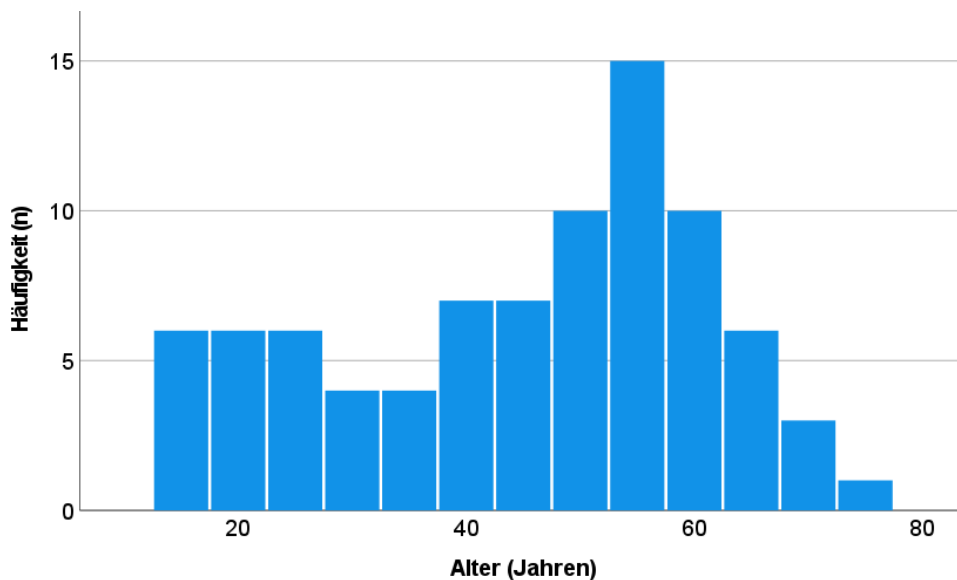


Abb. 1: Histogramm Altersverteilung

4.1.2 Generelles Risiko und spezielles Risiko (Pa/Rauchen)

Weiterhin untersucht werden die Risiken eines jeden Patienten hinsichtlich Parodontitis und Rauchen. 60% (n=51) der untersuchten Patienten weisen ein positives Risikoprofil auf. Dabei liegt der Anteil der Frauen bei 52,5% (n=31) und der der Männer bei 76,9% (n=20).

Insgesamt sind 37,6% (n=32) der Patienten als rauchend klassifiziert, wobei geschlechtsspezifisch die untersuchten Männer innerhalb des Patientenkollektivs mit 57,7% (n=15) Rauchern im Vergleich zu den untersuchten Frauen mit einem prozentualen Anteil der Rauchenden von 28,8% (n=17) einen erheblich größeren Anteil ausmachen. Die Auswertungen ergeben außerdem, dass 47,1% (n=40) der Patienten an einer Parodontitis erkrankt sind, darunter 42,4% (n=25) der Frauen und 57,7% (n=15) der Männer.

4.1.3 Gingivatyp

Ebenso wurde der Gingivatyp (dick/dünn) der Patienten innerhalb der Kohorte ermittelt. 52,9% (n=45) der Patienten weisen einen dünnen Gingivatyp auf. Der Anteil der Patienten mit einem dickeren Gingivatyp liegt bei 47,1% (n=40).

Die geschlechtsspezifische Betrachtung ergibt, dass bei Frauen der prozentuale Anteil der Patientinnen mit einem dünnen Gingivatypen innerhalb der Datenerhebung mit 61% (n=36) höher ausfällt als der mit einem dickeren Typus (n=23). Gegenteilig fällt diese Auswertung bei den männlichen Patienten aus. Diese weisen mit 65,4% (n=17) einen größeren Anteil mit dem dickeren Gingivatyp auf.

4.1.4 Defekttyp

In Bezug auf die Häufigkeit des Auftretens des Defekts im Ober-, oder Unterkiefer ergibt sich, dass bei 34 Patienten, das entspricht 40%, der Defekt im Oberkiefer auftritt und bei 51 Patienten, also 60%, das Substanzdefizit im Unterkiefer lokalisiert ist.

Zunächst wird eine spezifischere Unterteilung in genauer definierte Kieferregionen und den dort auftretenden Häufigkeiten betrachtet. Bei den definierten Regionen handelt es sich um die OK-Frontzähne, die OK-Seitenzähne, eine Kombination aus den OK-Front- und Seitenzähnen sowie dieselbe Einteilung für den Unterkiefer.

Tab. 1: Defektaufteilung Kieferregionen

	Häufigkeit	Prozent
OK-Front	13	15,3
OK-Seitenzahn	7	8,2
OK-Front/Seitenzahn	16	18,8
UK-Front	6	7,1
UK-Seitenzahn	32	37,6
UK-Front/Seitenzahn	11	12,9
Gesamt	85	100,0

Von den insgesamt 85 untersuchten Eingriffen weisen 18,8% (n=16) der Patienten einen Horizontalen und 81,2% (n=69) einen Vertikalen-, oder Kombinierten-Defekt auf.

Weiterhin erfolgt die Analyse der Häufigkeit der unterschiedlichen Defektursachen. Es zeigt sich, dass die mit einem Anteil von 44,7% (n=38) am häufigsten auftretende Ursache Zahnverlust, verursacht durch Karies oder Parodontitis, darstellt. Die geringste Häufigkeit zeigt

sich innerhalb der betrachteten Patientenkohorte für die Nichtanlagen, mit einem Anteil von 10,6% (n=9).

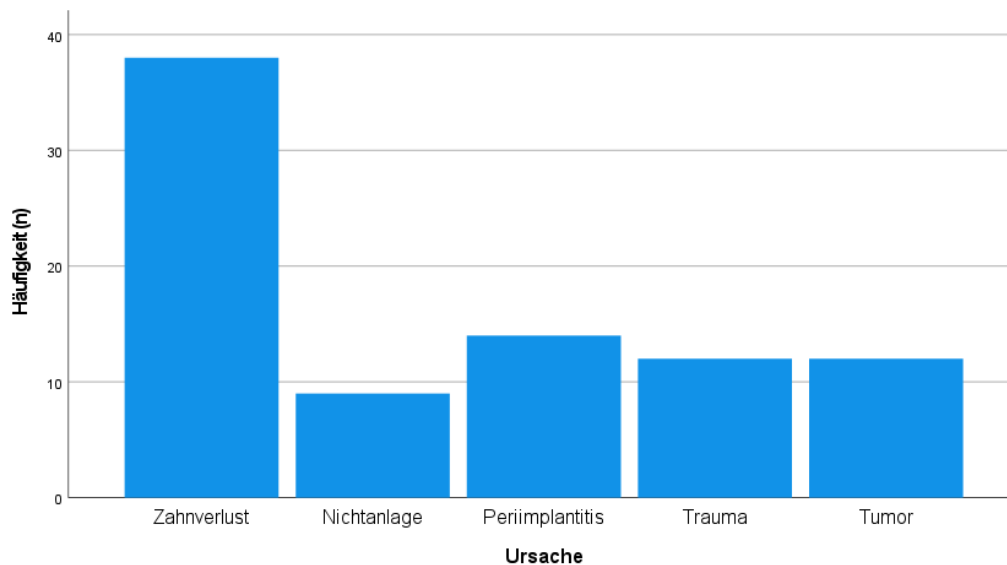


Abb. 2: Balkendiagramm Defektursache

Die Betrachtung der Anzahl verlorengegangener Zähne zeigt, dass bei einem Großteil aller Patienten weniger als fünf fehlende Zähne zu behandeln sind. Die minimale Anzahl beläuft sich auf einen Zahn, die maximale Anzahl liegt bei 14 Zähnen, während der Mittelwert bei 3,65 mit einer Standardabweichung von 2,63 liegt.

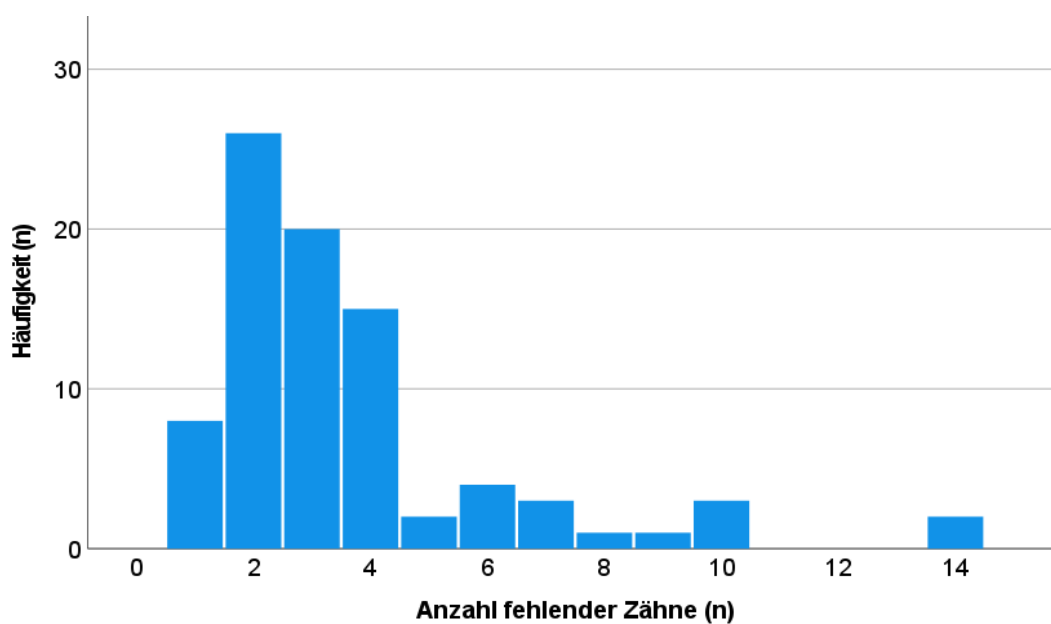


Abb. 3: Histogramm Anzahl der fehlenden Zähne

4.2 Deskriptive Analyse der angewendeten Therapieoptionen

4.2.1 Volumenersatz (cm³)

Unter Zuhilfenahme der vom Hersteller vorher patientenspezifisch berechneten Volumenangabe für die jeweils dem Defekt entsprechenden ReOss®-Gitter kann eine Untersuchung bezüglich des Aufbauvolumens erfolgen. Hierbei zeigen sich Volumina von 0,22 bis 8,51cm³.

Tab. 2: Volumenersatz

Mittelwert	1,6146
Median	1,1600
Std.-Abweichung	1,45882
Minimum	,22
Maximum	8,51

4.2.2 Operateure

Zusätzlich findet eine Einteilung der operierten Patienten nach Operateuren statt. Dabei wird zwischen erfahrenen und unerfahrenen Behandlern unterschieden. Annähernd 90% (n=76) der durchgeführten Operationen werden durch erfahrene Operateure durchgeführt, welche diese Art der Operation schon multiple Male eigenständig durchgeführt haben. Lediglich 10,6% (n=9) der Eingriffe werden von unerfahrenen Operateuren vorgenommen.

4.2.3 Anästhesiemethoden

Der chirurgische Eingriff erfolgt in 47,1% der Fälle in Lokalanästhesie und in 52,9% (n=45) in Intubationsnarkose. Tabelle 3 veranschaulicht, dass Knochenaugmentationen in Intubationsnarkose (ITN) bei einem deutlich größeren Volumen gegenüber der Operation in Lokalanästhesie (LA), welche man eher bei kleineren Volumina gewählt hat, präferiert wird. Dies lässt sich unter Betrachtung der gewählten Anästhesieform, bezogen auf den jeweiligen Mittelwert der Anzahl der fehlenden Zähne, bestätigen. Patienten, die unter dem Einsatz einer Lokalanästhesie behandelt wurden, hatten im Mittel einen vorherigen Zahnverlust von 3 Zähnen (SD ±2). Patienten, die in Intubationsnarkose operiert wurden, wiesen im Mittel einen höheren Zahnverlust auf mit 5 Zähnen (SD ±3).

Tab. 3: Häufigkeitsverteilung Anästhesiemethoden unter Betrachtung unterschiedlicher Faktoren

		Anästhesie	
		Lokalanästhesie	Intubationsnarkose
Häufigkeit	Anzahl (n)	40	45
	Prozent	47,1	52,9
Volumenersatz (cm³)	Mittelwert	1,10	2,08
	Standardabweichung	0,71	1,78
Anzahl fehlender Zähne	Mittelwert	3	5
	Standardabweichung	2	3

4.2.4 Schnittführung

Zudem wird erhoben, welche Form der Schnittführung (Krestal/Poncho) generell, in Bezug auf die Lokalisation des Defekts, unter Betrachtung der augmentierten Volumina sowie bezogen auf den Defekttypen gewählt wird. Dabei fällt auf, dass die Wahl einer krestalen Schnittführung mit 76,5% (n=65) überwiegt.

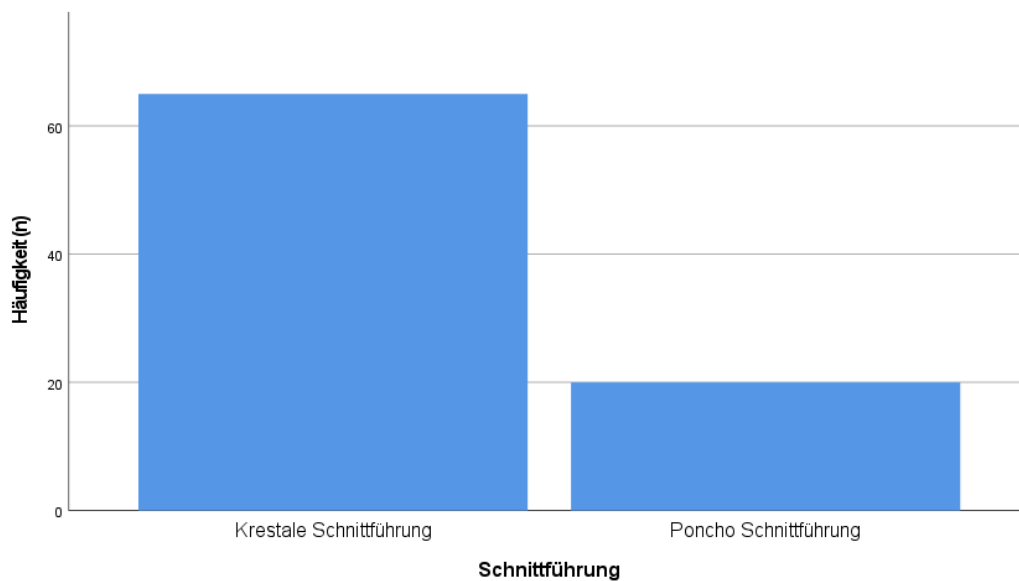


Abb. 4: Balkendiagramm Schnittführung

Wird die intraorale Position des Defekts mit einbezogen, ergibt sich, dass die Häufigkeit der krestalen Variante nicht von der Lokalisation im Mundraum abzuhängen scheint. Demgegenüber deuten die Daten darauf hin, dass die Ponchoschnittführung im Unterkieferbereich, mit 17 zu drei Anwendungen, wesentlich beliebter ist als im Oberkiefer.

Tab. 4: Häufigkeitsverteilung Schnitfführungswahl bezüglich Kiefereinteilung

		Kiefereinteilung	
		Mandibula	Maxilla
		Anzahl	Anzahl
Schnitfführung	Krestale Schnitfführung	34	31
	Poncho Schnitfführung	17	3

Das mittlere augmentierte Volumen bei Anwendung der krestalen Variante beträgt $1,78\text{cm}^3$ ($\text{SD} \pm 1,60\text{cm}^3$). Mit $1,06$ ($\text{SD} \pm 0,60\text{cm}^3$) fällt das gemittelte Volumen unter Verwendung der Ponchoschnitfführung etwas geringer aus.

4.2.5 Augmentationsmaterial

Bei der Ermittlung der jeweils verwendeten Augmentationsmaterialien ergibt sich, dass insbesondere die Kombination aus autolog gewonnenem Knochen und dem Produkt Bio-Oss® der Firma Geistlich am häufigsten Anwendung findet mit 88,2% ($n=75$). Die alleinige Verwendung von autologem Knochen (4,7%) sowie eine Kombination aus autologem Knochen und KEM anderer Firmen (7,1%) wird bei dem betrachteten Patientenkollektiv, mit nur vier bis sechs Anwendungen bei insgesamt 85 Eingriffen, deutlich seltener eingesetzt.

Analysiert wird außerdem, welches Augmentationsmaterial, bei welcher Volumengröße bevorzugt zum Einsatz kommt. Die Ergebnisse zeigen ein etwas höheres mittleres Augmentationsvolumen von $1,61\text{cm}^3$ ($\text{SD} \pm 1,58\text{cm}^3$) bei der Nutzung autologem Knochen und der Kombination aus autologem Knochen und Bio-Oss® mit $1,64\text{cm}^3$ ($\text{SD} \pm 1,51\text{cm}^3$). Die Kombination aus autologem Knochen und einem KEM anderer Firmen wird bei einem durchschnittlichen Volumen von etwa $1,25\text{cm}^3$ ($\text{SD} \pm 0,46\text{cm}^3$) verwendet.

Weiterhin untersucht wird, ob sich ein Zusammenhang zwischen dem Defekttypen (Horizontaler-, Vertikaler-/Kombinierter-Defekt) und dem dann jeweils eingesetzten Augmentationsmaterial herstellen lässt. Sowohl die horizontalen Defekte als auch die Vertikalen-, Kombinierten-Defekte werden am häufigsten mit der Kombination aus autologem Knochen und Bio-Oss® versorgt. Die horizontalen Defekte werden mit 6,3%, am seltensten mit der Kombination aus autologen Knochen und einem anderen KEM behandelt. Bei den Vertikal-Kombinierten Defekten wies mit 1,4% der autologe Knochen allein den geringsten Verwendungsanteil auf.

Tab. 5: Häufigkeitsverteilung Augmentationsmaterialwahl bezüglich Defekttyp

		Defekttyp			
		Horizontal		Vertikal/ Kombiniert	
		Anzahl	Anzahl als Spalten (%)	Anzahl	Anzahl als Spalten (%)
Augmentationsmaterial	Autolog	3	18,8%	1	1,4%
	Autolog/Bio-Oss®	12	75,0%	63	91,3%
	Autolog/KEM	1	6,3%	5	7,2%

4.2.6 Entnahmestellen autologer Knochen

Innerhalb des Patientenkollektivs wird die Häufigkeit einzelner Entnahmestellen aufgelistet, einschließlich der Beurteilung, wie oft die Entnahmeregion separat vorkommt. Es stellt sich heraus, dass bei 55,3% (n=47) der Patienten der Kieferwinkel die präferierte Entnahmeregion darstellt. Darauf folgte mit 22,4% (n=19) die Entnahme im Bereich des Beckens. Die Kinnregion hatte einen prozentuellen Anteil von 7,1% (n=6), paranasal von 9,4% (n=8) und im Bereich der Crista Zygomaticoalveolaris von 5,9% (n=5).

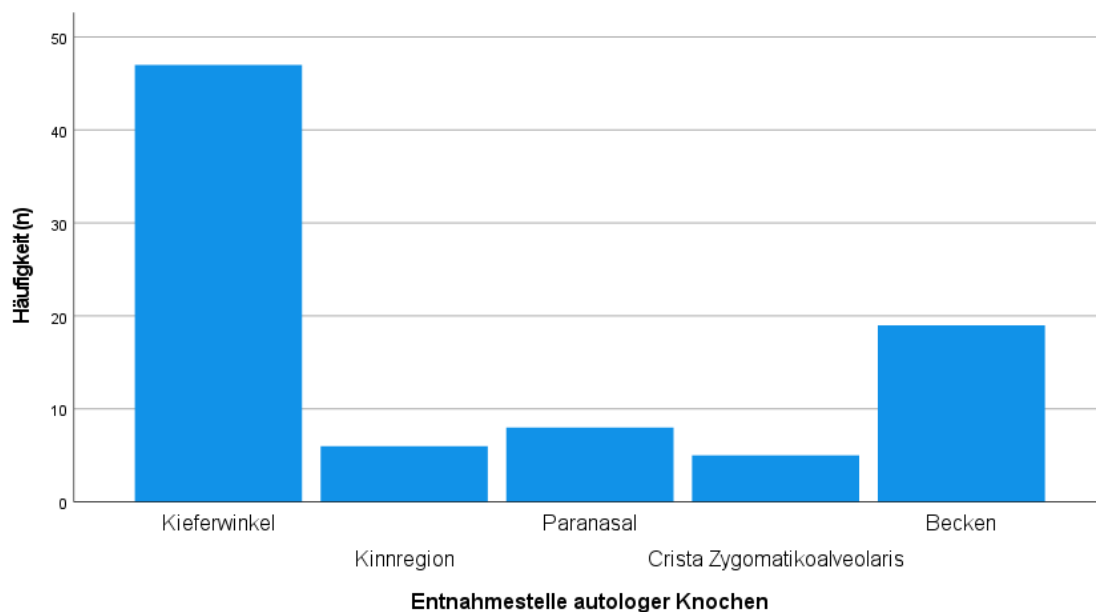


Abb. 5: Balkendiagramm Entnahmestelle autologer Knochen

Die Ergebnisse zeigen, dass bei etwa der Hälfte der Patienten (49,4%) die Entnahmeregion mit der Region des zu augmentierenden Defekts übereinstimmt. Bei den restlichen Patienten wird eine separate Entnahmeregion bevorzugt, was sich durch ein eventuell zu geringes Knochenangebot um den Defekt erklären lassen könnte.

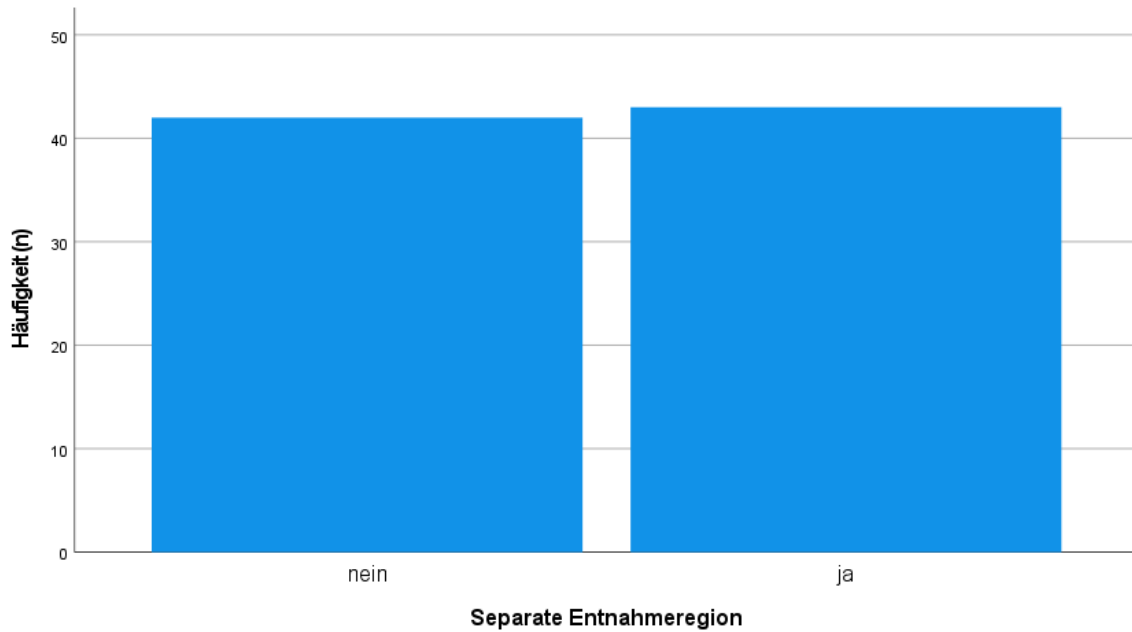


Abb. 6: Balkendiagramm separate Entnahmeregion

4.2.7 Membranen

Der Anteil an Eingriffen, bei denen eine Membran angewandt wird, ist mit 97,6% (n=83) sehr hoch. Lediglich bei zwei Eingriffen, 2,4% entsprechend, wurde keine Membran im Laufe der Augmentation eingesetzt. Die Fälle, in denen eine Membran verwendet wurde, wurden für die weitere Analyse nach der Art der verwendeten Membran in Untergruppen eingeteilt. Die Auflistung zeigt, dass die Bio-Gide®-Membran der Firma Geistlich mit 85,9% (n=73) am häufigsten gewählt wird. Die restlichen Membranen weisen eine annähernd gleiche Häufigkeit des Einsatzes zwischen 2,4% und 4,7% auf.

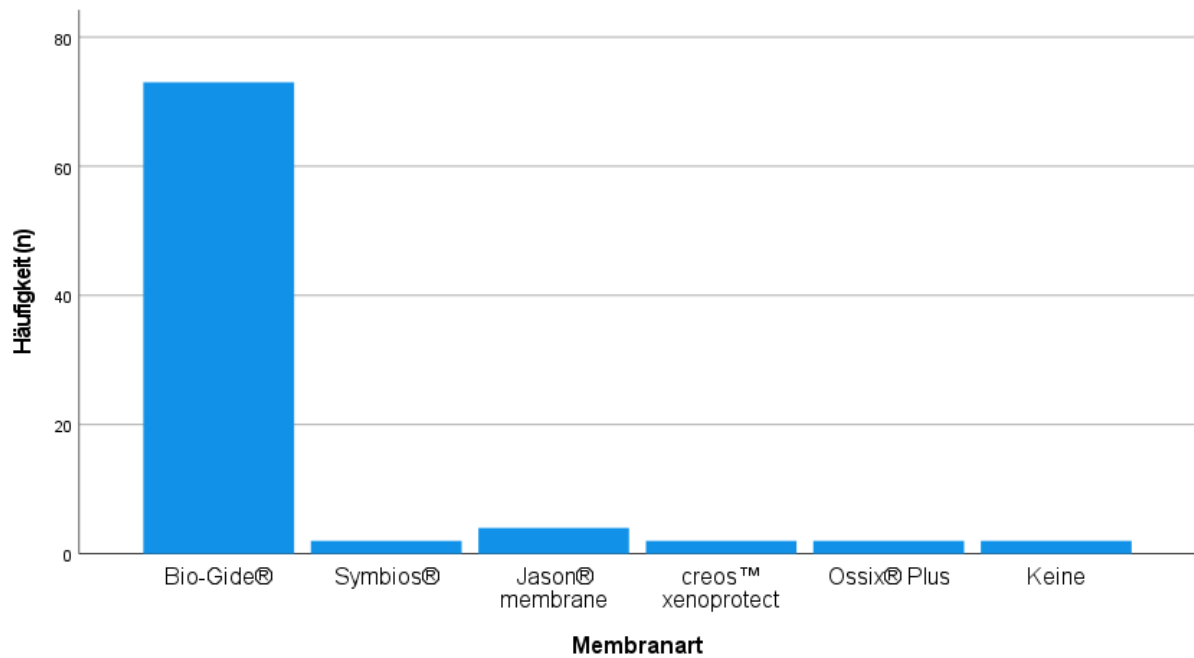


Abb. 7: Balkendiagramm Membranarten

4.2.8 Eigenbluttherapie

Die Auswertung der erhobenen Daten ergibt, dass bei 42,4% (n=36) der Patienten eine Eigenbluttherapie unter Nutzung der A-PRF+ und i-PRF-Methode durchgeführt wird. Mit 57,6% (n=49) ist der Anteil der Patienten ohne Eigenbluttherapie etwas höher ausfallend. Genauer untersucht wird im weiteren Verlauf der Dissertation, ob sich durch den Einsatz der Eigenbluttherapie weniger Dehiszenzen zeigen.

4.2.9 Schraubenanwendung

Mit Hilfe der genauen Dokumentation im Rahmen der OP-Berichte kann die Anzahl der bei dem jeweiligen Patienten verwendeten Schrauben ermittelt werden. Anschließend werden diese nach ihrer Häufigkeit eingeteilt. Es zeigt sich, dass im Großteil der Fälle (n=52) zwei Schrauben verwendet werden. Sowohl die Anwendung von einer (n=11) beziehungsweise drei Schrauben (n=19) kommt ebenfalls häufiger vor. Nur einmal werden mehr als vier Schrauben verwendet.

4.2.10 Augmentationsverlust

Lediglich bei einem augmentierten Kiefer kommt es im Verlauf der Einheilungsphase zu einem totalen Verlust des Augmentates. Daraus ergibt sich eine Augmentatverlustrate von 1,2%.

4.3 Deskriptive und statistische Analyse des Outcomes

4.3.1 Dehiszenzen

Innerhalb des gesamten Kollektivs wird untersucht, ob es bei den Patienten im Zeitraum zwischen dem Augmentationstermin und dem Termin zur Entfernung des Gitters zum Auftreten einer Dehiszenz kommt. Bei insgesamt 33 der Eingriffe, 38,8% entsprechend, trat im Nachgang eine Dehiszenz auf. Der größere Anteil der Eingriffe, 52 (61,2%), entwickelte keine dahingehende Auffälligkeit der Schleimhaut.

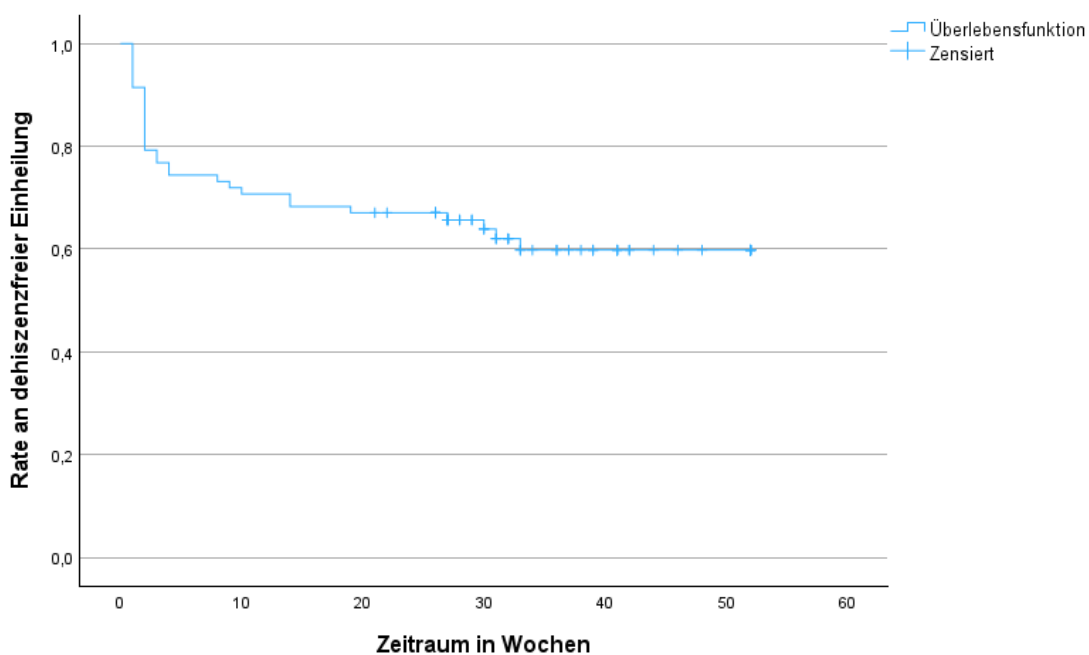


Abb. 8: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an dehiszenzfreier Einheilung

Abbildung 8 stellt das zeitliche Auftreten von Dehiszenzen im Studienverlauf dar, wobei die Häufigkeit des Auftretens von Dehiszenzen in den ersten vier Wochen am größten war.

Das Auftreten einer Dehiszenz wird in den folgenden Zeitphasen erfasst. Damit lässt sich feststellen, ob die Dehiszenzen frühzeitig (<2 Wochen), mittelfristig (3-9 Wochen) oder eher im späteren Verlauf (>10 Wochen) der Einheilungsphase auftreten.

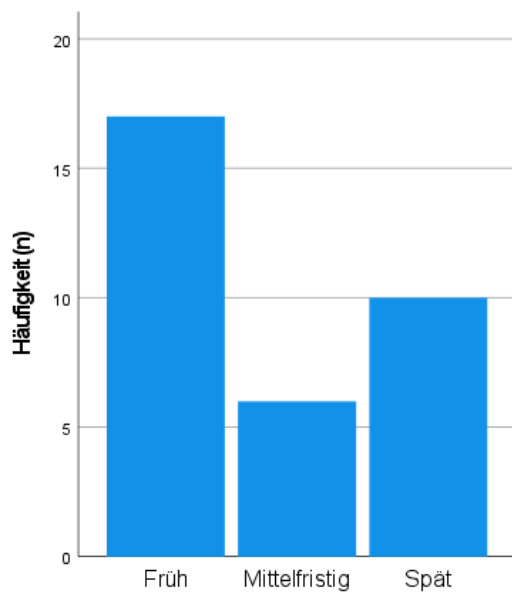


Abb. 9: Balkendiagramm zeitliches Auftreten Dehiszenzen

Es zeigt sich, dass der Großteil der Dehiszenzen (51,5%) innerhalb der ersten zwei Wochen und somit früh auftritt. Mittelfristig auftretende Dehiszenzen erscheinen mit 18,2% am seltensten. Der Anteil der spät auftretenden Dehiszenzen liegt prozentual gesehen bei 30,3%.

4.3.1.1 Bezogen auf Geschlecht und Alter

Die folgende Tabelle veranschaulicht, dass sowohl das mittelwertige Alter bei Patienten, welche eine Dehiszenz entwickeln, als auch bei denen, welche keine Dehiszenz aufweisen, bei 45 Jahren liegt. Ebenso liegen Maximum und Minimum beider in etwa gleich auf, sowie auch die Standardabweichung.

Tab. 6: Häufigkeitsverteilung des altersspezifischen Auftretens von Dehiszenzen

	Dehiszenz							
	nein				ja			
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung	Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung
Alter	45	68	15	17	45	77	17	16

Die Betrachtung des geschlechtsspezifischen Auftretens ergibt, dass Frauen mit knapp 34% seltener Dehiszenzen, als Männer mit einer Rate von 50% entwickeln. Der Chi-Quadrat-Test ergab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem Auftreten einer Dehiszenz ($p=0,160$).

Tab. 7: Häufigkeitsverteilung des geschlechterspezifischen Auftretens von Dehiszenzen

		Dehiszenz			
		nein		ja	
		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
Geschlecht	Weiblich	39	66,1%	20	33,9%
	Männlich	13	50,0%	13	50,0%

4.3.1.2 Bezogen auf generelles Risiko und spezielles Risiko

In etwa die Hälfte der Patienten mit einem allgemeinen Risiko entwickeln eine Dehiszenz. Bei lediglich 23,5% der Patienten, ohne Risikoprofil im Hinblick auf Rauchen oder PA, tritt eine Gitterexposition auf.

Tab. 8: Häufigkeitsverteilung Auftreten von Dehiszenzen, abhängig vom allgemeinen Risiko

		Dehiszenz			
		nein		ja	
		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
Allgemeines Risiko	nein	26	76,5%	8	23,5%
	ja	26	51,0%	25	49,0%

Im Speziellen wird das Auftreten einer Dehiszenz unter genauer Unterteilung der jeweiligen Risiken untersucht. Bei den rauchenden Patienten, welche insgesamt 32 ausmachen, liegt der Anteil der Dehiszenzen mit 62,5% (n=20) deutlich höher. Bei den Nicht-Rauchern ist das Auftreten einer Dehiszenz mit nur 24,5% (n=13) als seltener einzustufen. Der Chi-Quadrat-Test ergab einen signifikanten Zusammenhang ($p < 0,001$).

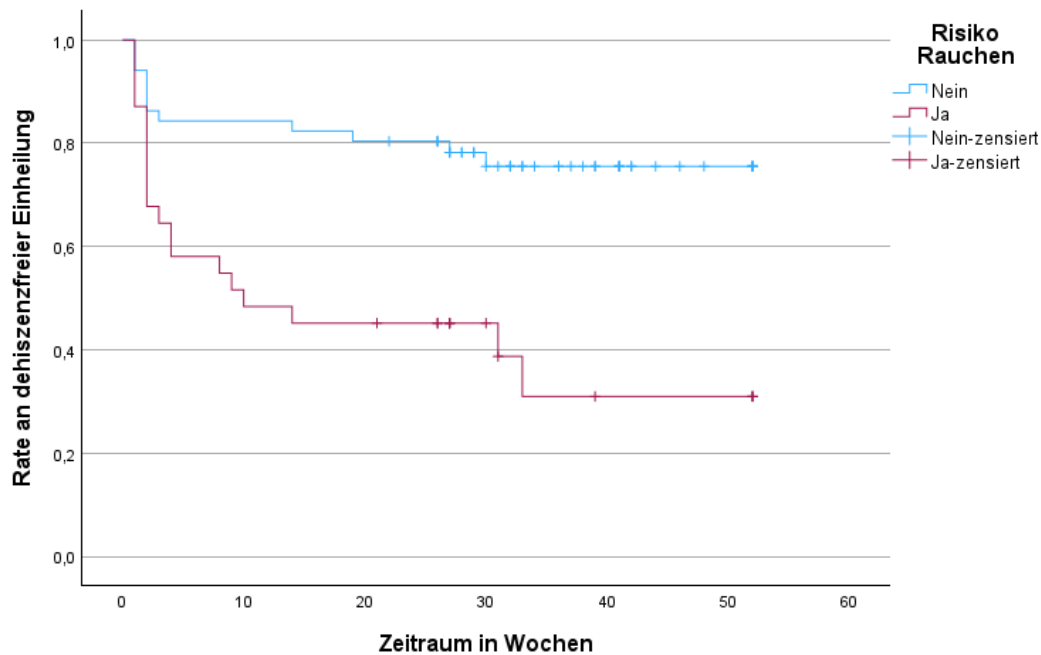


Abb. 10: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an dehisenzfreier Einheilung unter Berücksichtigung des speziellen Risikos Rauchen

Abbildung 10 veranschaulicht, dass Dehissenzen in der Gruppe der Raucher im Allgemeinen wesentlich früher und insgesamt mit einer größeren Häufigkeit auftreten.

Insgesamt 17 der 40 Patienten, die an einer Parodontitis erkrankt sind, entwickeln eine Dehissenzenz, was einem prozentuellen Anteil von 42,5% entspricht. Die nicht parodontal vorerkrankten Patienten, haben mit 35,6% seltener eine Dehissenzenz. Die statistische Auswertung mit dem Chi-Quadrat-Test zeigt, dass das Ergebnis nicht signifikant ist ($p=0,512$).

Tab. 9: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehissenzenz bei Risiko Rauchen und Parodontitis

		Dehissenzenz			
		nein		ja	
		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
Risiko Rauchen	Nein	40	75,5%	13	24,5%
	Ja	12	37,5%	20	62,5%
Risiko Parodontitis	Nein	29	64,4%	16	35,6%
	Ja	23	57,5%	17	42,5%

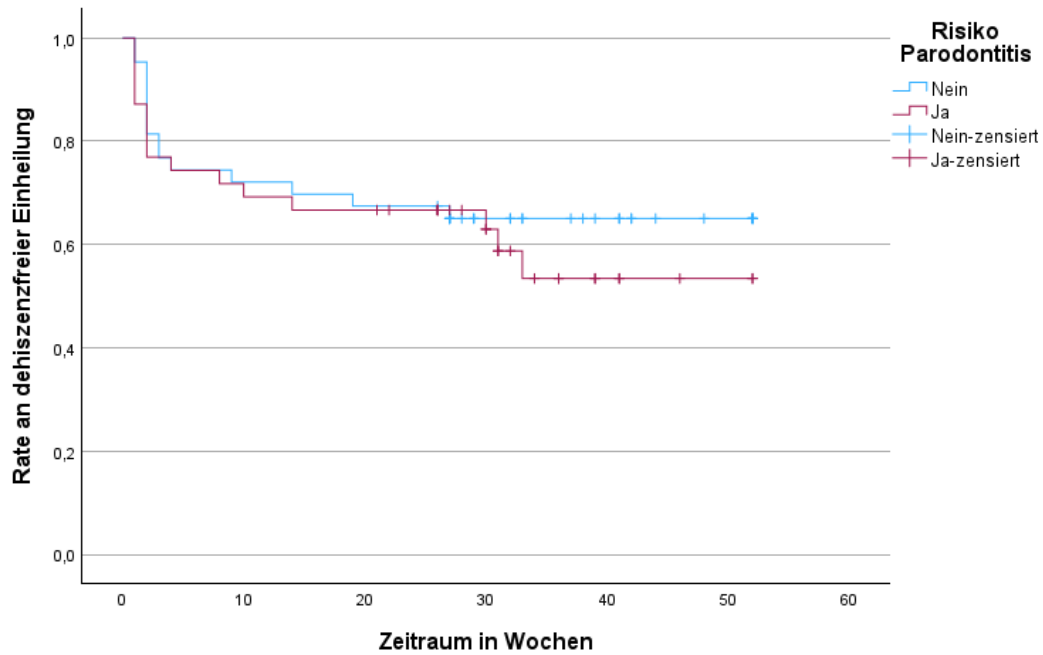


Abb. 11: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an dehissenzfreier Einheilung unter Berücksichtigung des speziellen Risikos Parodontitis

4.3.1.3 Bezogen auf Gingivatyp

19 (42,2%) der 45 Patienten mit einem dünneren Gingivatypen entwickeln eine Dehiszenz, wohingegen dies bei nur 14 (35%) der 40 Patienten mit einem dickeren Gingivatypen der Fall ist. Das Ergebnis ist nicht signifikant ($p=0,495$).

Tab. 10: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz bezüglich Gingivatyp

		Dehiszenz			
		nein		ja	
Gingivatyp		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
Dünner Gingivatyp		26	57,8%	19	42,2%
Dicker Gingivatyp		26	65,0%	14	35,0%

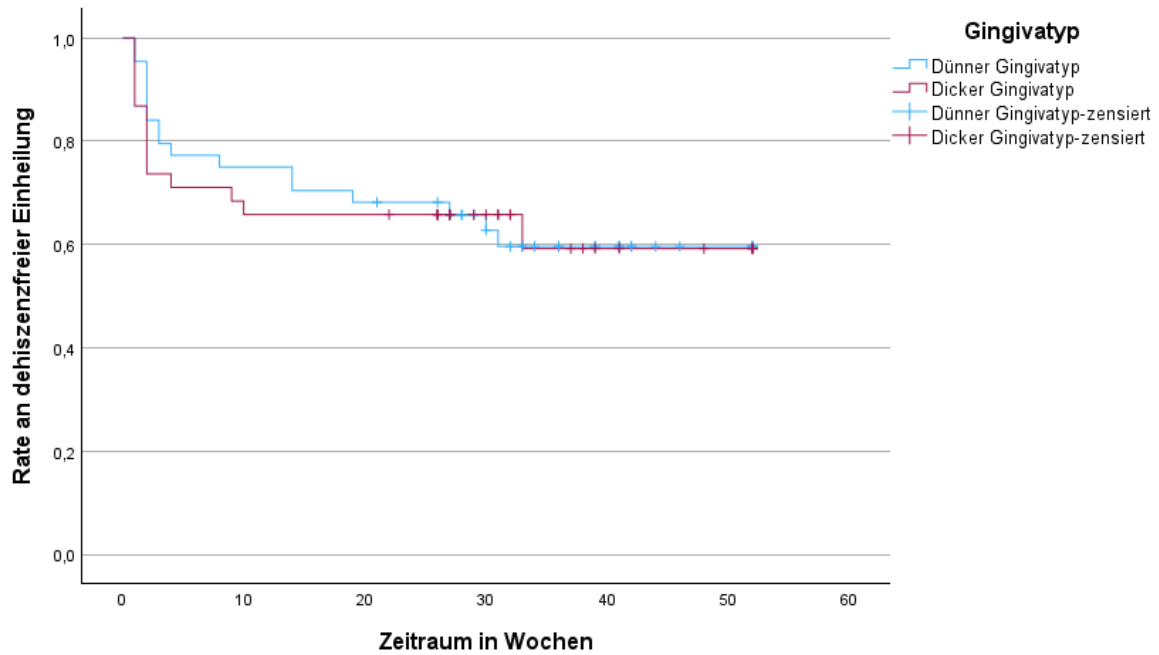


Abb. 12: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an dehisenzenfreier Einheilung unter Berücksichtigung des Gingivatyps

Es wird ermittelt, inwieweit sich Unterschiede in Bezug auf das Auftreten einer Dehiszenz in Abhängigkeit des Gingivatyps ergeben. Der Vergleich der Kaplan-Meier Kurven lässt keine deutlichen Abhängigkeiten in diesem Bereich erkennen.

4.3.1.4 Bezogen auf die Ursache

Zahnverluste aufgrund von Trauma (75%) und Periimplantitis (42,9%) weisen eine wesentlich höhere Dehiszenzrate auf. Bei den Ursachen Zahnverlust, Nichtanlage und Tumor liegt eine ähnliche prozentuale Häufigkeit (zwischen 25 und 34,2%) vor. Aufgrund der geringen Fallzahlen in der Mehrheit der Ursachentypen wurde auf eine statistische Analyse verzichtet.

Tab. 11: Häufigkeitsverteilung Auftreten von Dehiszenzen in Abhängigkeit zur Defektursache

		Dehiszenz			
		nein		ja	
		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
Ursache	Zahnverlust	25	65,8%	13	34,2%
	Nichtanlage	7	77,8%	2	22,2%
	Periimplantitis	8	57,1%	6	42,9%
	Trauma	3	25,0%	9	75,0%
	Tumor	9	75,0%	3	25,0%

4.3.1.5 Bezogen auf Defekttyp

Insgesamt 34 der Knochenaugmentationen werden im Oberkiefer durchgeführt. Davon entwickeln 18 Patienten eine Dehiszenz. Dies entspricht 52,9%. Im Unterkiefer finden demnach 51 Augmentation statt, wovon nur 15 Patienten, 29,4% entsprechend, eine Dehiszenz entwickeln. Die statistische Analyse mit dem Chi-Quadrat-Test zeigt eine statistische Signifikanz ($p=0,029$).

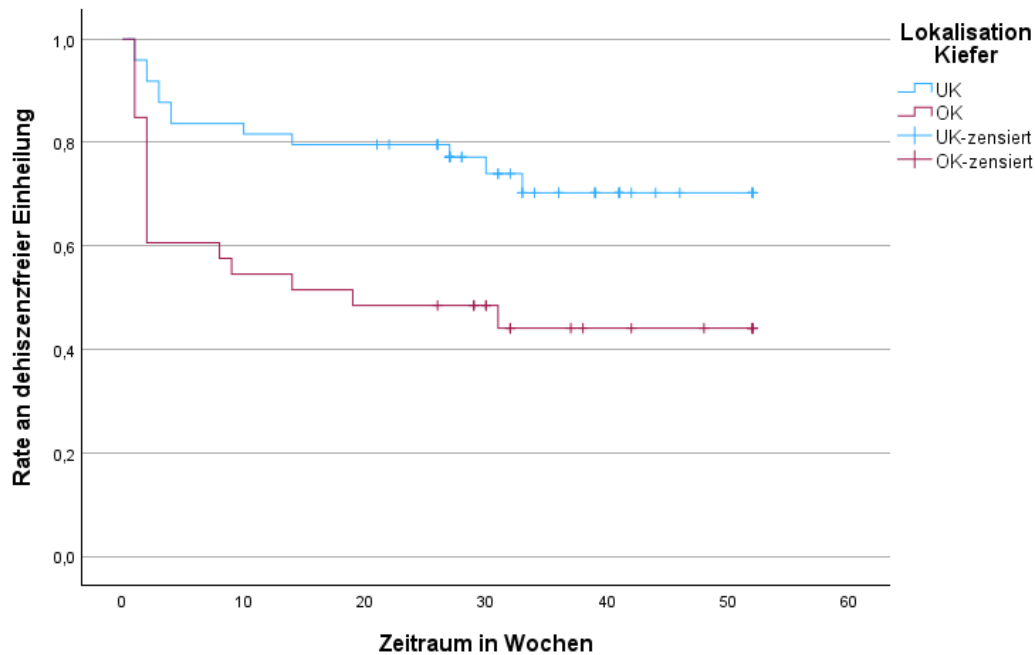


Abb. 13: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur dehiszenzfreien Einheilung unter Berücksichtigung der Lokalisation im Kiefer (Mandibula/Maxilla)

Im Oberkiefer treten am häufigsten frühe Dehiszenzen auf (72,2%). Das Auftreten später (16,7%) und mittelfristiger (11,1%) Dehiszenzen hingegen macht einen geringen Anteil aus. Die Spätdehiszenzen zeigen sich im Unterkiefer am häufigsten (46,7%). Sowohl frühe (26,7%), als auch mittelfristige (26,7%) Dehiszenzen treten gleichermaßen häufig auf.

Tab. 12: Häufigkeitsverteilung zeitliche Dehiszenztypen bezüglich der Kiefereinteilung (Mandibula/Maxilla)

		Einteilung der Dehiszenzen					
		Früh		Mittelfristig		Spät	
		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
Kiefereinteilung	Mandibula	4	26,7%	4	26,7%	7	46,7%
	Maxilla	13	72,2%	2	11,1%	3	16,7%

Tabelle 13 zeigt, dass die Dehiszenzrate bei vertikal/kombinierten Defekten (40,6%) um etwa 10 Prozent höher liegt als bei den horizontalen Defekten (31,3%). Der Zusammenhang zwischen dem Defekttyp wurde mit dem Chi-Quadrat-Test untersucht. Das Ergebnis ist jedoch nicht signifikant ($p=0,490$).

Tab. 13: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz bezüglich Defekttyp

		Dehiszenz			
		nein		ja	
Defekttyp		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
Horizontal		11	68,8%	5	31,3%
Vertikal/ Kombiniert		41	59,4%	28	40,6%

Weiterhin wird untersucht, ob sich ein gehäuftes Auftreten von Dehiszenzen, je nach Defektlokalisierung innerhalb der Kiefer feststellen lässt. Mit 33,3%, treten diese am häufigsten bei Augmentationen im Oberkiefer Front/Seitenzahnbereich auf. Darauf folgt mit 24,2% das UK-Seitenzahngebiet. Sowohl im OK-FZ-Bereich, im OK-SZ-Bereich und im UK-FZ/SZ-Bereich treten die Dehiszenzen mit einem Anteil von 12,1% gleichermaßen häufig auf. Die UK-FZ weisen mit 6,1% die geringste Wahrscheinlichkeit auf. Der Chi-Quadrat-Test zeigt keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der Lokalisation des Defektes und dem Auftreten einer Dehiszenz ($p=0,074$).

Tab. 14: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz bezüglich Lokalisation des Defekts

		Dehiszenz			
		nein		ja	
Lokalisation des Defekts		Anzahl	Anzahl als Spalten (%)	Anzahl	Anzahl als Spalten (%)
OK-Front		9	17,3%	4	12,1%
OK-Seitenzahn		3	5,8%	4	12,1%
OK-Front/Seitenzahn		5	9,6%	11	33,3%
UK-Front		4	7,7%	2	6,1%
UK-Seitenzahn		24	46,2%	8	24,2%
UK-Front/Seitenzahn		7	13,5%	4	12,1%

4.3.1.6 Bezogen auf Volumenersatz

Patienten, welche eine Dehiszenz entwickeln, bekommen durchschnittlich ein größeres Volumen ($1,96\text{cm}^3$) mit einer Standardabweichung von $1,93\text{cm}^3$ augmentiert. Bei Patienten

ohne Wundheilungsstörungen liegt dies bei $1,39\text{cm}^3$, mit einer Standardabweichung von $1,01\text{cm}^3$. Das jeweilige Minimum und Maximum lassen sich aus der nachfolgenden Tabelle ablesen.

Tab. 15: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz unter Berücksichtigung des Volumenersatzes (cm^3)

		Volumenersatz			
		Mittelwert	Maximum	Minimum	Standardabweichung
Dehiszenz	nein	1,39	4,24	,27	1,01
	ja	1,96	8,51	,22	1,93

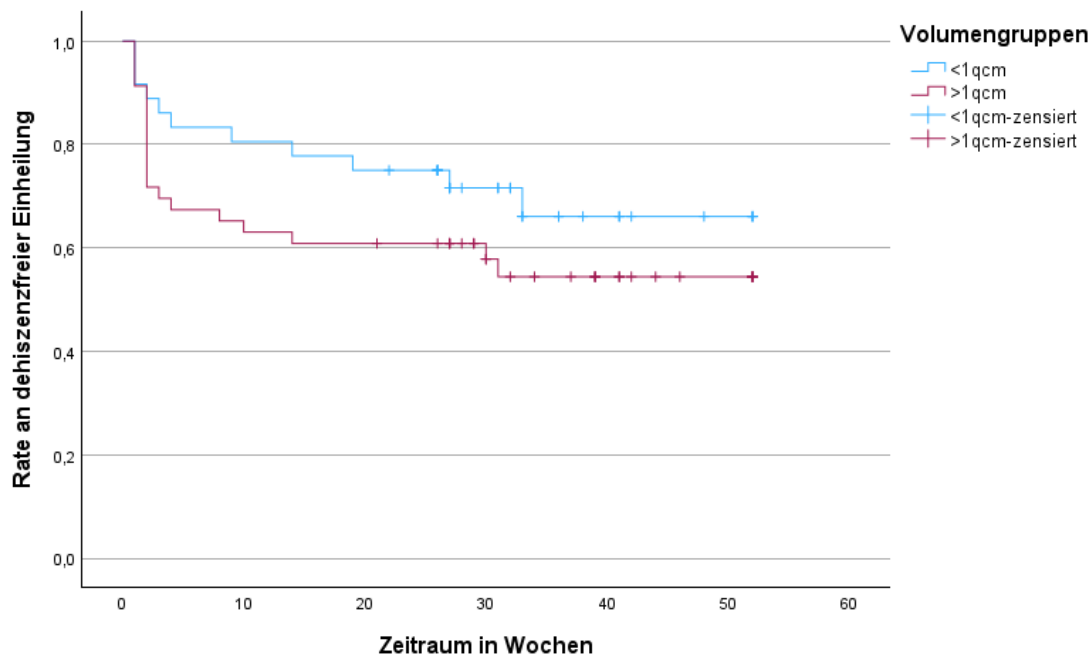


Abb. 14: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an dehiszenzfreier Einheilung unter Berücksichtigung der Volumengruppen $<1\text{cm}^3/>1\text{cm}^3$

Auch unter Betrachtung der zugehörigen Kaplan-Meier-Kurve zeigt sich das gleiche Bild. Die größeren Augmentationsvolumina zeigen eine stärkere Häufung der Gitterexpositionen.

Trotz einem in diesem Kollektiv ablesbaren Trend konnte der Zusammenhang statistisch nicht nachgewiesen werden ($p=0,373$).

4.3.1.7 Bezogen auf Operateure

Es zeigt sich, dass die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Dehiszenz bei den erfahrenen Behandlern bei 32,9% liegt. Deutlich häufiger treten Dehiszenzen mit einer

Wahrscheinlichkeit von 88,9% bei den unerfahrenen Behandlern auf. Der Zusammenhang zeigte sich als statistisch signifikant ($p=0,013$).

Tab. 16: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz unter Berücksichtigung des Operateurs

		Dehiszenz			
		nein		ja	
Operateur		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
	Erfahrene Operateure	51	67,1%	25	32,9%
	Unerfahrene Operateure	1	11,1%	8	88,9%

4.3.1.8 Bezogen auf Schnittführung

Beim Einsatz der krestalen Schnittführung entsteht bei 41,5% der Eingriffe eine Dehiszenz, wohingegen der Wert bei der Poncho-Schnittführung bei 30% liegt. Jedoch konnte kein statistischer Zusammenhang nachgewiesen werden ($p=0,354$).

Tab. 17: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz unter Berücksichtigung der Schnittführung

		Dehiszenz			
		nein		ja	
Schnittführung		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
	Krestale Schnittführung	38	58,5%	27	41,5%
	Poncho Schnittführung	14	70,0%	6	30,0%

4.3.1.9 Bezogen auf Augmentationsmaterial

Ein Großteil der Patienten ($n=81$) erhält bei der Augmentation eine Kombination aus autologem Knochen und einem KEM, wobei 60,5 Prozent dieser Patienten keine Wundheilungsstörungen haben. Von den vier Patienten, welche mit autologem Knochen behandelt werden, zeigt sich bei einer Person (25%) eine Dehiszenz.

Tab. 18: Häufigkeitsverteilung Auftreten Dehiszenz unter Berücksichtigung des verwendeten Augmentationsmaterials

		Dehiszenz			
		nein		ja	
Augmentationsmaterial		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
	Autolog	3	75,0%	1	25,0%
	Autolog/KEM	49	60,5%	32	39,5%

4.3.1.10 Bezogen auf Eigenbluttherapie

Die Dehiszenzrate bei Patienten, welche eine Eigenbluttherapie erhalten, liegt bei 36,1% (n=13), wohingegen sie bei Patienten ohne diese 40,8% (n=20) beträgt. Das Ergebnis zeigt sich allerdings nicht als statistisch signifikant ($p=0,660$).

4.4 Subkohorte implantierter Patienten

4.4.1 Deskriptive und statistische Analyse des Patientenguts

Es findet eine genauere Betrachtung der Eingriffe (n=77) statt, bei welchen eine Implantation stattgefunden hat. Der Frauenanteil liegt mit 71,4% deutlich höher als der der Männer (28,6%). Das durchschnittliche Alter der implantierten Patienten liegt bei circa 44 Jahren, wobei der älteste Patient 77 und der jüngste Patient 15 Jahre alt ist. Die generelle Dehiszenzrate unter den implantierten Patienten liegt bei 37,7%.

Tab. 19: Betrachtung deskriptive Analyse des Patientenguts bei der Subkohorte implantierter Patienten

Patientengut	Patientenanzahl	In Prozent
Geschlecht		
Weiblich	55	71,40%
Männlich	22	28,60%
Alter		
Maximum	77	
Minimum	15	
Mittelwert	44,78	
Dehiszenz		
Nein	48	62,30%
Ja	29	37,70%

Die statistischen Analysen des Einfluss verschiedener patienten- und operationsspezifischer Faktoren in der nachfolgenden Tabelle zeigte in keiner der Untersuchungen einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit dem Auftreten eines Implantatverlustes.

Tab. 20: Zusammenhang des Auftretens von Implantatverlusten mit patientenspezifischen und operationsspezifischen Faktoren (Statistisch signifikant positive Assoziationen ($p < 0,05 =$ signifikant *, $p < 0,01 =$ sehr signifikant **, $p < 0,001 =$ hoch signifikant ***))

		Pearson-Chi- Quadrat-Test	Exakter Test nach Fisher	
		Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Signifikanz (zweiseitig)	
Patientenspezifische Faktoren	Geschlecht		p=0,574	
	Spezielles Risiko	Rauchen	p=0,609	
		Parodontitis	p=0,621	
	Gingivatyp		p=0,621	
	Defektart	Kiefereinteilung		p=1,000
		Defekttyp		p=0,574
		Spez. Defektlokalisierung	p=0,333 ¹	
Operationsspezifische Faktoren	Volumenersatz		p=0,631	

¹erwartete Zellhäufigkeiten <5, Kreuztabellen >2x2, Interpretation der Ergebnisse könnte dadurch fehlerbehaftet sein

4.4.2 Deskriptive Analyse zum Implantationsverfahren

4.4.2.1 Zeitpunkt der Implantation

Die Subkohorte implantierter Patienten umfasst drei verschiedene zeitliche Gruppierungen. Bei zwei der 77 Patienten werden die Implantate zeitgleich mit der Knochenaugmentation inseriert. Der Großteil der implantierten Patienten, 49 Personen, erhält direkt im Anschluss an die Entfernung des Gitters die Implantation. Bei den restlichen 26 Patienten wird eine Implantation erst im weiteren zeitlichen Verlauf nach der Gitterentfernung durchgeführt.

Tab. 21: Häufigkeitsverteilung Implantationszeitpunkte

	Häufigkeit	Prozent
Augmentation + Implantation	2	2,6
Reentry + Implantation	49	63,6
Implantation nach Reentry	26	33,8
Gesamt	77	100,0

4.4.2.2 Implantationsrate

Insgesamt 77 Patienten aus der Kohorte erhalten eine Implantation. Die Implantationsrate liegt somit bei 90,6%. Bei den restlichen Patienten wird bis zur Erhebung noch keine Implantation vorgenommen.

4.4.2.3 Knochenabbau

Der generelle Knochenabbau wurde nur bei Patienten ermittelt, bei welchen Röntgenaufnahmen nach einem Zeitraum von einem Jahr vorliegen, um ein aussagekräftiges Ergebnis zum Auftreten von Knochenabbau treffen zu können. Ein genereller Knochenabbau lässt sich bei 65% (n=26) der 40 weiteruntersuchten Patienten feststellen. Jedoch weisen insgesamt nur 7,5% (n=3) einen für den langfristigen Erhalt der Implantate kritisch relevanten Knochenabbau von über 2 mm auf. 92,5% der Patienten (n=37) mit generellem Knochenabbau haben dementsprechend nur einen minimalen Knochenabbau von unter 2 mm.

4.4.2.4 Implantatüberleben

Die Implantatüberlebensrate liegt bei 94,8%, wobei der jeweils patientenspezifische letzte Kontrolltermin bis zum Ende der Auswertung bewertet wird. Lediglich bei vier (5,2%) Eingriffen kommt es zu einem Verlust dieser. Wie Abbildung 15 zeigt, treten alle beobachteten Verluste eher frühzeitig auf.

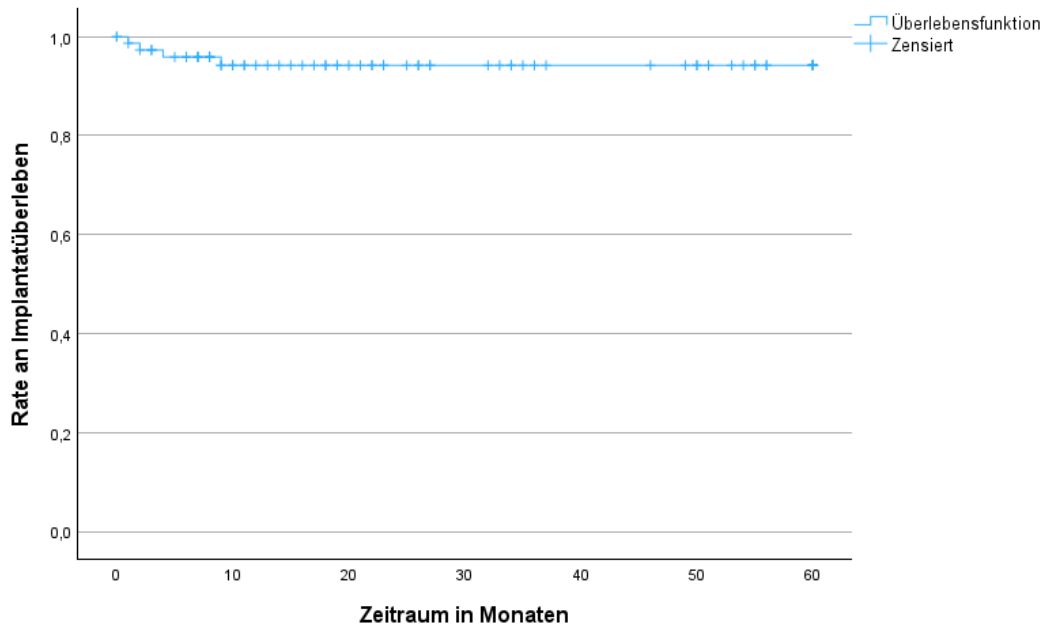


Abb. 15: Kaplan-Meier Überlebenskurve zur Rate an Implantatüberleben

4.4.2.5 Implantatverlust im Zusammenhang mit dem Auftreten von Dehiszenzen

Es scheint, dass das Auftreten einer Dehiszenz während der Augmentation die Implantatüberlebensrate nicht beeinflusst. Die Implantatverlustrate bei Patienten mit vorangegangener Dehiszenz liegt bei 6,9% und bei der anderen Gruppe bei 4,2%.

Tab. 22: Häufigkeitsverteilung Auftreten Implantatverlust bei vorausgegangenem Dehiszenzen während der Augmentationsphase

		Implantatverlust			
		nein		ja	
		Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
Dehiszenz	nein	46	95,8%	2	4,2%
	ja	27	93,1%	2	6,9%

4.4.2.6 Implantatverlust im Zusammenhang mit zeitlicher Insertion der Implantate

Tabelle 23 veranschaulicht, dass drei der insgesamt vier Implantatverluste bei Implantaten auftreten, welche zeitgleich zur Entfernung des Gitters inseriert werden. Lediglich bei einem augmentierten Bereich, bei dem die Implantation zeitlich nach der Gitterentfernung vorgenommen wird, kommt es zum Verlust.

Tab. 23: Häufigkeitsverteilung Auftreten Implantatverlust unter Berücksichtigung der zeitlichen Insertion der Implantate

	Implantatverlust			
	nein		ja	
	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)	Anzahl	Anzahl als Zeilen (%)
Augmentation + Implantation	2	100,0%	0	0,0%
Reenty + Implantation	46	93,9%	3	6,1%
Implantation nach Reentry	25	96,2%	1	3,8%

5 Diskussion

Ziel der vorliegenden Inauguraldissertation ist eine retrospektive, monozentrische klinische Untersuchung von Kieferkammaugmentationen durch patientenspezifische CAD/CAM-basierte Titangitter. Hierbei liegt der Fokus auf der Evaluation der Einflussfaktoren für das Auftreten von therapiespezifischen Komplikationen, aber auch auf möglichen Einflussfaktoren hinsichtlich des Implantationserfolges.

5.1 Diskussion der klinischen Auswertung

5.1.1 Diskussion von Material und Methoden sowie Ergebnissen

Für eine erfolgreiche Implantation ist ein ausreichendes Angebot an Knochenvolumen essentiell. In einer erheblichen Zahl der Fälle ist nicht genug Knochen vorhanden, sodass eine Kieferkammaugmentation vor der Implantation erforderlich ist. Eine etablierte Methode für den Knochenaufbau ist die Verwendung von Titangittern. Falls jedoch diese Gitter im Verlauf der Behandlung exponiert werden, spricht man von einer Dehiszenz. Es besteht die Vermutung, dass entstandene Dehiszenzen, Einfluss auf den Augmentations- und damit eng verknüpft auf den Implantationserfolg haben können.

Das Augenmerk dieser Arbeit liegt besonders auf der Bewertung und Einschätzung der Einflussnahme verschiedener patientenspezifischer und operationsspezifischer Faktoren auf die Entstehung einer Dehiszenz. Ebenso betrachtet wird, ob eine vorangegangene Dehiszenz im Laufe der Augmentation nachfolgend Auswirkungen auf die erfolgreiche Implantation hat.

Das Auftreten von Dehiszenzen ist ein Phänomen, welches sich sowohl bei dem Einsatz von konventionellen als auch den CAD/CAM-basierten Titangittern zeigt. In der Literatur finden sich multiple Studien, die sich jedoch überwiegend mit den konventionellen Titangittern beschäftigen. Innerhalb dieser Studie wurden lediglich CAD/CAM-modifizierte Titangitter untersucht. Somit ist der Vergleich zu anderen Arbeiten nur unter Vorbehalt möglich.

5.1.1.1 Diskussion der deskriptiven Analyse des Outcomes

5.1.1.1.1 Diskussion des Auftretens von Dehiszenzen

Als häufigste Komplikation bei der GBR mit Titangittern erweist sich die Gitterexposition. Dementsprechend stellt die Analyse der möglichen Einflussfaktoren einen wichtigen Bestandteil im Bereich der aktuellen Forschung dar. Ebenso werden innerhalb von verschiedenen Studien teils unterschiedliche Therapieansätze sowohl vor als auch bei dem Auftreten von Dehiszenzen angewendet und untersucht. Ziel ist, diese durch umfassende

Behandlungen so weit wie möglich zu verhindern, oder falls schon vorhanden, zu stabilisieren (80, 81, 89, 93, 94). Therapieprotokolle zum Schutz vor der Entstehung von Dehiszenzen, als auch jene zur bestmöglichen Therapie bereits aufgetretener Expositionen, wurden innerhalb dieser Dissertation nicht weiter untersucht.

Die in der vorliegenden Arbeit ermittelte Dehiszenzrate liegt bei 38,8%. Insgesamt 33 der 85 augmentierten Gitter entwickelten eine Gitterexposition.

Im weiteren Verlauf der Diskussion wird eine zeitliche Dimension eingeführt, wobei das Auftreten der Freilegungen, in Übereinstimmung mit der Literatur, in drei unterschiedliche Zeiträume eingegliedert wird. Demgegenüber findet jedoch keine Einteilung nach Fläche oder Volumen der Dehiszenzen statt.

Gu et al. untersuchen ebenfalls die Dehiszenzrate unter Verwendung von individuell angepassten Titangittern. Dabei werden in der Übersichtsarbeit vier Studien betrachtet. Die gefundenen Ergebnisse liegen zwischen 17,9% und 34,4% (95).

Eine in diesem Bereich liegende Dehiszenzrate von 22,6% finden Seiler et al.. Bei 26 von insgesamt 115 inserierten Gittern treten hier Wundheilungsstörungen in Form von Dehiszenzen während der Einheilungsphase auf (77).

In einem systematischen Review aus dem Jahr 2021 wurden 404 Titangitter unterschiedlicher Hersteller hinsichtlich der Gitterexposition postaugmentativ untersucht. Insgesamt bei 115 Augmentationen traten diese auf. Somit liegt die Dehiszenzrate bei 28%. Lediglich 25 dieser Gitter mussten daraufhin entfernt werden und 75 konnten mithilfe von lokalen Hygienemaßnahmen durch die Behandler stabilisiert werden (96).

Im Vergleich wurde in der vorliegenden Dissertationsschrift eine eher hohe Dehiszenzrate festgestellt. Hier ist zu erwähnen, dass ein Großteil der betrachteten Studien nicht über eine aussagekräftige Teilnehmerzahl verfügt. Weiterhin können die Ausgangsbedingungen der Studien nicht als vollkommen identisch bezeichnet werden, unter anderem aufgrund der Unterscheidung der Gittersysteme (konventionell/patientenspezifisch). Möglicherweise ist ein weiterer Grund, dass in der MKG der Universitätsklinik Mainz, häufig größere Augmentationsvolumina eingesetzt werden und es somit eventuell zu einer Risikoerhöhung, bezüglich des Auftretens von Dehiszenzen kommt.

5.1.1.1.2 Diskussion des zeitlichen Auftretens von Dehiszenzen

Wie oben bereits erläutert findet eine Unterscheidung hinsichtlich des Zeitraums des Auftretens einer Gitterexposition statt. Hierbei wird, der Literatur folgend, zwischen frühen (<2 Wochen), mittelfristigen (3-9 Wochen) und späten (>10 Wochen) Dehiszenzen differenziert. In

dieser Studie treten insgesamt im Bereich der Maxilla am häufigsten Frühdehiszenzen auf (72,2%), gefolgt von den späten (16,7%) und den mittelfristigen (11,1%) Dehiszenzen. Vorwiegend treten die späten Dehiszenzen im Bereich der Mandibula auf (46,7%), gefolgt von den frühen (26,7%) und mittelfristigen (26,7%) Dehiszenzen.

Einige Studien zeigen, dass eine frühzeitige Gitterexposition innerhalb der ersten Wochen im Vergleich zu einem späteren Auftreten einen negativen Einfluss auf die Knochenheilung zu haben scheint (82-85).

Volkman et al. untersuchen ebenfalls das zeitliche Auftreten von Dehiszenzen und den damit einhergehenden Einfluss auf den Augmentationserfolg, wie bereits in der Literaturdiskussion näher erläutert. Ebenso wie in den zuvor erwähnten Studien schätzen Volkman et al. die frühe Form der Schleimhautdehiszenz als kritischer bezüglich des Einflusses auf den Gesamterfolg ein, wohingegen mittel- oder langfristige Dehiszenzen das Behandlungsergebnis allenfalls marginal beeinflussen (81).

Übereinstimmend mit den Ergebnissen von Volkman et al. stellen sich in der vorliegenden Arbeit die meisten Dehiszenzen in der Frühphase ein. Jedoch wird abweichend zur Literatur die geringste Auftretenshäufigkeit bei den mittelfristigen Expositionen gefunden. Diese Diskrepanz zur Literatur ist in Bezug auf die zeitliche Komplikationsabhängigkeit möglicherweise in der zu geringen Grundgesamtheit der Studie zu sehen. Die Zunahme bei den spät auftretenden Dehiszenzen könnte mit den teils sehr großen Augmentationsvolumina und den daher länger abzuwartenden Einheilphasen zusammenhängen.

5.1.1.2 Diskussion der deskriptiven Analyse des Patientenguts und dem Auftreten von Dehiszenzen

Insgesamt wurden bei 78 Patienten 85 Eingriffe zur Insertion von Titangittern untersucht. Wie in Kapitel 3 beschrieben, wurde jede durchgeführte Gitteraugmentation eigenständig bewertet, unabhängig davon, ob sie an demselben Patienten durchgeführt wurde. Die dadurch auftretende Problematik besteht darin, dass man die einzelnen Eingriffe, die an denselben Patienten durchgeführt wurden aufgrund von vielen patientenspezifischen Faktoren nicht als vollständig unabhängig voneinander betrachten kann. Möglich wäre, beispielhaft zu nennen, dass durch die verlängerte Eingriffsdauer bei gleichzeitig eingesetzten Gittern eventuell das Infektionsrisiko erhöht ist. Die in dieser Dissertation gewählte Betrachtungsweise bietet jedoch den Vorteil die Risiken gitterspezifisch auswerten zu können. So führt ein Gitter mit Komplikationen nicht dazu ein komplikationsfreies Gitter beim gleichen Patienten ebenfalls als komplikationsbehaftet zu betrachten und so eine falsche Korrelation zu suggerieren.

5.1.1.2.1 Diskussion von Geschlecht und Alter

In der Kohorte zeigt sich ein ausgeglichenes Altersspektrum mit einer weiten Verteilung (15-77 Jahren). Primär lässt sich vermuten, dass Knochenaugmentationen vor allem bei älteren Patienten, aufgrund von Zahnverlusten, beispielsweise bedingt durch Parodontitis, Traumata oder pathologischen Erkrankungen durchgeführt werden. Junge Patienten mit Nichtanlagen weisen jedoch ebenfalls häufig Substanzdefekte auf, welche eine erfolgreiche Implantation gefährden. Dementsprechend stellt sich auch bei diesen Patienten die Indikation für eine Knochenaugmentation, um einen adäquaten und altersgerechten Zahnersatz zu ermöglichen.

Zwei Studien, welche sich mit dieser Thematik beschäftigen, kommen zu dem Ergebnis, dass sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Alter der Patienten und dem Auftreten von Gitterexpositionen feststellen lässt (77, 97).

Die geschlechterspezifische Verteilung zeigt, dass Frauen innerhalb der vorgenommenen Datenerhebungen eine geringere Tendenz aufweisen eine Dehiszenz zu entwickeln (33,9%) als Männer. Bei diesen entwickelt sich in der Hälfte der Fälle eine Wundheilungsstörung in Form einer Exposition im Laufe der Einheilungsphase (50%). Die Auswertung zeigt jedoch keine Signifikanz ($p=0,160$). Ebenso lässt sich diese nicht bei der Implantatverlustrate ($p=0,574$) feststellen.

Hartmann und Seiler weisen einen signifikanten Zusammenhang zwischen der geringeren Dehiszenzrate und dem Geschlecht der Patienten nach (78,4% Frauen versus 21,6% Männer, $p=0,043$). Es zeigt sich, dass bei Frauen deutlich seltener Gitterexpositionen zu beobachten sind (94).

Andere Studien können ebenfalls, wie in der hier vorliegenden Dissertation, keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Geschlecht und dem Auftreten von Dehiszenzen feststellen (80, 97).

Kim et al. kommen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass männliche Patienten im Bereich der gesteuerten Knochenregeneration das höhere Risiko für das Auftreten von Dehiszenzen aufweisen (98). Ebenfalls belegt wird dies durch eine Studie, welche ein potentiell erhöhtes Risiko einer Infektion nach Implantation bei männlichen Studienteilnehmern ermittelt (99).

Eventuell lässt sich das teilweise vermehrte Auftreten von Dehiszenzen bei Patienten männlichen Geschlechts auf das erhöhte Rauchverhalten und Risiko des Vorliegens einer Parodontitis zurückführen. Laut Bundesgesundheitsministerium rauchen 27% der Männer, wobei Frauen nur einen Anteil von 20,8% ausmachen (100). Das gehäufte Auftreten von parodontalen Erkrankungen bei Männern wurde ebenfalls in einigen Studien untersucht und bestätigt (101-103). Beide Risikofaktoren stehen im Verdacht, das Auftreten von Dehiszenzen zu begünstigen.

5.1.1.2.2 Einfluss Risikofaktoren (Pa/Rauchen)

Die Untersuchungen zeigen, dass ein großer Anteil der Patienten (60%) ein generelles Risiko (Parodontitis oder Rauchen) aufweist. Ungefähr die Hälfte (49%) der Patienten mit einem generellen Risiko entwickelt eine Dehiszenz.

Rauchende Patienten im Speziellen entwickeln mit 62,5% signifikant häufiger eine Dehiszenz als Nicht-Raucher ($p=0,001$). Weiterhin kann jedoch kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Rauchverhalten und der Implantatverlustrate ($p=0,609$) festgestellt werden.

Hartmann und Seiler untersuchen ebenfalls den Einfluss des Rauchens auf die Dehiszenzrate und können ihrerseits keinen signifikanten Zusammenhang zwischen den beiden Faktoren feststellen ($p=0,669$) (94), ebenso wie Lindors et al. keine Korrelation ermitteln (88).

Innerhalb einer von Hartmann et al. 2019 publizierten Studie werden bei 65 Patienten insgesamt 70 Augmentationen, ebenfalls mit CAD/CAM-angepassten Titangittern inseriert. Die Dehiszenzrate bei den rauchenden Patienten ($n=11$) zeigt ebenso, wie in der vorher genannten Arbeit keinen signifikanten Anstieg ($p=0,178$) (97).

In einer anderen Studie untersuchen auch Seiler et al. diesen möglichen Zusammenhang bei Betrachtung von 100 Patienten und 115 Defektsituationen. Es zeigt sich auch hier kein signifikanter Zusammenhang ($p=0,475$) (77).

Trotz der in den oben genannten Studien fehlenden Signifikanz gibt es eine Vielzahl von Studien, die einen negativen Einfluss von Rauchen auf die generelle (104, 105) und hier relevante orale Wundheilung feststellen (106). Bezüglich des Einflusses von Rauchen auf den Implantationserfolg lässt sich eine deutliche negative Beeinflussung des Behandlungserfolges in mehreren Studien nachweisen. Es zeigt sich eine höhere Rate an Implantatverlusten als bei Nichtrauchern (107-114).

Den Einfluss des Rauchens auf die Guided Bone Regeneration untersuchen Strietzel et al., wobei nur ein schwacher Zusammenhang mit auftretenden Komplikationen nachgewiesen werden kann (115). Zusätzlich wird in einer Metaanalyse von Strietzel et al. eine negative Beeinträchtigung der Guided Bone Regeneration und unterschiedlicher Augmentationsverfahren nachgewiesen (116).

Goertz et al. untersuchen ebenfalls den Einfluss des Rauchens auf die Wundheilung. Es werden Störungen der Gewebedurchblutung, bedingt durch einen Abfall der Proliferationsrate der für die Narbenbildung notwendigen Zellen und ein daraus resultierender Wachstumsfaktormangel festgestellt. Dies begünstigt und erhöht das Risiko für

Wundheilungsstörungen (117). Es zeigt sich, dass Raucher bei Operationen im Mundraum generell eine im Vergleich zu Nichtrauchern mangelhafte Wundheilung aufweisen (106).

Patienten, die an einer Parodontitis erkrankt sind, machen insgesamt 47,1% (n=40) aus. Bei diesen liegt die Dehiszenzrate bei 35,6%, jedoch ohne signifikanten Einfluss ($p=0,512$). Auch bei der Implantatverlustrate ($p=0,621$) lässt sich kein relevanter Zusammenhang feststellen.

Mehrere Studien von verschiedenen Autoren können ebenfalls keine signifikante Beeinflussung der Dehiszenzrate bedingt durch das Vorliegen einer Parodontitis nachweisen (77, 94, 97).

Jedoch existieren innerhalb der aktuellen Literatur einige Studien und Reviews, welche einen möglichen negativen Zusammenhang zwischen parodontalen Erkrankungen und der Implantationserfolgsrate bestätigen (118-121). Unterschiedliche Studien zeigen, abhängig vom individuellen Schweregrad der Parodontitis, negative Auswirkungen auf den Implantationserfolg. Eine Senkung der Implantatüberlebensrate lässt sich bei der aggressiven und chronischen Parodontitis feststellen, während bei moderater Parodontitis die Überlebensrate am geringsten sinkt (122-125). Insgesamt zeigen verschiedene Studien, dass Patienten mit einem parodontal vorgeschädigten Gebiss eine erhöhte Implantatverlustrate (119, 126, 127) aufweisen.

Eine weitere Vertiefung der Forschung bezüglich des Einflusses verschiedener patientenspezifischer Faktoren (Rauchen, Parodontitis, andere Erkrankungen) ist wichtig, um relevante Risikofaktoren aufzudecken und diesen dementsprechend entgegenwirken zu können. Um in Zukunft ein möglichst erfolgsversprechendes Ergebnis bei dem Einsatz der Customized Bone Regeneration zu erzielen, ist dies sinnvoll. Zusätzlich zu den vorangehend bereits aufgezählten Faktoren bietet es sich zudem für künftige Arbeiten an, weitere, die orale Wundheilung betreffende, Krankheiten als mögliche Problemfaktoren zu untersuchen.

5.1.1.2.3 Diskussion des Gingivatyps

Innerhalb der Nachuntersuchung wurde betrachtet, ob es zu einem gehäuften Auftreten von Dehiszenzen beim Vorliegen eines dünnen oder dicken Gingivatyps kommt. Patienten mit einem dünneren Gingivatypen weisen eine Dehiszenzrate von 42,2%, die mit einem dickeren von 35% auf. Es zeigt sich jedoch kein signifikanter Zusammenhang ($p=0,495$). Ebenso lässt sich ein solcher nicht bezogen auf die Implantatverlustrate ($p=0,621$) feststellen.

Seiler et al. nehmen eine detailliertere Einteilung der Gingiva in zwei dünne Gingivatypen, einen dicken Typus und einen nicht weiter spezifizierten Gingivatypen vor. Es zeigt sich ebenfalls kein signifikanter Zusammenhang ($p=0,138$) (77).

Hartmann et al. untersuchen ebenso den Gingivatypen der 65 Patienten innerhalb ihrer Studie. Wie in dieser vorliegenden Arbeit, findet eine Einteilung in einen dünnen „A“ ($n=38$) und einen dicken „B“ ($n=32$) Typus statt, wobei kein statistisch signifikanter Anstieg der Dehiszenzrate beobachtet werden kann ($p=0,14$) (97).

Die leicht erhöhte Dehiszenzrate bei Patienten innerhalb dieser Dissertation mit einem dünneren Gingivatypen lässt sich eventuell mit der geringeren Stabilität und dem möglicherweise erhöhten Risiko des Einreißens während des Einbringens der Titangitter und dem anschließenden Verschluss erklären. Auch in der Literatur wird ein dünner Gingivatyp als deutlich schwieriger in der intraoperativen Handhabung angenommen, als der dicke (128).

Diskutiert wird ebenfalls, ob eventuell eine Narbenbildung durch Vorschädigungen in Form von früheren Zahnextraktionen oder anderen traumatischen Ursachen eher ausschlaggebend ist, in der Fragestellung ob postaugmentativ Gitterexpositionen auftreten, als primär das Vorliegen eines dicken oder dünnen Gingivatypen (94).

Weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet sind dementsprechend anzustreben, um eventuelle Nachteile eines Gingivatypen durch ein adäquates Weichgewebsmanagement auszugleichen. Ebenso ist es erstrebenswert in einer größeren Patientenkohorte mögliche Zusammenhänge mit dem Auftreten von Augmentat- sowie Implantatverlusten zu untersuchen.

5.1.1.2.4 Diskussion des Defektyps

Insgesamt 34 der 85 Augmentationen wurden im Oberkiefer durchgeführt (40%). Die restlichen 51 Eingriffe (60%) erfolgten im Unterkiefer. Die Dehiszenzrate liegt im Oberkiefer bei 52,9% ($n=18$) und im Unterkiefer deutlich niedriger bei 29,4% ($n=15$). Es zeigt sich ein signifikanter Zusammenhang ($p=0,029$).

Sagheb et al. ermittelten ebenfalls mit 66,7% im Oberkiefer, zu 8,3% im Unterkiefer ($p=0,009$) eine nochmals deutlich stärkere signifikantere Differenz zwischen den unterschiedlichen Lokalisationen in Bezug auf die Dehiszenzentstehung (80).

Multiple Studien untersuchen mögliche Zusammenhänge bezüglich der Defektlokalisierung oder auch der Größe des Gitters und dem Auftreten von Gitterexpositionen (77, 94, 129). Eigene Untersuchungen innerhalb dieser Arbeit zeigen, dass kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem augmentierten Volumen ($<1\text{cm}^3 / >1\text{cm}^3$) und der Entstehung

von Dehiszenzen vorliegt ($p=0,373$). Sowohl die spezifisch eingeteilten Defektlokalisationen ($p=0,074$) als auch das Vorliegen eines Horizontal- oder Vertikal-, Kombinierten Defekts ($p=0,490$) oder die Ursache für den zu augmentierenden Defekt ($p=0,060$) zeigen keine signifikante Beeinflussung der Dehiszenzrate.

Bezüglich der Ursache wäre es möglich gewesen, dass insbesondere durch größere Eingriffe (Tumorresektionen, Traumata) ein durch die vorherige stärkere Manipulation und die damit einhergehende Schwächung/Vernarbung des Weichgewebes im Vorhinein erhöhtes Risiko für die Entstehung von Dehiszenzen besteht. Dies lässt sich jedoch nicht bestätigen.

Hartmann und Seiler kommen zu dem Ergebnis, dass weder die Lokalisation der Augmentation, eingeteilt in Unter- und Oberkiefer, noch die Defektlokalisation generell oder auch die Gittergröße einen relevanten Einfluss auf die dehiszenzfreie Einheilung haben (94). Der nicht feststellbare Zusammenhang bezüglich dem Erscheinen von Dehiszenzen und der Defektlokalisation im Ober-, oder Unterkiefer wird von einer weiteren Studie gestützt (97).

Demgegenüber steht die Studie von Uehara et al., welche einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Größe des zu augmentierenden Defektes und der Erfolgsrate der Knochenaugmentation feststellen kann (129).

Eine Beeinflussung der Dehiszenzrate durch verschiedene defektspezifische Faktoren lässt sich folglich nicht übereinstimmend feststellen. Dementsprechend sollten weitere Studien zum Thema Customized Bone Regeneration, insbesondere genaue Einteilungen der Defektlokalisation, des zu ersetzenden Volumens und des Defekttyps (Horizontal/Vertikal-Kombinierter Defekt) präoperativ erfassen, um anschließend postoperativ bei der Analyse genauere Rückschlüsse bezüglich des Einflusses auf das Auftreten von Dehiszenzen schließen zu können.

5.1.1.3 Diskussion der deskriptiven Analyse der angewandten Therapieoptionen und dem Auftreten von Dehiszenzen

5.1.1.3.1 Diskussion der Operateure

Die Untersuchung der Einflussnahme bezüglich dem Erfahrungsgrades des Operateurs und dem Auftreten von Dehiszenzen in der Einheilungsphase zeigte einen signifikanten ($p=0,013$) Unterschied. Dies lässt sich eventuell darauf zurückführen, dass die erfahrenen Operateure diese Operationen schon häufiger durchgeführt haben und dementsprechend möglicherweise eine kürzere Behandlungszeit und eine weichgewebsschonendere Insertion durchführen können.

Eine weitere Untersuchung des Einflusses des Erfahrungsgrades eines Operateurs auf die Operationsdauer, das postoperative Auftreten von Dehiszenzen und eines schlussendlich erfolgreichen Augmentationserfolges ist für weitere Interpretationen und Einschätzungen des Schwierigkeitsgrades einer Augmentation sinnvoll.

5.1.1.3.2 Diskussion der Schnittführung

Innerhalb dieser Studie wird zwischen der krestalen und der Poncho-Schnittführung unterschieden. Es fällt auf, dass die krestale Schnittführung (n=65) deutlich häufiger Anwendung findet, als die Poncho-Schnittführung (n=20). Die Dehiszenzrate beträgt bei der krestalen Schnittführung 41,5% und fällt damit höher aus als die der Poncho-Schnittführung mit 30%. Die Auswertung zeigt keine Signifikanz ($p=0,354$).

Sagheb et al. betrachten im Artikel „Clinical outcome of alveolar ridge augmentation with individualized CAD-CAM-produced titanium mesh“ ebenfalls unter anderem den Einfluss der Schnittführung auf die Dehiszenzrate. Hier wiesen krestale Schnittführungen mit 45,5% ebenfalls die höhere Expositionsrate auf als die modifizierte Poncho-Schnittführung mit 20%. Es besteht allerdings auch hier keine statistische Signifikanz ($p=0,221$). Alle Gitterexpositionen befanden sich im Bereich des vorher gesetzten Schnittes (80).

Seiler et al. nehmen eine breitere Einteilung der Schnittführungsarten mit 6 verschiedenen Varianten vor, wobei auch die krestale und die Poncho-Schnittführung berücksichtigt wurden. Auch innerhalb dieser Studie konnte kein signifikanter Zusammenhang ($p=0,205$) zwischen der Wahl der Schnittführung und dem Auftreten von Wundheilungsstörungen in Form von Dehiszenzen nachgewiesen werden. Insgesamt wurden innerhalb besagter Studie 115 augmentierte Regionen mittels CAD/CAM modifizierten Titangittern betrachtet (77).

Zusammenfassend lässt sich also sowohl in der vorliegenden wie auch in den vorgestellten Studien unter Verwendung der Poncho-Schnittführung eine Tendenz zu geringeren Dehiszenzraten feststellen. Es scheint, als habe es positive Auswirkungen auf die Vermeidung von Dehiszenzen, wenn der Rand des Schnittes in größerer Entfernung zum Gitter angesetzt wird (80). Die vorliegende Studie dokumentierte nicht die Lage der Dehiszenz, dementsprechend lässt sich nicht nachweisen, ob die Exposition im Bereich der Schnittführung aufgetreten ist oder an anderer Stelle.

5.1.1.3.3 Diskussion des Augmentationsmaterials

Die Untersuchung der Dehiszenzrate ergibt unter Betrachtung des verwendeten Knochenersatzmaterials bei der hier vorliegenden Studie, dass ein Großteil der Augmentationen (n=75) mit einer Kombination aus autologen Knochen und einem bovinem

Knochenersatzmaterial (Bio-Oss®, Geistlich Pharma) durchgeführt wurde. Dort entwickelten sich auch die meisten Dehiszenzen (n=30) im Vergleich zur alleinigen Verwendung von autologen Knochen oder der Kombination von diesem mit anderen KEM. Durch die geringe Anzahl an Augmentationen mit ausschließlich autologem Knochen und der Kombination mit anderen KEM im Vergleich zur Kombination aus autologen Knochen und Bio-Oss® wurde sich aufgrund der geringen zu erwartenden Power gegen eine statistische Analyse des Zusammenhangs zwischen Augmentationsmaterial und der Dehiszenzrate entschieden.

Gu et al. vergleichen die Dehiszenzrate von 6 Studien, bei denen autologer Knochen in Kombination mit anorganischem, bovinem KEM verwendet wird, mit 6 weiteren Studien, welche andere KEM nutzten (Autologer Knochen/Boviner Knochen/Xenogener Knochen/Hydroxylapatit-Partikel/gefriergetrockneter Knochen). Die Auswertung der Studien mit erstgenannter Kombination ergibt eine Dehiszenzrate von 21,7%, während die anderen untersuchten Kombinationen eine Rate von 23,5% aufweisen. Es lässt sich keine signifikante Differenz feststellen ($p=0,74$). Somit kann kein Einfluss des verwendeten KEM auf die Dehiszenzrate ermittelt werden. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass keine Einteilung der Art des verwendeten Gitters erfolgt und somit sowohl Studien mit konventionellen als auch angepassten Titangittern miteinbezogen wurden (95).

Bei der Betrachtung des Einflusses von verschiedenen Augmentationsmaterialien auf die Dehiszenzrate können Her et al. ebenfalls keinen signifikanten Unterschied bei der Verwendung der unterschiedlichen Materialien feststellen (89).

Im Unterschied zu vorgenannten Untersuchungen stellen Carini et al. für die Verwendung autologen Knochens eine niedrigere Dehiszenzrate sowie einen vermehrten Knochengewinn und eine geringere Knochenresorption fest (130).

Aludden et al. verglichen die Anwendung von Bio-Oss® allein oder in Kombination mit partikulärem autologen Knochen bei lateralen Kieferaugmentationen. Sowohl die alleinige Anwendung von autologen Knochen als auch die alleinige Anwendung von Bio-Oss® oder in Kombination mit autologen KEM zeigen einen annähernd vergleichbaren Knochenneugewinn innerhalb eines betrachteten Zeitraumes von drei bis sechs Monaten. Als mögliche Vorteile des Verzichts auf die autologe Knochenentnahme werden die fehlende Morbidität der Entnahmestelle und die reduzierte Operationszeit genannt (131). Andere Studien zeigen jedoch, dass die Beeinträchtigungen nach der autogenen Knochenentnahme nicht lange anhalten (132-134). Insgesamt zeigen beide Anwendungsformen innerhalb dieser Datenerhebung eine hohe kurzfristige Implantatüberlebensrate, einen Knochenneugewinn und einen Breitengewinn am Alveolarfortsatz (131).

Es scheint, als habe sowohl der Einsatz von autologen Knochen als auch die zusätzliche Anwendung eines bovinen KEM einen förderlichen Einfluss auf den Knochenneugewinn und die damit verbundene Implantatüberlebensrate. Eine weitere langfristige klinische und radiologische Erforschung bezüglich des optimalen Einsatzes von KEM im Bereich der CBR mit größeren Patientenkohorten erscheint für die Zukunft sinnvoll, um eine aussagekräftige Empfehlung bezüglich der am besten zu verwendenden Materialien aussprechen zu können.

5.1.1.3.4 Diskussion der Verwendung von Membranen

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wird lediglich bei zwei der 85 Augmentationen keine Membran zur Wundheilungsförderung verwendet. Diese Patienten entwickeln keine Dehiszenz. Von den restlichen 83 Augmentationen, welche mit resorbierbaren Membranen versorgt werden, weisen 50 (60,2%) keine Wundheilungsstörungen auf. Die Dehiszenzrate beträgt 39,8%. Durch die fast ausschließliche Verwendung von resorbierbaren Membranen bei den durchgeführten Augmentationen ist ein Vergleich, betreffend den Einfluss auf die Dehiszenzrate, zu Augmentationen ohne Einsatz dieser nicht aussagekräftig möglich.

Gu et al. untersuchen gleichfalls, ob die Verwendung einer resorbierbaren Membran Einfluss auf die Dehiszenzrate hat. Insgesamt 5 Studien umfassen einen kombinierten Einsatz von resorbierbaren Membranen mit Titangittern. Die Dehiszenzrate liegt bei 23,9%, wobei anzumerken ist, dass bei diesen Studien keine Unterscheidung zwischen konventionellen und angepassten Titangittern stattgefunden hat. Sieben Studien führen Augmentationen lediglich mit Titangittern ohne Verwendung einer resorbierbaren Membran durch. Dort liegt die Dehiszenzrate bei 20,2%. Die fehlende signifikante Differenz ($p=0,36$) führt zu der Aussage, dass die Verwendung von resorbierbaren Membranen in Kombination mit Titangittern keinen ausschlaggebenden Einfluss auf die Dehiszenzrate zeigt (95).

Die Arbeit von Seiler et al. betrachtet ebenso den Einfluss der Verwendung einer Membran auf die Dehiszenzrate. Bei 79 der insgesamt 115 Defektsituationen wird die Bio-Gide® Membran der Firma Geistlich zur Unterstützung der Weichgewebsheilung verwendet. Dementsprechend erhalten 35 augmentierte Regionen keine Versorgung mit einer Membran. Es lässt sich ebenfalls, wie in den anderen Studien kein signifikanter Zusammenhang bezüglich der Relevanz der Verwendung einer Membran zur Reduzierung der Dehiszenzrate feststellen ($p=0,927$) (77).

Cucchi et al. konzentrieren sich in der von ihnen veröffentlichten Studie aus dem Jahr 2021 ebenfalls auf die Thematik. Die Rate an Wundheilungsstörungen bei der zusätzlichen Verwendung von Membranen liegt mit 13% deutlich niedriger als bei der Augmentation ohne

Membran mit 33%. Obwohl sich keine statistische Signifikanz feststellen lässt, nehmen die Autoren an, dass die Verwendung einen günstigen Effekt haben könnte (93).

Eine deutlich erhöhte Rate an Wundheilungsstörungen von 66% erfassen Ciocca L. et al. bei der alleinigen Augmentation mittels patientenmodifizierten Titangittern, welches sich in erheblich negativer Weise von den anderen Ergebnissen abhebt (135).

Zusammenfassend kann dem Einsatz resorbierbarer Membranen ein positiver Einfluss bei der Vermeidung von Weichgewebstörungen in Form von Gitterexpositionen unterstellt werden. Aufgrund der eher geringen Fallzahlen in den genannten Studien ist eine weitere Erforschung mit einem größeren Patientenkollektiv sinnvoll, um die Rolle von resorbierbaren Membranen als zusätzliches Mittel bei Knochenaugmentationen mit patientenspezifisch angepassten Titangittern besser einzuschätzen.

5.1.1.3.5 Diskussion der Verwendung der Eigenbluttherapie

In der Auswertung der Ergebnisse der vorliegenden Nachuntersuchung zeigt sich, dass die unterstützende Anwendung der Eigenbluttherapie unter Nutzung der A-PRF+ und i-PRF zwar minimal seltener mit Dehiszenzen einhergeht, sie jedoch keine signifikante Verbesserung bezüglich der Entstehung dieser mit sich bringt ($p=0,660$).

Neben den resorbierbaren Membranen (Bio-Gide®, Geistlich, Wolhusen, Switzerland) untersuchen Hartmann und Seiler zusätzlich den additiven Einsatz von A-PRF+ zur Unterstützung der Wundheilung und Vermeidung von Membranexpositionen. Dort zeigt sich im Vergleich zur vorliegenden Studie eine signifikante Reduzierung der Dehiszenzrate (76.5% ohne Exposition versus 23.5% mit Exposition, $p=0,029$) (94).

Die systematische Übersichtsarbeit von Miron et al. betont den sich bei der Nutzung unterschiedlicher PRF einstellenden positiven Effekt auf die Wundheilung bei der medizinischen und zahnmedizinischen Behandlung unterschiedlicher Weichgewebdefekte (57).

Ähnliches stellen Torres et al. für den Einsatz von PRP im Rahmen von Knochenaugmentationen im Kieferbereich fest. Dabei lassen sich nach einem PRP-Einsatz keine Dehiszenzen feststellen, während es in der Kontrollgruppe bei 28% der Patienten zu Dehiszenzen kommt. Weiterhin weist die Patientenkohorte, welche mit dem PRP behandelt wurde, einen signifikant größeren vertikalen und horizontalen Knochengewinn auf (136).

Demgegenüber lässt sich in der hier vorliegenden Arbeit bei der Verwendung von PRF kein solch positiver Effekt von nennenswerter Signifikanz auf die Verhinderung von Dehiszenzen feststellen. Eine mögliche Erklärung hierfür stellt die sehr geringe Probandenzahl sowie

eventuelle Überschneidungen der PRF-Behandelten mit den als Risikopatienten eingestuften Teilnehmern dar.

Bezüglich des Einflusses der Eigenbluttherapie auf die Knochenheilung lassen sich in der Literatur sowohl positive als auch kritischere Ergebnisse finden. Srinivas et al. weisen einen nennenswerten Effekt auf die Wundheilung und die Knochenregeneration bei der Verwendung von PRF im Bereich der Socket Preservation nach (137). Dragonas et al. können jedoch keine merkliche positive Beeinflussung des Ergebnisses durch die zusätzliche Nutzung von L-PRF (Leukozyten Platelet Rich Fibrin) bei intraoralen Knochenaugmentationsverfahren feststellen (138).

Eine Vertiefung der Forschung über den möglichen Zusatznutzen der Eigenbluttherapie bei intraoralen Knochenaugmentationsverfahren erscheint für die Zukunft sinnvoll, um die bestmöglichen patientenindividuellen Ergebnisse hinsichtlich der Wundheilung, aber auch der Knochenregeneration zu erreichen.

5.1.1.4 Diskussion des Augmentatverlustes und patientenspezifischer/operationsspezifischer Faktoren

Insgesamt kam es bei nur einer augmentierten Defektsituation zu einem Verlust des Augmentates. Es können bei dieser Anzahl keine allgemeingültigen oder übertragbaren Aussagen getroffen werden, weshalb im Weiteren auf eine Untersuchung von möglichen Zusammenhängen verzichtet wird. Dennoch erscheinen umfassendere Erforschungen dieser Thematik unter Betrachtung eines größeren Patientenumfanges äußerst interessant, um das Auftreten von Augmentatverlusten so weit wie möglich einzudämmen.

5.2 Diskussion zur Subkohorte implantierter Patienten

5.2.1 Diskussion zur deskriptiven Analyse des Implantationsverfahrens

Insgesamt wurden in der vorliegenden Dissertation 179 Implantate in 77 (90,6%) augmentierten Regionen erfolgreich inseriert. Bei insgesamt acht Augmentationen fand im Anschluss daran keine Implantation in der ZMK Mainz statt. Zum einen lag dies teilweise an dem Wechsel zu einem externen Behandler für die Implantation, zum anderen auch daran, dass Patienten nicht mehr erschienen sind und somit bis zur Fertigstellung der Datenerhebung keine Implantation in der MKG-Chirurgie der Uniklinik Mainz durchgeführt wurde. Bei keiner dieser acht durchgeführten Augmentationen war der Grund für die ausbleibende Implantation ein unzureichendes Knochenangebot.

5.2.1.1 Diskussion zur deskriptiven Analyse des Outcomes implantierter Patienten

Bei den 48 implantierten Patienten ohne vorheriges Dehiszenzgeschehen kam es zu 2 Implantatverlusten (4,2%). Von den 29 Patienten, welche eine Dehiszenz im Vorhinein hatten, verloren 2 (6,9%) davon dieses. Aufgrund der unterschiedlichen Insertionsdaten, der generell geringen Fallzahl und den jeweiligen individuellen Patientenrecalls zur Implantatbeurteilung ist eine genaue Aussage bezüglich der Implantatüberlebensrate über einen für alle Patienten zeitlich einheitlichen Kontrollzeitraum jedoch nicht möglich.

Sagheb et al. ermitteln innerhalb einer durchschnittlichen Beobachtungszeit von 12 ± 6 Monaten nach der durchgeführten Implantation im augmentierten Gebiet eine Überlebensrate von 100% bei 44 inserierten Implantaten (80).

In der Studie von Volkmann et al. konnten ebenfalls alle geplanten Implantate inseriert werden, ebenso wie dies in der vorliegenden Studie der Fall ist. Drei Monate nach prothetischer Belastung liegt die Rate der osseointegrierten Implantate bei 97,6%. Dies weist auf eine ähnliche Erfolgsquote wie bei Implantationen ohne vorausgegangene Augmentation hin (139-141).

Bei der Beurteilung der erfolgreichen Implantationen werden innerhalb der zahlreichen Studien unterschiedliche dafürsprechende Kriterien festgelegt. Hier zu nennen sind die von Albrektsson et al. festgelegten Kriterien (142). Innerhalb eines systematischen Reviews wurden vier Studien genannt, welche sich nach diesen Kriterien richten. Die Erfolgsrate liegt bei 89,9%, mit einer Überlebensrate von 100% (4).

Positive Erfolgsraten mit einer Spannbreite von 61,5% bis zu 100% weisen Clementini et al. in ihrem systematischen Review nach. Lediglich drei der dort untersuchten Studien erreichen eine Erfolgsrate von unter 90%, was ein sehr vielversprechendes Ergebnis zu sein scheint. Die ermittelten Überlebensraten befinden sich ebenfalls in einem äußerst hohen Prozentbereich von 93,75% bis zu 100% mit einer Ausnahme von unter 99,2% bei einer dieser Studien (143).

Innerhalb der vorliegenden Dissertation fand jedoch keine spezifische Einteilung nach Erfolgsrate und Überlebensrate statt. Zudem wurden bei der Datenerhebung keine zusätzlichen Kriterien ermittelt, womit sich die Erfolgsrate besser hätte bewerten lassen. Es fand, wie oben genannt, eine Erhebung der Verlustrate innerhalb des betrachteten Zeitraums statt. Zudem wurde bei jedem Patienten überprüft, ob auf der aktuellsten Röntgenaufnahme ein genereller oder relevanter Knochenabbau von >2mm feststellbar ist, um einen tendenziell schlechteren Verlauf zu beobachten. Dies lag bei 7,3% der implantierten Patienten vor. Jedoch reicht die alleinige Information über einen relevanten Knochenabbau nicht aus, um damit die

Erfolgsrate zu beurteilen. Zudem ist die Aussagekraft eingeschränkt, da die Nachkontrolluntersuchungen der einzelnen Patienten teilweise erhebliche zeitliche Unterschiede aufweisen und einige Patienten über längere Zeit keinen solchen Termin mehr wahrgenommen haben. Bei diesen lässt sich nicht feststellen, ob eventuell auch ein Knochenabbau stattgefunden hat.

5.2.1.2 Diskussion des Implantatverlustes und patientenspezifischer/operationsspezifischer Faktoren

Bei den Implantatverlusten ist aufgrund der geringen Auftrittshäufigkeit (n=4) keine allgemeingültige Aussage zu möglichen relevanten Zusammenhängen in Bezug auf patientenspezifische sowie operationsspezifische Faktoren möglich. Dem folgend wird auch hier im Weiteren keine intensivere Interpretation von eventuellen Zusammenhängen durchgeführt. Größere Implantatstudien berücksichtigen und untersuchen bereits ausgiebig multiple patientenspezifische sowie operationsspezifische Faktoren, welche Einfluss auf die Implantatverlustrate nehmen können. Eine genauere Analyse der Beeinflussung der Implantatverlustrate bei vorangegangener Augmentation mittels patientenindividuellen Titangittern durch die individuell vorliegenden patienten-, sowie operationsspezifischen Faktoren, bei Betrachtung größerer untersuchter Fallzahlen, erscheint sinnvoll.

6 Zusammenfassung

Analog zu bisherigen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Knochenaugmentation unter Zuhilfenahme CAD-CAM basierter Titangitter eine vorhersagbare und sichere Methode zur Therapie selbst fortgeschrittener Defekte darstellt. Eine immer wieder diskutierte mögliche Ursache für das Nichtgelingen der Augmentationen sind frühe Wunddehiszenzen in der Einheilphase. Aus diesem Grund wurden die Einflussfaktoren zur Entstehung solcher Gitterexpositionen im Rahmen dieser Studie untersucht und analysiert.

Der Risikofaktor „Rauchen“ ist signifikant häufiger mit der Entstehung einer Dehiszenz assoziiert. Bestätigt werden diese Befunde durch zahlreiche weitere Studien, die den Nachweis eines negativen Einflusses des Rauchens auf die Wundheilung erbringen (106, 116, 117).

In diesem Patientenkollektiv stellt die Lokalisation des Defekts im Bereich der Maxilla im Vergleich zur Mandibula einen weiteren signifikanten Parameter bei dem Auftreten von Dehiszenzen dar. Dieses Ergebnis wird durch eine weitere Studie gestützt (80). Jedoch scheint es in der Literatur ein kontroverses Forschungsgebiet zu sein, da wiederum andere Autoren keinen Zusammenhang feststellen können (94, 97).

Insgesamt lässt sich jedoch festhalten, dass Dehiszenzen innerhalb der hier erhobenen Patientengruppe keinen entscheidenden negativen Einfluss auf die erfolgreiche Augmentation und anschließende Implantation zu haben scheinen. Dies lässt sich durch zahlreiche Studien weiterer Autoren bestätigen (77, 80, 86-89). Das Auftreten von Dehiszenzen ist eine unbedingt zu behandelnde Komplikation. Jedoch muss bei frühzeitigem Erkennen und optimaler Therapie nicht mit einer merklich erhöhten Augmentatverlust- oder auch Implantatverlustrate gerechnet werden.

Es bestehen offensichtliche Mängel, welche sowohl diese Studie, allerdings auch ein Großteil der sonstigen vorhandenen Literatur zur besprochenen Thematik aufweisen: Retrospektivität, geringe Teilnehmerzahlen sowie fehlende Kontrollgruppen. Insbesondere aufgrund der kleinen Kohortengröße ergibt sich teilweise eine stark eingeschränkte Aussagekraft.

Nur weitere prospektive Untersuchungen mit ausreichend großen Stichproben können schlussendlich über etwaige kausale Zusammenhänge zwischen den relevanten Risikofaktoren und der erfolgreichen Knochenaugmentationen mit anschließenden Implantationen Aufschluss geben.

7 Literaturverzeichnis

1. Cacaci C, Neugebauer J, Schlegel K, Seidel F. 3 Indikation und Kontraindikation in der Implantologie. 2006 2021/05/12. In: Orale Implantologie [Internet]. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG. 1. Auflage. Checklisten der Zahnmedizin. Available from: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/lookinside/10.1055/b-0041-181816>.
2. Beneke M. Die Geschichte der Implantologie in der Bundeswehr
Die Einführung neuer Therapiemethoden und Verteilungsgerechtigkeit in einem „geschlossenen“ Gesundheitssystem: Universität Würzburg; 2017.
3. BLZK RH. Gebührenordnung für Zahnärzte
Vergleich GOZ 1988 und Erste Verordnung zur Änderung der Gebührenordnung für Zahnärzte (GOZ) vom 5. Dezember 2011 o. J. [01.11.2023]. Available from: [https://www.blzk.de/blzk/site.nsf/gfx/goz_vergleich_1988_2012_blzk.pdf/\\$file/goz_vergleich_1988_2012_blzk.pdf](https://www.blzk.de/blzk/site.nsf/gfx/goz_vergleich_1988_2012_blzk.pdf/$file/goz_vergleich_1988_2012_blzk.pdf).
4. Rasia-dal Polo M, Poli PP, Rancitelli D, Beretta M, Maiorana C. Alveolar ridge reconstruction with titanium meshes: a systematic review of the literature. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2014;19(6):e639-46.
5. Werny JG, Sagheb K, Schiegnitz E. Augmentationsmethoden kompakt. *Der Freie Zahnarzt*. 2022;66(3):62-7.
6. Schwarz F, Sager M, Rothamel D, Herten M, Sculean A, Becker J. Einsatz nativer und quervernetzter Kollagenmembranen für die gesteuerte Gewebe- und Knochenregeneration. *Schweiz Monatsschr Zahnmed*. 2006:1112-23.
7. Troeltzsch M, Kaemmerer P, Pabst A, Troeltzsch M, Kauffmann P, Schiegnitz E, et al. S2k-Leitlinie - Implantologische Indikationen für die Anwendung von Knochenersatzmaterialien. *Deutsche Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde mit Zentralblatt*. 2020.
8. Sakkas A. Erfolgsraten und Komplikationen autologer Knochentransplantate in der oralen Implantologie. Ulm: Medizinische Fakultät Ulm; 2018.
9. Imbronito AV, Todescan JH, Carvalho CV, Arana-Chavez VE. Healing of alveolar bone in resorbable and non-resorbable membrane-protected defects. A histologic pilot study in dogs. *Biomaterials*. 2002;23(20):4079-86.
10. Liu Q, Humpe A, Kletsas D, Warnke F, Becker ST, Douglas T, et al. Proliferation assessment of primary human mesenchymal stem cells on collagen membranes for guided bone regeneration. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2011;26(5).
11. Wessing B, Lettner S, Zechner W. Guided Bone Regeneration with Collagen Membranes and Particulate Graft Materials: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2018;33(1):87–100.
12. Carbonell JM, Martín IS, Santos A, Pujol A, Sanz-Moliner JD, Nart J. High-density polytetrafluoroethylene membranes in guided bone and tissue regeneration procedures: a literature review. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2014;43(1):75-84.

-
13. Elgali I, Omar O, Dahlin C, Thomsen P. Guided bone regeneration: materials and biological mechanisms revisited. *Eur J Oral Sci.* 2017;125(5):315-37.
 14. Soldatos NK, Stylianou P, Koidou VP, Angelov N, Yukna R, Romanos GE. Limitations and options using resorbable versus nonresorbable membranes for successful guided bone regeneration. *Quintessence Int.* 2017;48(2):131-47.
 15. Trobos M, Juhlin A, Shah FA, Hoffman M, Sahlin H, Dahlin C. In vitro evaluation of barrier function against oral bacteria of dense and expanded polytetrafluoroethylene (PTFE) membranes for guided bone regeneration. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2018;20(5):738-48.
 16. Wang HL, Modarressi M, Fu JH. Utilizing collagen membranes for guided tissue regeneration-based root coverage. *Periodontol 2000.* 2012;59(1):140-57.
 17. Zucchelli G, Mounssif I. Periodontal plastic surgery. *Periodontol 2000.* 2015;68(1):333-68.
 18. Pihlstrom BL, McHugh RB, Oliphant TH, Ortiz-Campos C. Comparison of surgical and nonsurgical treatment of periodontal disease. A review of current studies and additional results after 61/2 years. *J Clin Periodontol.* 1983;10(5):524-41.
 19. Selvig KA, Kersten BG, Chamberlain AD, Wikesjo UM, Nilveus RE. Regenerative surgery of intrabony periodontal defects using ePTFE barrier membranes: scanning electron microscopic evaluation of retrieved membranes versus clinical healing. *J Periodontol.* 1992;63(12):974-8.
 20. Tempro PJ, Nalbandian J. Colonization of retrieved polytetrafluoroethylene membranes: morphological and microbiological observations. *J Periodontol.* 1993;64(3):162-8.
 21. Windisch P, Mólnar, B.,. Resorbierbare Barrieremembranen in der GBR und GTR 2017 [01.11.2023]. Available from: <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/implantologie/gtr-und-gbr/resorbierbare-barrieremembranen-in-der-gbr-und-gtr>.
 22. Bunyaratavej P, Wang HL. Collagen membranes: a review. *J Periodontol.* 2001;72(2):215-29.
 23. Geistlich. Geistlich Bio-Gide® o. J. [01.11.2023]. Available from: <https://www.geistlich.de/dental/membranen/bio-gide/vorteile-fuer-den-anwender/>.
 24. Barth H. Histologische Untersuchungen über Knochen Transplantation. *Beitr Pathol Anat Allg Pathol.* 1895;17:65-142
 25. Ollier L. *Traité expérimental et clinique de la régénération des os et de la production artificielle du tissu osseux:* V. Masson; 1867.
 26. Aebi M, Zuber K, Marchesi D. Treatment of cervical spine injuries with anterior plating. Indications, techniques, and results. *Spine (Phila Pa 1976).* 1991;16(3 Suppl):S38-45.
 27. Geistlich. Qualität und Sicherheit o. J. [01.11.2023]. Available from: <https://www.geistlich.de/de/dental/further-sites/qualitaet-und-sicherheit/knochenersatzprodukte/>

-
28. Jung RE, Fenner N, Hämmerle CH, Zitzmann NU. Long-term outcome of implants placed with guided bone regeneration (GBR) using resorbable and non-resorbable membranes after 12-14 years. *Clin Oral Implants Res.* 2013;24(10):1065-73.
 29. Witte F, Barbeck M. Xenogene Knochenersatzmaterialien ZWP-Online2017 [01.11.2023]. Available from: <https://www.zwp-online.info/fachgebiete/implantologie/gtr-und-gbr/xenogene-knochenersatzmaterialien>
 30. Fienitz T, Moses O, Klemm C, Happe A, Ferrari D, Kreppel M, et al. Histological and radiological evaluation of sintered and non-sintered deproteinized bovine bone substitute materials in sinus augmentation procedures. A prospective, randomized-controlled, clinical multicenter study. *Clin Oral Investig.* 2017;21(3):787-94.
 31. Barbeck M, Udeabor S, Lorenz J, Schlee M, Holthaus MG, Raetscho N, et al. High-Temperature Sintering of Xenogeneic Bone Substitutes Leads to Increased Multinucleated Giant Cell Formation: In Vivo and Preliminary Clinical Results. *J Oral Implantol.* 2015;41(5):e212-22.
 32. Lorenz J, Kubesch A, Korzinskas T, Barbeck M, Landes C, Sader RA, et al. TRAP-Positive Multinucleated Giant Cells Are Foreign Body Giant Cells Rather Than Osteoclasts: Results From a Split-Mouth Study in Humans. *J Oral Implantol.* 2015;41(6):e257-66.
 33. Ewers R. Maxilla sinus grafting with marine algae derived bone forming material: a clinical report of long-term results. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005;63(12):1712-23.
 34. Turhani D, Cvikl B, Watzinger E, Weissenbock M, Yerit K, Thurnher D, et al. In vitro growth and differentiation of osteoblast-like cells on hydroxyapatite ceramic granule calcified from red algae. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005;63(6):793-9.
 35. Turhani D, Watzinger E, Weissenbock M, Cvikl B, Thurnher D, Wittwer G, et al. Analysis of cell-seeded 3-dimensional bone constructs manufactured in vitro with hydroxyapatite granules obtained from red algae. *J Oral Maxillofac Surg.* 2005;63(5):673-81.
 36. Pausch T, Wagner W, Nölken R. Neues biphasisches Knochenersatzmaterial zur periimplantären Defektaugmentation. *Quintessence* 2018:245-56.
 37. Bauer TW, Muschler GF. Bone graft materials. An overview of the basic science. *Clin Orthop Relat Res* 2000(371):10-27.
 38. Fretwurst T, Gad LM, Nelson K, Schmelzeisen R. Dentoalveolar reconstruction: modern approaches. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg.* 2015;23(4):316-22.
 39. Sakkas A, Wilde F, Heufelder M, Winter K, Schramm A. Autogenous bone grafts in oral implantology-is it still a "gold standard"? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures. *Int J Implant Dent.* 2017;3(1):23.
 40. Kämmerer PW, Scholz M, Baudisch M, Liese J, Wegner K, Frerich B, et al. Guided Bone Regeneration Using Collagen Scaffolds, Growth Factors, and Periodontal Ligament Stem Cells for Treatment of Peri-Implant Bone Defects In Vivo. *Stem Cells Int.* 2017;2017:3548435.
 41. Li G, Li P, Chen Q, Thu HE, Hussain Z. Current Updates on Bone Grafting Biomaterials and Recombinant Human Growth Factors Implanted Biotherapy for Spinal Fusion: A Review of Human Clinical Studies. *Curr Drug Deliv.* 2019;16(2):94-110.

-
42. Schneider D, Buttchereit I, Kämmerer P. Regenerative Therapie von Kieferdefekten mit allogenen Knochenersatzmaterialien. ZWR-Das Deutsche Zahnärzteblatt. 2016;125(11):552-7.
 43. Chiapasco M, Zaniboni M, Rimondini L. Autogenous onlay bone grafts vs. alveolar distraction osteogenesis for the correction of vertically deficient edentulous ridges: a 2-4-year prospective study on humans. Clin Oral Implants Res. 2007;18(4):432-40.
 44. Dahlin C, Johansson A. Iliac crest autogenous bone graft versus alloplastic graft and guided bone regeneration in the reconstruction of atrophic maxillae: a 5-year retrospective study on cost-effectiveness and clinical outcome. Clin Implant Dent Relat Res. 2011;13(4):305-10.
 45. Felice P, Marchetti C, Piattelli A, Pellegrino G, Checchi V, Worthington H, et al. Vertical ridge augmentation of the atrophic posterior mandible with interpositional bloc grafts: bone from the iliac crest versus bovine anorganic bone. Results up to delivery of the final prostheses from a split-mouth, randomized controlled clinical trial. European journal of oral implantology. 2008;1:183-98.
 46. Burchardt H. The biology of bone graft repair. Clin Orthop Relat Res. 1983(174):28-42.
 47. Buser D, Ingimarsson S, Dula K, Lussi A, Hirt HP, Belser UC. Long-term stability of osseointegrated implants in augmented bone: a 5-year prospective study in partially edentulous patients. Int J Periodontics Restorative Dent. 2002;22(2):109-17.
 48. Khoury F, Hemprich A, Sass T. [Use of the free bone graft in various surgical procedures for the mandible]. Dtsch Z Mund Kiefer Gesichtschir. 1985;9(4):298-304.
 49. Misch CM. Comparison of intraoral donor sites for onlay grafting prior to implant placement. Int J Oral Maxillofac Implants. 1997;12(6):767-76.
 50. Wiedemann IK. Die Crista zygomaticoalveolaris des Menschen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Eignung als Spenderregion bei der Gewinnung von intraoralen Knochentransplantaten. Hannover: Medizinische Hochschule; 2015.
 51. Tinti C, Parma-Benfenati S. Vertical ridge augmentation: surgical protocol and retrospective evaluation of 48 consecutively inserted implants. Int J Periodontics Restorative Dent. 1998;18(5):434-43.
 52. Khoury F. Augmentative Verfahren in der Implantologie: Quintessenz Verlag; 2009.
 53. Boos C. Analyse des Wachstumsfaktorenrelease von i-PRF, A-PRF+ Exsudat und Serum – eine in-vitro Untersuchung. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität Mainz; 2020.
 54. Neubauer A, Huber V, Jemaiel Y. Das PRF-Konzept im praktischen Einsatz: dimagazin-aktuell; 2020 [01.11.2023]. Available from: https://www.dimagazin-aktuell.de/implantologie/weichgewebsmanagement/story/das-prf-konzept-im-praktischen-einsatz__7671.html.
 55. Borie E, Oliví DG, Orsi IA, Garlet K, Weber B, Beltrán V, et al. Platelet-rich fibrin application in dentistry: a literature review. Int J Clin Exp Med. 2015;8(5):7922-9.

-
56. Ghanaati S, Booms P, Orlowska A, Kubesch A, Lorenz J, Rutkowski J, et al. Advanced Platelet-Rich Fibrin: A New Concept for Cell-Based Tissue Engineering by Means of Inflammatory Cells. *Journal of Oral Implantology*. 2014;40(6):679-89.
 57. Miron RJ, Fujioka-Kobayashi M, Bishara M, Zhang Y, Hernandez M, Choukroun J. Platelet-Rich Fibrin and Soft Tissue Wound Healing: A Systematic Review. *Tissue Eng Part B Rev*. 2017;23(1):83-99.
 58. Choukroun J. Advanced PRF & i-PRF: platelet concentrates or blood concentrates? *J Periodont Med Clin Pract*. 2014;1.
 59. Kubesch A, Barbeck M, Al-Maawi S, Orlowska A, Booms P, Sader R, et al. A low-speed centrifugation concept leads to cell accumulation and vascularization of solid platelet-rich fibrin: an experimental study in vivo. *Platelets*. 2018;30:1-12.
 60. Boyne PJ. Restoration of osseous defects in maxillofacial casualties. *J Am Dent Assoc*. 1969;78(4):767-76.
 61. Seiler M, Hartmann A. Individualisierter Knochenaufbau mit einem 3-D-gedruckten Titangitter. *Quintessence*. 2018:1016-23.
 62. Rocuzzo M, Ramieri G, Bunino M, Berrone S. Autogenous bone graft alone or associated with titanium mesh for vertical alveolar ridge augmentation: a controlled clinical trial. *Clin Oral Implants Res*. 2007;18(3):286-94.
 63. Sumida T, Otawa N, Kamata YU, Kamakura S, Mtsushita T, Kitagaki H, et al. Custom-made titanium devices as membranes for bone augmentation in implant treatment: Clinical application and the comparison with conventional titanium mesh. *J Craniomaxillofac Surg*. 2015;43(10):2183-8.
 64. Louis PJ, Gutta R, Said-Al-Naief N, Bartolucci AA. Reconstruction of the maxilla and mandible with particulate bone graft and titanium mesh for implant placement. *J Oral Maxillofac Surg*. 2008;66(2):235-45.
 65. Lizio G, Corinaldesi G, Marchetti C. Alveolar ridge reconstruction with titanium mesh: a three-dimensional evaluation of factors affecting bone augmentation. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29(6):1354-63.
 66. von Arx T, Kurt B. Implant placement and simultaneous peri-implant bone grafting using a micro titanium mesh for graft stabilization. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 1998;18(2):117-27.
 67. Cohen A, Laviv A, Berman P, Nashef R, Abu-Tair J. Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009;108(5):661-6.
 68. Hirota M, Hayakawa T, Yoshinari M, Ametani A, Shima T, Monden Y, et al. Hydroxyapatite coating for titanium fibre mesh scaffold enhances osteoblast activity and bone tissue formation. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2012;41(10):1304-9.
 69. Seiler M, Kämmerer PW, Peetz M, Hartmann A. Customized lattice structure in reconstruction of three-dimensional alveolar defects *Int J Comput Dent*. 2018;21(3):261-7.

-
70. Mangano F, Macchi A, Shibli JA, Luongo G, Iezzi G, Piattelli A, et al. Maxillary ridge augmentation with custom-made CAD/CAM scaffolds. A 1-year prospective study on 10 patients. *J Oral Implantol*. 2014;40(5):561-9.
 71. Ciocca L, Fantini M, De Crescenzo F, Corinaldesi G, Scotti R. CAD-CAM prosthetically guided bone regeneration using preformed titanium mesh for the reconstruction of atrophic maxillary arches. *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2013;16(1):26-32.
 72. Ciocca L, Fantini M, De Crescenzo F, Corinaldesi G, Scotti R. Direct metal laser sintering (DMLS) of a customized titanium mesh for prosthetically guided bone regeneration of atrophic maxillary arches. *Med Biol Eng Comput*. 2011;49(11):1347-52.
 73. Ciocca L, Mazzoni S, Fantini M, Persiani F, Marchetti C, Scotti R. CAD/CAM guided secondary mandibular reconstruction of a discontinuity defect after ablative cancer surgery. *J Craniomaxillofac Surg*. 2012;40(8):e511-5.
 74. Ciocca L, Mazzoni S, Fantini M, Persiani F, Baldissara P, Marchetti C, et al. A CAD/CAM-prototyped anatomical condylar prosthesis connected to a custom-made bone plate to support a fibula free flap. *Med Biol Eng Comput*. 2012;50(7):743-9.
 75. Seiler M, Kammerer PW, Peetz M, Hartmann AG. Customized Titanium Lattice Structure in Three-Dimensional Alveolar Defect: An Initial Case Letter. *J Oral Implantol*. 2018 44(3):219-24.
 76. Buser D, Halbritter S, Hart C, Bornstein MM, Grutter L, Chappuis V, et al. Early implant placement with simultaneous guided bone regeneration following single-tooth extraction in the esthetic zone: 12-month results of a prospective study with 20 consecutive patients. *J Periodontol*. 2009;80(1):152-62.
 77. Seiler M, Peetz M, Hartmann A, Witkowski R. Individualized CAD-CAM-produced titanium scaffolds for alveolar bone augmentation: a retrospective analysis of dehiscence events in relation to demographic and surgical parameters. *J Oral Science Rehabilitation*. 2018;4(1):38-46.
 78. Merli M, Moscatelli M, Mariotti G, Rotundo R, Bernardelli F, Nieri M. Bone level variation after vertical ridge augmentation: resorbable barriers versus titanium-reinforced barriers. A 6-year double-blind randomized clinical trial. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014;29(4):905-13.
 79. Parma-Benfenati S, Roncati M, Galletti P, Tinti C. Resorbable dome device and guided bone regeneration: an alternative bony defect treatment around implants. A case series. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2014;34(6):749-55.
 80. Sagheb K, Schiegnitz E, Moergel M, Walter C, Al-Nawas B, Wagner W. Clinical outcome of alveolar ridge augmentation with individualized CAD-CAM-produced titanium mesh. *Int J Implant Dent*. 2017;3(1):36.
 81. Volkmann A, Hildebrandt H, Große S, Hartmann A, Sagheb K, Al-Nawas B. Klassifikation von Dehiszenzdefekten bei Augmentation mit individuellen Titangittern - Eine Fallserie mit Behandlungsoptionen. *Quintessence*. 2020;28(1):79-86.
 82. von Arx T, Kurt B. Implant placement and simultaneous ridge augmentation using autogenous bone and a micro titanium mesh: a prospective clinical study with 20 implants. *Clinical oral implants research*. 1999;10(1):24-33.

-
83. Corinaldesi G, Pieri F, Sapigni L, Marchetti C. Evaluation of survival and success rates of dental implants placed at the time of or after alveolar ridge augmentation with an autogenous mandibular bone graft and titanium mesh: a 3- to 8-year retrospective study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2009;24(6):1119-28.
 84. Artzi Z, Dayan D, Alpern Y, Nemcovsky CE. Vertical ridge augmentation using xenogenic material supported by a configured titanium mesh: clinicohistopathologic and histochemical study. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2003;18(3):440-6.
 85. Watzinger F, Luksch J, Millesi W, Schopper C, Neugebauer J, Moser D, et al. Guided bone regeneration with titanium membranes: a clinical study. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2000;38(4):312-5.
 86. Pellegrino G, Lizio G, Corinaldesi G, Marchetti C. Titanium Mesh Technique in Rehabilitation of Totally Edentulous Atrophic Maxillae: A Retrospective Case Series. *J Periodontol*. 2016;87(5):519-28.
 87. von Arx T, Hardt N, Wallkamm B. The TIME technique: a new method for localized alveolar ridge augmentation prior to placement of dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1996;11(3):387-94.
 88. Lindfors LT, Tervonen EA, Sandor GK, Ylikontiola LP. Guided bone regeneration using a titanium-reinforced ePTFE membrane and particulate autogenous bone: the effect of smoking and membrane exposure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010;109(6):825-30.
 89. Her S, Kang T, Fien MJ. Titanium mesh as an alternative to a membrane for ridge augmentation. *J Oral Maxillofac Surg*. 2012;70(4):803-10.
 90. ReOss. Yxoss CBR® Backward o. J. [28.06.2022]. Available from: <https://www.reoss.eu/expert-yxoss-backward.html>.
 91. ReOss. Yxoss CBR® - Häufige Fragen o. J. [28.06.2022]. Available from: <https://www.reoss.eu/patient-yxoss-faq.html>.
 92. ReOss. Operationstechnik Yxoss CBR® o. J. [28.06.2022]. Available from: <https://www.reoss.eu/expert-yxoss-operationstechnik.html>.
 93. Cucchi A, Vignudelli E, Franceschi D, Randellini E, Lizio G, Fiorino A, et al. Vertical and horizontal ridge augmentation using customized CAD/CAM titanium mesh with versus without resorbable membranes. A randomized clinical trial. *Clin Oral Implants Res*. 2021;32(12):1411-24.
 94. Hartmann A, Seiler M. Minimizing risk of customized titanium mesh exposures - a retrospective analysis. *BMC Oral Health*. 2020 20(1):36.
 95. Gu C, Xu L, Shi A, Guo L, Chen H, Qin H. Titanium Mesh Exposure in Guided Bone Regeneration Procedures: A Systematic Review and Meta-analysis. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2022;37(1).
 96. Aceves-Argemí R, Roca-Millan E, González-Navarro B, Marí-Roig A, Velasco-Ortega E, López-López J. Titanium Meshes in Guided Bone Regeneration: A Systematic Review. *Coatings*. 2021;11(3):316.

-
97. Hartmann A, Hildebrandt H, Schmohl JU, Kammerer PW. Evaluation of Risk Parameters in Bone Regeneration Using a Customized Titanium Mesh: Results of a Clinical Study. *Implant Dent.* 2019;28(6):543-50.
 98. Kim Y-K, Yun P-Y. Risk factors for wound dehiscence after guided bone regeneration in dental implant surgery. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery.* 2014;36(3):116.
 99. Figueiredo R, Camps-Font O, Valmaseda-Castellón E, Gay-Escoda C. Risk factors for postoperative infections after dental implant placement: a case-control study. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2015;73(12):2312-8.
 100. Bundesgesundheitsministerium. Rauchen 2021 [01.11.2023]. Available from: <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/r/rauchen.html#:~:text=In%20Deutschland%20rauchen%20insgesamt%202023,in%20der%20Raucherquote%20zu%20beobachten.>
 101. Albandar JM. Global risk factors and risk indicators for periodontal diseases. *Periodontol 2000.* 2002;29:177-206.
 102. Grossi SG, Zambon JJ, Ho AW, Koch G, Dunford RG, Machtei EE, et al. Assessment of risk for periodontal disease. I. Risk indicators for attachment loss. *J Periodontol.* 1994;65(3):260-7.
 103. Grossi SG, Genco RJ, Machtei EE, Ho AW, Koch G, Dunford R, et al. Assessment of risk for periodontal disease. II. Risk indicators for alveolar bone loss. *J Periodontol.* 1995;66(1):23-9.
 104. Ahn C, Mulligan P, Salcido RS. Smoking-the bane of wound healing: biomedical interventions and social influences. *Adv Skin Wound Care.* 2008;21(5):227-36; quiz 37-8.
 105. Guo S, Dipietro LA. Factors affecting wound healing. *J Dent Res.* 2010;89(3):219-29.
 106. Bain CA. Implant installation in the smoking patient. *Periodontol 2000.* 2003;33:185-93.
 107. DeLuca S, Habsha E, Zarb GA. The effect of smoking on osseointegrated dental implants. Part I: implant survival. *Int J Prosthodont.* 2006;19(5):491-8.
 108. DeLuca S, Zarb G. The effect of smoking on osseointegrated dental implants. Part II: Peri-implant bone loss. *Int J Prosthodont.* 2006;19(6):560-6.
 109. Doyle SL, Hodges JS, Pesun IJ, Baisden MK, Bowles WR. Factors affecting outcomes for single-tooth implants and endodontic restorations. *Journal of endodontics.* 2007;33 4:399-402.
 110. Kan JYK, Rungcharassaeng K, Lozada JL, Goodacre CJ. Effects of smoking on implant success in grafted maxillary sinuses. *The Journal of prosthetic dentistry.* 1999;82 3:307-11.
 111. Lambert PM, Morris HF, Ochi S. The influence of smoking on 3-year clinical success of osseointegrated dental implants. *Ann Periodontol.* 2000;5(1):79-89.
 112. Sánchez-Pérez A, Moya-Villaescusa MJ, Caffesse RG. Tobacco as a risk factor for survival of dental implants. *Journal of periodontology.* 2007;78 2:351-9.

-
113. Schwartz-Arad D, Samet N, Samet N, Mamlider A. Smoking and complications of endosseous dental implants. *Journal of periodontology*. 2002;73 2:153-7.
 114. Rh W. The relationship between cigarette smoking and dental implant failure. *The European journal of prosthodontics and restorative dentistry*. 2000;8:103.
 115. Strietzel FP. Risiken und Komplikationen der membrangesteuerten Knochenregeneration. *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie*. 2011;5:28-32.
 116. Strietzel FP, Reichart PA, Kale A, Kulkarni M, Wegner B, Kuchler I. Smoking interferes with the prognosis of dental implant treatment: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*. 2007;34(6):523-44.
 117. Goertz O, Kapalschinski N, Skorzinski T, Kolbenschlag J, Daigeler A, Hirsch T, et al. Wundheilungsstörungen bei Rauchern, Nichtrauchern und nach Rauchstopp. *Der Chirurg*. 2012;83.
 118. Simonis P, Dufour T, Tenenbaum H. Long-term implant survival and success: a 10–16-year follow-up of non-submerged dental implants. *Clinical oral implants research*. 2010;21(7):772-7.
 119. Ong CT, Ivanovski S, Needleman IG, Retzepi M, Moles DR, Tonetti MS, et al. Systematic review of implant outcomes in treated periodontitis subjects. *J Clin Periodontol*. 2008;35(5):438-62.
 120. Matarasso S, Rasperini G, Iorio Siciliano V, Salvi GE, Lang NP, Aglietta M. A 10-year retrospective analysis of radiographic bone-level changes of implants supporting single-unit crowns in periodontally compromised vs. periodontally healthy patients. *Clin Oral Implants Res*. 2010;21(9):898-903.
 121. Stanford C. Dental implant outcomes may vary in patients with a history of periodontal disease. *J Evid Based Dent Pract*. 2010;10(1):46-8.
 122. Ferreira SD, Silva GL, Cortelli JR, Costa JE, Costa FO. Prevalence and risk variables for peri-implant disease in Brazilian subjects. *J Clin Periodontol*. 2006;33(12):929-35.
 123. Rocuzzo M, De Angelis N, Bonino L, Aglietta M. Ten-year results of a three-arm prospective cohort study on implants in periodontally compromised patients. Part 1: implant loss and radiographic bone loss. *Clin Oral Implants Res*. 2010;21(5):490-6.
 124. Karoussis IK, Salvi GE, Heitz-Mayfield LJ, Brägger U, Hämmerle CH, Lang NP. Long-term implant prognosis in patients with and without a history of chronic periodontitis: a 10-year prospective cohort study of the ITI Dental Implant System. *Clin Oral Implants Res*. 2003;14(3):329-39.
 125. Mengel R, Behle M, Flores-de-Jacoby L. Osseointegrated implants in subjects treated for generalized aggressive periodontitis: 10-year results of a prospective, long-term cohort study. *J Periodontol*. 2007;78(12):2229-37.
 126. Schou S, Holmstrup P, Worthington HV, Esposito M. Outcome of implant therapy in patients with previous tooth loss due to periodontitis. *Clin Oral Implants Res*. 2006;17 Suppl 2:104-23.
 127. Van der Weijden GA, van Bommel KM, Renvert S. Implant therapy in partially edentulous, periodontally compromised patients: a review. *J Clin Periodontol*. 2005;32(5):506-11.

-
128. Kao RT, Fagan MC, Conte GJ. Thick vs. thin gingival biotypes: a key determinant in treatment planning for dental implants. *J Calif Dent Assoc.* 2008;36(3):193-8.
 129. Uehara S, Kurita H, Shimane T, Sakai H, Kamata T, Teramoto Y, et al. Predictability of staged localized alveolar ridge augmentation using a micro titanium mesh. *Oral and Maxillofacial Surgery.* 2015;19(4):411-6.
 130. Carini F, Longoni S, Amosso E, Paleari J, Carini S, Porcaro G. Bone augmentation with TiMesh. autologous bone versus autologous bone and bone substitutes. A systematic review. *Ann Stomatol (Roma).* 2014;5(Suppl 2 to No 2):27-36.
 131. Aludden HC, Mordenfeld A, Hallman M, Dahlin C, Jensen T. Lateral ridge augmentation with Bio-Oss alone or Bio-Oss mixed with particulate autogenous bone graft: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46(8):1030-8.
 132. Barone A, Ricci M, Mangano F, Covani U. Morbidity associated with iliac crest harvesting in the treatment of maxillary and mandibular atrophies: a 10-year analysis. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011;69(9):2298-304.
 133. Kuik K, Putters TF, Schortinghuis J, van Minnen B, Vissink A, Raghoobar GM. Donor site morbidity of anterior iliac crest and calvarium bone grafts: A comparative case-control study. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016;44(4):364-8.
 134. Putters TF, Wortmann DE, Schortinghuis J, van Minnen B, Boven GC, Vissink A, et al. Morbidity of anterior iliac crest and calvarial bone donor graft sites: a 1-year randomized controlled trial. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2018;47(11):1474-80.
 135. Ciocca L, Lizio G, Baldissara P, Sambuco A, Scotti R, Corinaldesi G. Prosthetically CAD-CAM-Guided Bone Augmentation of Atrophic Jaws Using Customized Titanium Mesh: Preliminary Results of an Open Prospective Study. *J Oral Implantol.* 2018;44(2):131-7.
 136. Torres J, Tamimi F, Alkhraisat MH, Manchón A, Linares R, Prados-Frutos JC, et al. Platelet-rich plasma may prevent titanium-mesh exposure in alveolar ridge augmentation with anorganic bovine bone. *J Clin Periodontol.* 2010;37(10):943-51.
 137. Srinivas B, Das P, Rana MM, Qureshi AQ, Vaidya KC, Ahmed Raziuddin SJ. Wound Healing and Bone Regeneration in Postextraction Sockets with and without Platelet-rich Fibrin. *Ann Maxillofac Surg.* 2018;8(1):28-34.
 138. Dragonas P, Katsaros T, Avila-Ortiz G, Chambrone L, Schiavo JH, Palaiologou A. Effects of leukocyte-platelet-rich fibrin (L-PRF) in different intraoral bone grafting procedures: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2019;48(2):250-62.
 139. Bornstein MM, Halbritter S, Harnisch H, Weber HP, Buser D. A retrospective analysis of patients referred for implant placement to a specialty clinic: indications, surgical procedures, and early failures. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2008;23(6):1109-16.
 140. Friberg B, Jemt T, Lekholm U. Early failures in 4,641 consecutively placed Brånemark dental implants: a study from stage 1 surgery to the connection of completed prostheses. *The International journal of oral & maxillofacial implants.* 1991;6(2):142-6.

-
141. Olate S, Lyrio MC, de Moraes M, Mazzonetto R, Moreira RW. Influence of diameter and length of implant on early dental implant failure. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010;68(2):414-9.
 142. Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: A review and proposed criteria of success. *The International journal of oral & maxillofacial implants.* 1986;1:11-25.
 143. Clementini M, Morlupi A, Canullo L, Agrestini C, Barlattani A. Success rate of dental implants inserted in horizontal and vertical guided bone regenerated areas: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2012;41(7):847-52.

8 Danksagung

Mein aufrichtiger Dank gilt meinem Doktorvater und dem wissenschaftlichen Vorstand.

Zudem möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für ihre bedingungslose Unterstützung und unermüdliche Hilfe bei jeglichen Fragestellungen bedanken. Eure Mitwirkung war für mich von unschätzbarem Wert.

9 Tabellarischer Lebenslauf