

# **Transalveoläre Sinusbodenaugmentation mit simultaner Implantatinserterion**

**10 - Jahres Ergebnisse**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. med. dent.)

der Medizinischen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität

Bonn

**Franka Heinen**

aus Köln

2026

Angefertigt mit der Genehmigung  
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. Dr. Søren Jepsen, M.S.
2. Gutachter: Prof. Dr. Helmut Stark

Tag der mündlichen Prüfung: 30.01.2026

Aus der Poliklinik für Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde

Für meine Eltern



## Inhaltsverzeichnis

	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1	Anatomie und Physiologie von Maxilla und Sinus Maxillaris	10
1.2	Indikationen und Kontraindikationen Implantatprothetik	12
1.3	Literaturübersicht	13
1.3.1	Gründe für Zahnverlust	13
1.3.2	Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS)	14
1.4	Techniken der Sinusbodenaugmentation	16
1.4.1	Voraussetzungen für implantatgetragenen Zahnersatz	16
1.4.2	Transalveoläre Sinusbodenelevation („Interner Sinuslift“) nach Summers	16
1.4.3	Augmentationsmaterialien	18
1.5	Bezugsstudien	20
1.6	Implantatüberleben und Erfolg	20
1.7	Ziele und Fragestellung	22
<b>2.</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>24</b>
2.1	Patientenauswahl und Datenerhebung	24
2.2	Durchführung	25
2.3	Unterstützende Therapie (Recall) und Parameter	29
2.4	Röntgenologische Auswertung	30
2.5	Statistische Auswertung	32
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>35</b>
3.1	5-Jahres-Ergebnisse	37
3.1.1	Überlebensrate	40

3.1.2	Verlauf der vertikalen Knochenhöhe	41
3.1.3	Erfolgsrate	42
3.2	10-Jahres-Ergebnisse	44
3.2.1	Überlebensrate	47
3.2.2	Verlauf der vertikalen Knochenhöhe	52
3.2.3	Erfolgsrate	56
<b>4.</b>	<b>Diskussion</b>	<b>59</b>
4.1	Stärken und Limitationen	60
4.2	Vergleich mit Langzeitstudien	60
4.3	Einflussfaktoren	66
4.3.1	Compliance	66
4.3.2	Veränderungen der vertikalen Knochenhöhe	67
4.3.3	Geschlecht und Alter (Demografische Faktoren)	68
4.3.4	Biomaterial	69
4.3.5	Parodontitis-Vorgeschichte	70
4.3.6	Andere Einflussfaktoren	71
4.4	Alternativen zum Sinuslift	72
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>75</b>
<b>6.</b>	<b>Anhang</b>	<b>76</b>
<b>7.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>80</b>
<b>8.</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>82</b>
<b>9.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>83</b>
<b>10.</b>	<b>Erklärung zum Eigenanteil</b>	<b>93</b>
<b>11.</b>	<b>Danksagung</b>	<b>94</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
DBBM	(engl. Deproteinized Bovine Bone Mineral) deproteinisiertes Knochenmineral vom Rind
DPBM	(engl. Demineralized Porcine Bone Mineral) demineralisiertes Knochenmineral vom Schwein
DMS	Deutsche Mundgesundheitsstudie
DVT	Digitale Volumentomografie
GI	Gingivaindex
IDZ	Institut der deutschen Zahnärzte
ICOI	International Congress of Oral Implantologists
Kat.	Kategorie
KEM	Knochenersatzmaterial
KIK	Knochen zu Implantatkontakt
mBI	Modifizierter Blutungsindex
MSFA	Maxillary Sinus Floor Augmentation (engl. für Maxilläre Sinusbodenaugmentation)
mPI	Modifizierter Plaqueindex
OPG	Orthopantomogramm
Pat.	Patient
PZR	Professionelle Zahnreinigung
Rö	Röntgen

ST	Sondierungstiefe
Tab.	Tabelle
UPT	Unterstützende Parodontaltherapie
PIT	Systematische Periimplantitistherapie
VKH	Vertikale Knochenhöhe
VRH	Vertikale Restknochenhöhe
ZE	Zahnersatz



## 1. Einleitung

Sowohl einzelne Zahnverluste als auch eine komplette Zahnlosigkeit sind mit zunehmendem Alter zu beobachten. Nach den Daten aus der aktuellen DMS VI von 2023 ist Zahnverlust überwiegend die Folge von kariöser Zerstörung, parodontalen Erkrankungen oder Traumata (Jordan et al., 2025). Trotz präventiver Anstrengungen waren in Deutschland laut DMS VI in der Altersgruppe der 65 - 74-Jährigen durchschnittlich 8,7 Zähne verloren gegangen, ausgehend von einer Normalbezahnung von 28 Zähnen. Um einen oder mehrere fehlende Zähne zu ersetzen, kann eine prothetische Lösung in Form einer Brücke, Prothese oder einer implantatgetragenen Konstruktion in Frage kommen.

Fehlt ein Seitenzahn des Oberkiefers im Bereich der Kieferhöhle, so baut sich der Knochen in vertikaler und horizontaler Richtung ab, sodass die Insertion eines späteren Implantates erschwert wird (Nisand et al., 2015). Ein reduziertes Angebot an Alveolarknochen kann es erforderlich machen, dass ein Implantat mittels Elevation des Sinusbodens eingebracht wird, um die erforderliche Stabilität zu erzielen u.a. mit additivem Knochenaugmentat. Grundsätzlich gibt es zwei Verfahren: den internen und den externen Sinuslift. Der interne Sinuslift wurde von Tatum entwickelt und von Summers modifiziert, bei welchem ein krestaler Zugang zur Kieferhöhle gewählt wird (Summers, 1994; Tatum, 1986). Ab einer vertikalen Restknochenhöhe (VRH) von 5 mm, beschreiben mehrere Studien die höchste Überlebensrate von Implantaten nach Durchführung eines einzeitigen internen Sinuslifts mit > 96 % (Calin et al., 2014; Del Fabbro et al., 2012; Rosen et al., 1999). Die Erfolgsparameter, die eine Aussage über die Qualität des Implantates treffen orientieren sich an Albrektsson, Buser, Mombelli und Misch et al. (Albrektsson et al., 1986; Buser et al., 1990; Misch, 1998; Mombelli und Lang, 1994). Bei dem lateralen Sinuslift erfolgt der Zugang zur Kieferhöhle über ein lateral angelegtes Knochenfenster. Boyne und James beschrieben dieses Verfahren erstmals 1980, welches über die Jahre modifiziert wurde (Boyne und James, 1980; Smiler und Holmes, 1987; Wood und Moore, 1988). Die Überlebensraten liegen laut aktuellen Studien bei > 96 % (Ha et al., 2020; Raghoobar et al., 2019). Diese Methode wird oft

zweizeitig durchgeführt mit einem erhöhten chirurgischen und zeitlichen Aufwand für den Patienten.

Der 15. European Workshop on Periodontology, 2018 forderte zukünftig mehr Studien zum Langzeitüberleben ( $\geq 10$  Jahre) von Implantaten, die mittels maxillärer Sinusbodenaugmentation (MSFA) eingebracht wurden. Die zu untersuchenden Parameter sollen verbleibende vertikale Knochenhöhe, Risikofaktoren, chirurgisches Vorgehen und verwendete Materialien, post-chirurgisches Protokoll, Komplikationen, Implantatüberleben, den marginalen Knochen und die Stabilität des Knochenersatzmaterials untersuchen (Jepsen et al., 2019).

### 1.1 Anatomie und Physiologie von Maxilla und Sinus Maxillaris

Der knöcherne Schädel lässt sich in zwei Abschnitte unterteilen: das Neurocranium (Gehirnschädel) und das Viscerocranium (Gesichtsschädel). Die Maxilla (Oberkiefer) ist Bestandteil des Viscerocraniums und beinhaltet die obere Zahnreihe. Sie besteht aus einem Körper (Corpus maxillae) mit 4 Fortsätzen: Processus alveolaris, palatinus, zygomaticus und dem Processus frontalis. Angrenzend sind die Nachbarstrukturen der Augenhöhle (Orbita), der Nase und des Gaumens. Die Maxilla bildet die Vorderwand und Boden der Orbita, die vordere Wand der Nasenhöhle und den unteren Teil der Fossa infratemporalis. Der Processus Alveolaris ist ein Fortsatz der Maxilla, in dem die Zähne in den Zahnfächern (Alveolen) verankert sind (Schulte et al., 2006). Das Dach der Mundhöhle und den Nasenhöhlenboden bildet der Processus Palatinus. Zusammen mit dem Os palatinum formt er den harten Gaumen. Innerviert wird der Gaumen durch den N. nasopalatinus, welcher den Endast des N. maxillaris darstellt. Die arterielle Versorgung erfolgt durch Blutgefäße, die medial hinter den Schneidezähnen austreten, wie der A. incisiva und der A. maxillaris, die sich aus der A. carotis abzweigt. Mittig des Gaumens befindet sich die Sutura palatina mediana, die Ende des 25. Lebensjahres bei ca. 83 % der Menschen verknöchert ist, bei Frauen früher als bei Männern (Jimenez-Valdivia et al., 2019). In dem Corpus maxillae befinden sich paarig angelegte Hohlräume (Pneumatisationsräume). Der paarige Sinus Maxillaris ist die größte der Nasennebenhöhlen mit einer pyramidenförmigen Struktur und einer unteren konvexen Begrenzung, wobei der maximal caudal gelegene Punkt in der Regel zwischen dem ersten

und zweiten Oberkiefer-Molaren liegt. Eine 3 - 4 mm dicke Knochenschicht trennt den Boden von den Zahnwurzeln, welche abhängig von der Zahnwurzel, Form und Größe der Kieferhöhle variiert. Die Größe der beiden Sinusvolumina einer Person können dabei asymmetrisch sein (Chanavaz, 1990). Der Sinus mündet in den Meatus nasi medius und wird von der Schneiderschen Membran ausgekleidet. Diese besteht aus respiratorischem Epithel und bemisst sich auf eine Dicke von  $1,60 \pm 1,20$  mm, zunehmend von medial nach distal (Kalyvas et al., 2018). Die Zilien innerhalb des Sinus transportieren Sekret zu dem Meatus nasi medius. Die Aufgabe der Nasennebenhöhlen ist die Isolationsfunktion bei verschiedenen Außentemperaturen. Zusätzlich steigern sie indirekt den Schädel für mehr Ansatzflächen der Muskeln. Der Sinus maxillaris misst beim Erwachsenen ca. 35 x 35 x 25 mm. Das fortschreitende Alter des Patienten, die Restbezahnung als auch eventuelle Voroperationen bestimmen dabei den Pneumatisationsgrad. Am Sinusboden sind häufig knöcherne Strukturen vorzufinden, welche den Sinus in mehrere Abteilungen separieren und teils eigene Öffnungen haben. Zu unterscheiden sind kongenitale Septen, die in der Entwicklung der Maxilla entstehen und sekundäre, die nach Zahnverlust und irregulärer Pneumatisation (Bildung von luftgefüllten Hohlräumen in relativ dichtem Knochen) entstehen. Lokalisiert sind sie entweder anterior, medial oder posterior. Kongenitale Septen sind im Schnitt 5,5 mm lang und sekundäre Septen 3,4 mm (Rancitelli et al., 2015). Bei der transalveolären Sinusbodenaugmentation kann durch diese sog. Underwood-Septen die Mobilisierung der Schleimhaut erschwert oder undurchführbar werden. Die Perforation und/oder Infektion der Kieferhöhlenschleimhaut wird dadurch begünstigt. Die durch Zahnbewegung und Kaubelastung physiologischen Kräfte bleiben nach Zahnverlust aus und die Osteoklastenaktivität steigt. Der Alveolarknochen wird dadurch irreversibel abgebaut. In den ersten Monaten bis zu einem Jahr findet der Abbau am schnellsten statt (Tallgren, 1972). Generell lassen sich vier Knochentypen nach ihrer Knochendichte unterscheiden (Misch und Judy, 1987), wobei dem Oberkiefer die Typen D2-D4 zuzuordnen sind (Tab. 1).

**Tab. 1:** Knochenstruktur nach Misch und Judy, 1987

Klasse	Knochenstruktur
D1	dichte Kompakta, wenig Spongiosa
D2	dichte poröse Kompakta, grobkörnig derbe Spongiosa
D3	dünne poröse Kompakta, feine Spongiosa
D4	keine Kompakta, feine Spongiosa

### 1.2 Indikationen und Kontraindikationen Implantatprothetik

Es gibt keine absolute Indikation für Implantate zum Ersatz fehlender Zähne. Kaufunktion und Phonetik, als auch Ästhetik können mittels anderer prothetischer Maßnahmen restauriert werden. Da implantatgetragener Zahnersatz bei bestimmten Indikationen Vorteile gegenüber therapeutischen Alternativen bietet, lassen sich relative Indikationen anführen. Zu den Indikationen für Implantatprothetik zählen u. a.:

- Versorgung einer Zahnlücke (durch z. B. Zahntrauma mit Folge des Zahnverlustes)
- Erhaltung gesunder Zahnhartsubstanz
- Verbesserung der Kaufunktion (Stabilisierung einer Prothese)
- Vermeidung eines herausnehmbaren Zahnersatzes
- Verankerung von Epithesen nach Tumorresektion.

Mögliche Kontraindikationen (KI) sind z. B.:

- Schlechte Mundhygiene, bzw. eine nicht behandelte Parodontitis
- Allgemeinmedizinische Erkrankungen (z. B. Stoffwechselerkrankungen)
- Pathologische Knochen- oder Schleimhautbefunde

- Bestrahlung im Kopf-Halsbereich
- Temporäre KI (Schwangerschaft, Antikoagulantien)
- Nikotinabusus und/oder Rauchergewohnheit (Ramseier et al., 2010)
- Medikation (z. B. Immunsuppressiva).

### 1.3 Literaturübersicht

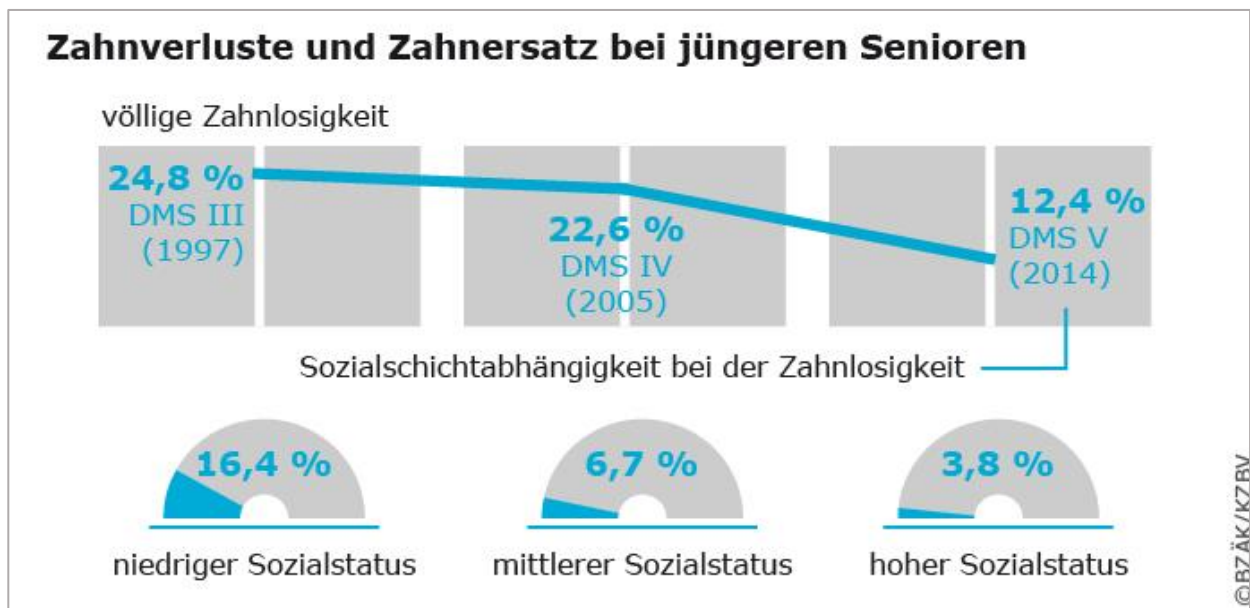
#### 1.3.1 Gründe für Zahnverlust

Statistisch sind Zahnverluste in Deutschland überwiegend auf Karieserkrankungen, Parodontalerkrankungen und Traumata zurückzuführen (Jordan et al. 2025). Karies kann sukzessiv die Zahnhartsubstanz angreifen und zerstören, sodass ein Erhalt ab einem gewissen Punkt nicht mehr sinnvoll ist. Um die Kariesprävalenz zu senken, werden Aufklärungen bereits in Kindergärten und Grundschulen angeboten. Dazu werden die vier Säulen der Kariesprophylaxe gelehrt: Ernährung, Zahnpflege, Fluoridierung und zahnärztliche Kontrollen (Informationsstelle für Kariesprophylaxe, 2019).

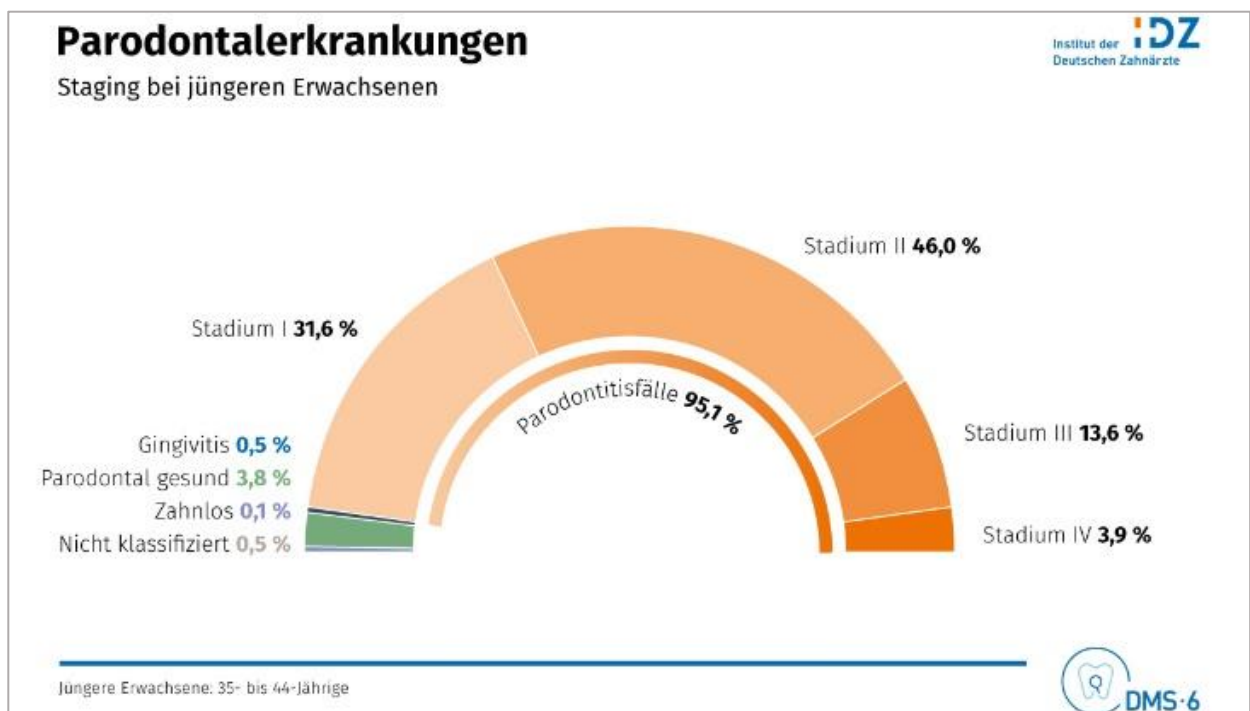
Parodontale Erkrankungen führen durch Schädigung des Zahnhalteapparates zu Lockerungen und Zahnverlusten. Die demografische Entwicklung in Deutschland bedingt einen immer größer werdenden Bevölkerungsanteil älterer Menschen, welche prozentual vermehrt an Parodontalerkrankungen leiden. Um die Entstehung einer Parodontitis zu verhindern, wird präventiv zu regelmäßigen zahnärztlichen Kontrollen wie auch zu professionellen Zahnreinigungen (PZR) in individuell festzulegenden Intervallen geraten. Zur Sicherung des Behandlungserfolges nach abgeschlossener Parodontitistherapie sind unterstützende Maßnahmen in Form einer systematischen UPT notwendig (Jordan et al., 2014). Weitere Gründe für Fehlen eines Zahnes sind Extraktionen, z. B. nach einer gescheiterten endodontischen Maßnahme (Wurzelfüllung) oder der Wunsch des Patienten bei Schmerzen wegen mangelnder Alternativen (Silva-Junior et al., 2017). Andere Gründe sind therapeutische Zahnentfernungen, wie z. B. im Rahmen prothetischer Versorgung, Notwendigkeit bei orthodontischen (kieferorthopädische) Maßnahmen oder nach Traumata (Reich und Hiller, 1993).

### 1.3.2 Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS)

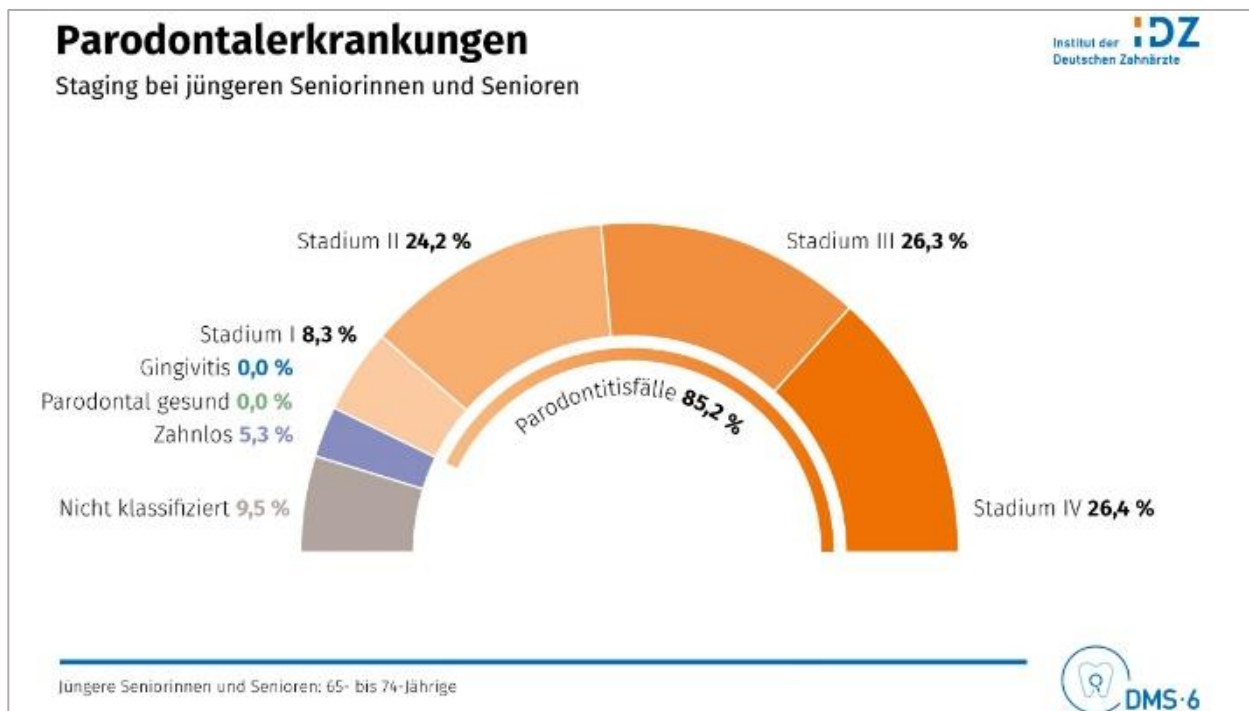
Seit 1989 erforscht das Institut der Deutschen Zahnärzte (IDZ) im Auftrag der Bundeszahnärztekammer (BZÄK) und der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung (KZBV) die Mundgesundheit in Deutschland (Micheelis und Bauch, 1990). Untersucht werden dabei die Entwicklung der Karies und Parodontalerkrankungen sowie die Auswirkungen und Ergebnisse bisheriger Therapien auch unter dem Aspekt sozialer Einflüsse. Ziel ist es, gesundheitspolitisch Rückschlüsse zu ziehen und Therapien anzupassen oder Neuerungen auf den Weg zu bringen. Bei der 6. Mundgesundheitsstudie (Jordan et al. 2025) wurden 3377 Individuen aus 90 Untersuchungsgemeinden von Oktober 2022 bis September 2023 befragt und klinisch zahnärztlich untersucht. Aus statistisch-repräsentativen Gründen wurden dafür Menschen aus allen sozialen Schichten und Altersgruppen inkludiert (Jordan et al., 2025). Bezogen auf die völlige Zahnlosigkeit hat sich die Anzahl bei den jüngeren Senioren (65- bis 74-Jährige) von 1997, als noch jeder vierte betroffen war, halbiert. In dieser Altersgruppe besitzen die Menschen im Durchschnitt fünf eigene Zähne mehr im Vergleich zu 1997 (Abb. 1)(Jordan et al., 2014). Bei der DMS VI hat sich die Zahl erneut halbiert, sodass nur noch 5 % aller jüngeren Senioren zahnlos sind. Als Gründe für diese Entwicklung lassen sich zahnerhaltende Therapien und eine verbesserte Präventionsorientierung anführen. Betrachtet man die Anzahl der gesetzten Implantate, so hat sich die Insertionsrate verglichen zu 1997 (DMS III) bei der DMS V verzehnfacht und zur DMS VI erneut erhöht. Besonders der festsitzend kombinierte Zahnersatz mit Implantaten nahm zu. Die Prävalenz für parodontale Erkrankungen ist laut der DMS VI sehr hoch mit 91,1 % bei den jüngeren Erwachsenen (35- bis 44- Jährige) und mit 85,2 % bei den jüngeren Senioren. Hier ist der Anteil einer Parodontitis im Stadium III und IV 17,5 % bei den jüngeren Erwachsenen und 52,7 % bei den jüngeren Senioren (Tonetti et al., 2018) (Abb. 2 & Abb. 3).



**Abb. 1:** DMS V. Entwicklung der Zahnverluste bei jüngeren Senioren in Abhängigkeit zum sozialen Status. Bezogen auf die völlige Zahnlosigkeit hat sich die Anzahl bei den jüngeren Senioren (65- bis 74-Jährige) von 1997 halbiert. (Quelle: <https://www.bzaek.de/ueber-uns/daten-und-zahlen/deutsche-mundgesundheitsstudie-dms.html>)



**Abb. 2:** DMS VI Parodontalerkrankungen- Staging bei jüngeren Erwachsenen. Ein großer Anteil von 95,1 % der jüngeren Erwachsenen weist eine Parodontitis auf. Von einem fortgeschrittenen Stadium III + IV sind 17,5 % betroffen. (Quelle: <https://deutsche-mundgesundheitsstudie.shinyapps.io/Ergebnisportal/>)



**Abb. 3:** DMS VI Parodontalerkrankungen- Staging bei jüngeren Seniorinnen und Senioren. Ein großer Anteil von 85,2 % der jüngeren Senior/innen weist eine Parodontitis auf. Von einem fortgeschrittenen Stadium III + IV sind 52,7 % betroffen. (Quelle: <https://deutsche-mundgesundheitsstudie.shinyapps.io/Ergebnisportal/>)

## 1.4 Techniken der Sinusbodenaugmentation

### 1.4.1 Voraussetzungen für implantatgetragenen Zahnersatz

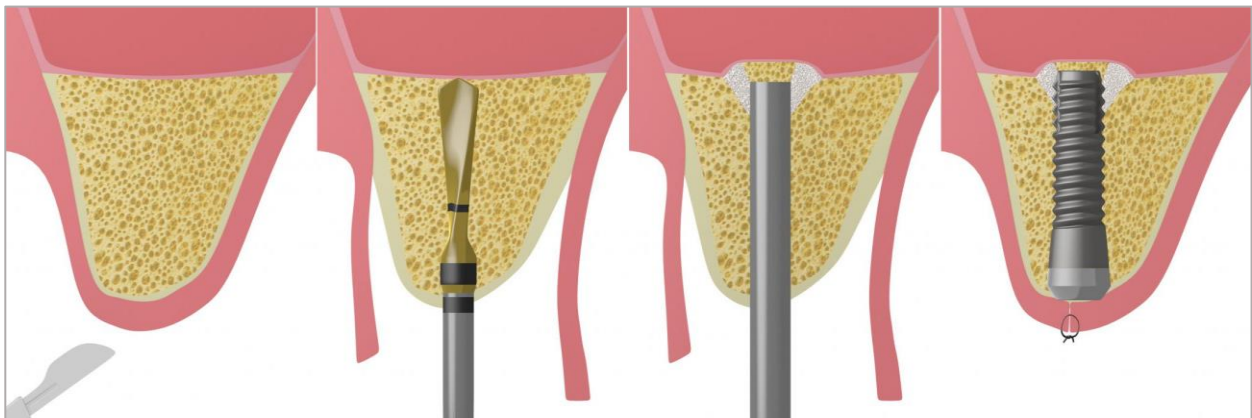
Damit ein Implantat erfolgreich inseriert werden kann, muss ein ausreichendes Knochenangebot vorhanden sein, um eine Primärstabilität zu gewährleisten. Diese hängt von den Knocheneigenschaften (Misch und Judy, 1987), der OP-Technik oder dem Implantatdesign ab (Righesso et al., 2016). Außerdem sollten keine entzündlichen Prozesse präsent sein, wie zum Beispiel eine Parodontitis, die eine Einheilung des Implantates verhindern können und somit den Erfolg gefährden (Safii et al., 2010).

### 1.4.2 Transalveoläre Sinusbodenelevation („Interner Sinuslift“) nach Summers

Der interne Sinuslift wurde zuerst von Tatum im Jahre 1986 (Tatum, 1986) entwickelt und von Summers acht Jahre später 1994 modifiziert (Summers, 1994) und wird seitdem auch Summers-Lift genannt. Somit findet er schon seit über 30 Jahren bis heute Anwendung, wenn es darum geht, Implantate im Oberkiefer bei reduziertem Knochenangebot in den Knochen einzubringen. Die Insertion eines Implantates ist ein chirurgischer Eingriff. Daher



muss im Vorfeld eine entsprechende eingehende Anamnese erhoben und eine klinische sowie bildgebende Diagnostik durchgeführt werden. Dadurch kann einerseits die Struktur des Knochens ermittelt und die Länge des Implantats ausgewählt werden, andererseits wird der Sinus auf Septen oder pathologische Prozesse überprüft. Zusätzlich können Modellanalysen zur Planung beitragen. Der chirurgische Eingriff erfolgt in der Regel in Lokalanästhesie. In der zu inserierenden Region wird zunächst ein Mukoperiostlappen gebildet. Dann wird eine kalibrierte Bohrung im Bereich des Alveolarknochens angelegt, die bis ca. 1 mm kaudal des Kieferhöhlenbodens ausgerichtet ist. Anschließend werden nach Summers mehrere Osteotome mit zunehmendem Durchmesser benutzt und mit speziellen Hämmern in Richtung Kieferhöhlenboden geklopft, wobei dieser gezielt frakturiert und eleviert wird. Knochenspäne werden nach apikal kondensiert. Die Osteotome haben dabei an der Stirnseite eine konkav gewölbte Form (Abb. 4).



**Abb. 4:** Interner Sinuslift nach Summers. Schritt 1: Bildung eines Mukoperiostlappens. Schritt 2: Mit kalibrierten Knochenbohrern in Kieferhöhlenbodennähe vordringen. Schritt 3: Gezielte Fraktur des Kieferhöhlenbodens mittels Osteotom und Elevation. Schritt 4: Einbringen des Implantates und koronaler Verschluss der Mundbodenschleimhaut. (Bild-Quelle: <https://zahnimplantate.com/implantologie/knochenaufbau/sinuslift.html>)

Seit der Einführung durch Summers wurden verschiedene Modifikationen dieser Technik entwickelt und beschrieben sowie Hilfsmittel entworfen, wie z. B. eine laborgefertigte Orientierungsschablone, die die Angulierung und Position der Bohrer vorgibt. Für die Diagnostik kommen - früher nicht zur Verfügung stehende - dreidimensionale Verfahren wie ein DVT (digitale Volumentomographie) zur Anwendung, um knöcherne Strukturen und pathologische Prozesse besser einschätzen zu können.

Außerdem werden in der Regel zwei verschiedene Osteotome benutzt. Mit Osteotomen, die eine konkave, scharfe Spitze besitzen, wird der Kieferhöhlenboden zunächst frakturiert. Anschließend folgen Osteotome mit einer konvexen, stumpfen Spitze, um den Kieferhöhlenboden auf die gewünschte Höhe zu anzuheben. Damit man eine Mund-Antrum-Verbindung (MAV) ausschließen kann, wird das Valsalva-Manöver durchgeführt, bei dem der Patient aufgefordert wird, bei zugehaltener Nase Druck aufzubauen (sog. Nasenblasversuch). Entweicht ein „Blubbern“ aus dem Bohrstollen, so sollte man entweder die Verbindung durch eine Membran abdecken oder den Zugang wieder verschließen und zu einem späteren Zeitpunkt einen Lift durchführen (Pstras et al., 2016). Liegt keine MAV vor und ein Augmentat (Knochenaufbaumaterial oder Knochen) soll eingebracht werden, nutzt man dazu ein konvexes Osteotom, welches einen geringeren Durchmesser als der Bohrstollen besitzt, um Reibungswiderstände zu verhindern. Schließlich wird das Implantat eingebracht und ein Röntgenbild zur Kontrolle der Platzierung angefertigt. Neben diesen Modifikationen gibt es auch verschiedene andere Möglichkeiten, Osteotome zu benutzen, wie z. B. die Ballon-Lift-Technik (Soltan und Smiler, 2005), spezielle Bohrergeometrien (Cosci und Luccioli, 2000), piezochirurgische Instrumente (Kim et al., 2014) oder Verwendung von Wasserdruck (Chen et al., 2009).

#### 1.4.3 Augmentationsmaterialien

Augmentationsmaterialien dienen dazu, Knochendefekte aufzufüllen oder zusätzlichen Halt für ein Implantat zu bieten. Beim internen Sinuslift kann ein Augmentat benötigt werden, wenn der Knochen nicht ausreichend dicht, hoch oder breit ist. Das Augmentat wird unter der elevierten Sinusschleimhaut eingebracht. Die Anforderungen an ein Augmentations- bzw. Knochenersatzmaterial (KEM) sind eine gewisse Porosität mit einer Porengröße, die eine Diffusion von Osteozyten, Nährstoffen und den Austausch von Abbauprodukten zulässt, welche minimal 100 µm betragen sollte (Selcuk et al., 2017). Dabei muss berücksichtigt werden, dass eine einsprossende Vaskularisierung erst ab > 300 µm stattfinden kann (Karageorgiou und Kaplan, 2005). Weiter sollten die Oberflächen so beschaffen sein, dass das Einwachsen von Gefäßen, Zellanlagerung und Proliferation gefördert wird. Die physiologischen und biochemischen Eigenschaften beinhalten auch eine gewisse mechanische Beanspruchbarkeit, Elastizität,

Verarbeitungsmöglichkeit und Resorption des Materials, damit der Knochen sich formieren kann. Es gibt verschiedene Materialien, die diese Anforderungen erfüllen:

- a) Autolog: Es wird Knochen vom selben Individuum verwendet. Dazu entnimmt man Knochen entweder von extraoralen Gebieten wie dem Beckenkamm, Tibia oder intraoralen Gebieten wie der Symphyse, eventuellen Exostosen oder dem Bohrstollen der Zugangsbohrung. Entnommen werden dabei entweder Knochenspäne, Knochenchips oder ein Knochenblock, den man in seiner Größe und Form adaptiert (Haugen et al., 2019).
- b) Allogen: Allogenes Material kommt von einem anderen Individuum derselben Spezies. Beim Menschen bedient man sich zum Beispiel unterschiedlicher Mortalsubstrate oder Lebendspenden (Giesenhausen et al., 2019). Bevor das Knochentransplantat benutzt werden kann, wird es mit speziellen Methoden aufbereitet. Der Vorteil liegt, wie bei dem autologen Knochen, in bestimmten Proteinen (engl. Bone Morphogenetic Proteins/ BMP), die positiv auf die Osseointegration einwirken. Deswegen kann man den Knochen nicht komplett sterilisieren, was zu immunologischen Folgen oder vermehrter Abstoßung des Knochentransplantats führen kann (Fernandez de Grado et al., 2018).
- c) Xenogen: Greift man auf Material zurück, das nicht vom Menschen stammt, sondern von einer anderen Spezies, wie dem Rind (bovin) oder Schwein (porcin), so spricht man von xenogenem Material. In Deutschland wird überwiegend bovines Material verwendet, wie z. B. Bio-Oss® (Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Schweiz). Abgekürzt wird es auch als DBBM bezeichnet (engl. Deproteinized Bovine Bone Mineral), da es zwar osteokonduktiv wirkt, aber deproteiniert ist und somit die organische Komponente entfernt ist (Oliveira et al., 2012).
- d) Alloplastisch: Alloplastisches Material ist synthetisches, körperfremdes Material. Am Markt angeboten sind dies überwiegend Trikalziumphosphate, Kalziumsulfate, sog. Glaskeramiken oder Polymere mit verschiedener Partikelgröße. Anders als für autologe oder xenogene Knochenersatzmaterialien fehlt bislang der Nachweis von Osteoinduktivität; alloplastisches Material bildet eine Matrix, in die Knochenzellen

einwandern können und das Eigenknochenwachstum fördern (Kretlow und Mikos, 2007; Vitale-Brovarone et al., 2008).

### 1.5 Bezugsstudien

Es gibt mehrere Studien, die sich mit dem einzeitigen internen Sinuslift mittels der Osteotomietechnik beschäftigen. Relevant für die Diskussion der vorliegenden Studie sind systematische Übersichten und Meta-Analysen, die eine große Fallzahl von Implantaten unter ähnlichen Gesichtspunkten nachverfolgt und ausgewertet haben.

Tan et al. (2008) haben eine systematische Überprüfung von 19 Studien durchgeführt, bei der 4388 Implantate über einen Zeitraum von 1 - 5 Jahren nachverfolgt wurden. Dabei wurden heterogene Knochenaufbaumaterialien benutzt. Die vertikale Restknochenhöhe (VRH) betrug 3 - 9,6 mm und die statistische Implantatüberlebensrate betrug durchschnittlich 92,8 % nach 3 Jahren. Darüber hinaus fällt die Implantatüberlebensrate mit abnehmender vertikaler Restknochenhöhe geringer aus. Die häufigste Komplikationsrate bei dem Eingriff stellt die Perforation der Schneiderschen Membran (3,8 %) dar (Tan et al., 2008). Del Fabbro et al. (2012) veröffentlichten eine systematische Rezension, in der 19 Studien miteinander verglichen wurden, mit insgesamt 3131 Implantaten, die alle mindestens 5 Jahre in situ nachverfolgt wurden. Dort wurde klar, dass die Überlebensrate der Implantate bei einer VRH unter 5 mm um ca. 4 % geringer ausfiel als bei Implantaten, die bei einer VRH über 5 mm gesetzt wurden. Calin et al. beschrieben, dass die Überlebensrate erst bei VRH < 4 mm abnimmt. Hierbei wurden 1695 Implantate nach einzeitigem Sinuslift nachverfolgt, die seit  $\geq 1$  Jahr in situ waren und eine Überlebensrate von ca. 96,6 % aufwiesen (Calin et al., 2014). Es wurden VRH von 1 - 13,5 mm beschrieben, bei Del Fabbro et al. betrug die VRH 2,5 - 9,1 mm (Del Fabbro et al., 2012).

### 1.6 Implantatüberleben und Erfolg

Um verschiedene Studien in ihrer Aussage vergleichen zu können, muss das Implantatüberleben gegenüber dem Erfolg abgegrenzt werden. Implantatüberleben beschreibt, ob sich ein Implantat in situ befindet oder nicht (Spontanverlust oder Explantation). Dementsprechend handelt es sich um eine dichotome Aussage und macht

nicht kenntlich, in welcher funktionellen Qualität sich das Implantat im Hart- bzw. Weichgewebe des Implantatlagers befindet. In manchen Studien wird das Implantatüberleben dem Erfolg gleichgesetzt oder der Erfolg erst gar nicht separat erfasst.

Möchte man die Qualität eines Erfolges anhand der Aussage, ob ein Implantat noch im Munde des Patienten integriert ist oder nicht, beurteilen, so lassen sich verschiedene Einteilungen und Weiterentwicklungen in der Literatur finden. Durchgesetzt haben sich bisher die Definition von Albrektsson et al. (1986) und Buser et al. (1990). Beide Definitionen ähneln sich in ihren Kriterien der klinischen Beweglichkeit des Implantates, radiologischen Auffälligkeiten in Form eines periimplantären Knochenabbaus, klinischen Zeichen einer Periimplantitis und der Abwesenheit von Schmerzen oder Infektionen. Albrektsson hat zusätzlich noch festgelegt, dass nach 5 Jahren eine Erfolgsrate von mindestens 85 % und nach 10 Jahren von 80 % vorliegen muss, um die betreffende Implantat-Versorgung als Erfolg zu bezeichnen. Misch et al. veröffentlichten 1998 eine weiterentwickelte Definition des Implantaterfolges basierend auf James' Qualitätskriterien für Erfolg von 1993 (Misch, 1998). Der Erfolg wurde nicht nur anhand der Abwesenheit von Schmerz und Beweglichkeit des Implantates gewertet, sondern auch durch die Sondierungstiefen (ST) und den Blutungsindex. Mittels der Sondierungstiefen sollen Knochenverluste aussagekräftiger erfasst werden als nur anhand von Röntgenbildern und der Blutungsindex kann zusätzlich erste Anzeichen von Entzündung signalisieren.

Seitdem wurde erst wieder 2007 in einer Konsensuskonferenz in Pisa, Italien eine genauere Definition von dem internationalen Kongress der oralen Implantologen (ICOI) festgesetzt, der die Kriterien von Misch et al. modifizierte (Misch et al., 2008). Die deutsche Konsensuskonferenz Implantologie ist eine Kollaboration von 5 Mitgliedsverbänden: der DGMKG, die einen Berufsverband und wissenschaftliche Fachgesellschaft darstellt, zwei Berufsverbänden (BDIZ EDI, BDO) und zwei wissenschaftlichen Fachgesellschaften (DGI, DGZI) (BDIZ EDI, 2021). Sondierungstiefen, Knochenverlust in mm und eine parodontologische Beteiligung ermöglichen eine Einordnung in vier Kategorien. Kategorie I stellt den Erfolg mit sehr guter Einheilung dar, Kategorie II einen zufriedenstellenden Erfolg, Kategorie III einen Kompromisserfolg und Kategorie IV ein Versagen (Tab. 2).

**Tab. 2:** Einteilung des Implantaterfolges des „International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference“. Der Erfolg wird in 4 Kategorien eingeteilt. Kategorie 1 ist ein optimaler Erfolg, Kategorie 2 stellt einen zufriedenstellenden Erfolg dar. Kategorie 3 ist ein Kompromisserfolg und Kategorie 4 ist ein Versagen des Implantates.

<b>Erfolgsgruppen</b>	<b>Klinische Bedingungen</b>
<b>I. Optimales Ergebnis</b>	Kein Schmerz oder Überempfindlichkeit in Funktion
	Keine Mobilität
	< 2 mm radiologisch messbarer Knochenverlust seit Insertion
	Keine parodontalen Entzündungszeichen seit Insertion
<b>II. Zufriedenstellender Erfolg</b>	Kein Schmerz in Funktion
	Keine Mobilität
	2-4 mm radiologisch messbarer Knochenverlust
	Keine parodontalen Entzündungszeichen seit Insertion
<b>III. Kompromisserfolg</b>	Mögliche Empfindlichkeit in Funktion
	Keine Mobilität
	> 4 mm radiologisch messbarer Knochenverlust (weniger als 50 % der Implantatlänge)
	Sondierungstiefe >7 mm
	Mögliche parodontalen Entzündungszeichen seit Insertion
<b>IV. Versagen</b>	Schmerz in Funktion
	Beweglichkeit
	Radiologisch messbarer Knochenverlust über 50 % der Implantatlänge)
	Parodontale Beschwerden (Pus, BOP)
	Nicht mehr in situ

### 1.7 Ziele und Fragestellung

Die hier vorgelegte Dissertation befasst sich mit 139 Implantaten, die mit einer transalveolären Sinusbodenaugmentation und simultaner Implantatinserion in den Jahren 2002 - 2013 in einer parodontologischen Privatpraxis eingebracht worden sind und in den Jahre 2019 - 2021 nachkontrolliert wurden. Primäres Ziel ist eine Aussage darüber zu treffen, ob die nachverfolgten Implantate, die seit 10 Jahren in situ sind, osseointegriert

sind. Das sekundäre Ziel ist es, anhand von röntgenologischen Auswertungen zu bestimmen, wie groß die vertikale Knochenhöhe (VKH) zum Zeitpunkt der Insertion und nach 10 Jahren ist. Daraus folgend soll bestimmt werden, ob und wieviel Knochenanbau bzw. -abbau periimplantär stattgefunden hat und dieses quantitativ bestimmt werden. Tertiäres Ziel ist es, eine Aussage über den Erfolg der Implantate zu treffen anhand von etablierten Kriterien und deren Erweiterung. Die Implantate wurden nach 10 Jahren reevaluiert und die Ergebnisse in einen aktuellen literarischen Kontext gesetzt. Dazu werden andere aktuelle Vergleichsstudien auf ihre Parameter und besonders den Unterschied zwischen Implantatüberleben und -erfolg geprüft, um nicht nur darzustellen, ob das jeweilige Implantat noch in Funktion ist, sondern auch eine Aussage über dessen funktionelle Qualität zu treffen. Es muss davon ausgegangen werden, dass verschiedene Parameter an der Überlebens- und Funktionsdauer und an der Funktionsqualität eines implantatgetragenen Zahnersatzes beteiligt sind. Zu deren Bewertung soll das Einhalten der vorgeschriebenen Kontrollen, Sondierungstiefen, Plaque- und Entzündungszustand, röntgenologischer Befund des Knochens und die Beweglichkeit des Implantats nachuntersucht werden.

Primäres Ziel war eine Aussage darüber zu treffen, ob die nachverfolgten Implantate, die mittels transalveolärer Sinusbodenaugmentation mit simultaner Implantatinsertion eingebracht worden waren, nach 10 Jahren osseointegriert oder verloren gegangen sind.

Das sekundäre Ziel war es, die vertikale Knochenhöhe (VKH) zum Zeitpunkt der Insertion und nach 10 Jahren anhand von röntgenologischen Auswertungen zu messen und den periimplantären Knochenumbau quantitativ zu bestimmen.

Tertiäres Ziel war es, eine Aussage über den Erfolg der Implantate zu treffen, indem etablierte Kriterien verglichen und anhand des aktuellen Konsensus hin überprüft werden.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Patientenauswahl und Datenerhebung**

Die hier untersuchten Daten wurden in der Privatpraxis für Parodontologie in Aachen (Praxisgemeinschaft Dr. med. dent. Frank Bröseler, Dr. med. dent. Christina Tietmann und Dr. med. dent. Sven Wenzel, Krefelder Str. 73, 52070 Aachen) im Zeitraum 2019-2021 erhoben. Anhand der elektronischen Datenbank der Praxis wurden diejenigen Patienten selektiert, die 2002 bis 2013 eine transalveoläre Sinusbodenaugmentation mit simultaner Implantatinserterion erhalten haben. Anschließend wurden alle Verluste erfasst und diejenigen Implantate gefiltert, die für die Fragestellung der Dissertation relevant sind.

Es wurden Implantate mittels transalveolärer Sinusbodenaugmentation mit simultaner Implantatinserterion im Oberkiefer inseriert in den Regionen 17–14 und 24–27. Die Implantatanzahl pro Patienten variierte von 1–4. Alle Patienten wurden von Herrn Dr. Bröseler oder Frau Dr. Tietmann operiert.

Zuerst wurde der Patient anhand eines Orthopantomogramms, DVT oder Zahnfilms über den Zustand seines Knochens und die verschiedenen individuellen Therapiemöglichkeiten, Risiken, Vor- und Nachteile sowie den Ablauf aufgeklärt. Anschließend wurde die vertikale Restknochenhöhe (VRH) bestimmt, um entscheiden zu können, in welchem Ausmaß ein interner Sinuslift durchzuführen ist und wieviel Knochenaufbaumaterial benötigt wird.

Bei den Implantaten wurden die Parameter Implantatlänge, Implantatsystem, ein Röntgenbild zum Zeitpunkt der Insertion, nach 5, 7,5 und 10 Jahren erfasst als auch die VKH zum Zeitpunkt der Insertion und nach 10 Jahren. Intraoperativ wurde das Auftreten einer MAV und die Verwendung von Bio-Oss®/ Bio Gide® dokumentiert. Nach 10 Jahren wurde erneut die VKH anhand von Röntgenbildern bestimmt und anhand der Patientenkartei der GI, die keratinisierte Gingiva, die Beweglichkeit, eine stattgefundene Mukositis oder Periimplantitis ausgewertet, die Zeit bis zur Freilegung mit der anschließenden Art der prothetischen Versorgung notiert als auch die Sondierungstiefen (ST) gemessen und schließlich die Erfolgseinteilung vorgenommen. Die Datenerhebung



und -auswertung wurde in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki und nach zustimmender Bewertung durch die zuständige Ethikkommission durchgeführt (Aktenzeichen: 2025-410-BO). Im Vorfeld gaben alle Patienten ihr Einverständnis, dass die routinemäßig erhobenen Daten anonym für Studienzwecke verwendet werden dürfen.

Die Inklusionskriterien für die Implantate, die eine transalveoläre Sinusbodenaugmentation mit simultaner Implantatinserterion erhielten, waren somit: eine oder mehrere zahnlose Regionen im posterioren Bereich der Maxilla bei erwachsenen Menschen, eine durchschnittliche vertikale Restknochenhöhe  $\geq 2,95$  mm und eine parodontale Gesundheit zum Zeitpunkt der Insertion. Patienten mit einer parodontalen Vorgeschichte, allgemeinen Erkrankungen (ASA 1-3) und Raucher wurden ebenso inkludiert. Bevor ein Implantat gesetzt wurde, wurde sichergestellt, dass sich alle Patienten in einem gesunden parodontalen Zustand nach erfolgreich abgeschlossener Parodontitis-Therapie befanden.

Ausschlusskriterien stellten anteriore Regionen der Maxilla dar, eine knöcherne Atrophie der vertikalen Restknochenhöhe von  $< 2,95$  mm oder ein PSI von  $> 1$ . Patienten mit akuten gesundheitlichen Problemen oder ASA 4-6 wurden ebenfalls ausgeschlossen.

Von den Patienten wurde folgende Daten erfasst: Alter, Geschlecht, Rauchverhalten, Parodontale Vorerkrankung, Compliance, die Gründe für ein Ausscheiden (dropout).

## 2.2 Durchführung

Der operative Ablauf gliederte sich wie folgt:

- Am OP-Tag: Prämedikation / Implantatinserterion / Nachbesprechung
- Am Folgetag der OP: Nachsorge / Wundheilungskontrolle
- An Folgetagen während der initialen Wundheilungsphase: Nachsorgen/ Nahtentfernung
- Spätkontrollen zu bestimmten, nach individuellen Anforderungen ggf. modifizierten Zeitpunkten
- Freilegung der Implantate nach Ablauf von mindestens 3 Monaten post-op.
- Abformung zur Herstellung der Suprakonstruktion nach ca. 28 Tagen nach Freilegung
- Eingliederung der Suprakonstruktion („Loading“, in der Regel reversibel zementiert)

- Follow-up in 3-Monats-Intervallen über 2 Jahre nach Loading
- Follow-up in 6-Monats-Intervallen bei physiologischen Verhältnissen
- Radiologische Überprüfung bei Zeitpunkt 1 Jahr post-loading, 2 Jahre post-loading, 5 Jahre post-loading

#### Prämedikation

- Dekontamination der Mundhöhle durch Entfernung weicher Beläge
- 1-minütige Mundspülung unter Anwendung einer antiseptisch wirkenden kommerziell erhältlichen Mundspüllösung (Curasept®-Lösung, Curaden, Deutschland; 0,20 % Chlorhexidindigluconat)
- Lokalanästhesie unter Verwendung eines Anästhetikums mit 1:100.000 Adrenalin (UDS-forte; enthaltend 40 mg Articainhydrochlorid und 0,012 mg Epinephrinhydrochlorid (Adrenalinhydrochlorid), SANOFI, Deutschland).

#### Vorbereitung im Eingriffsraum

- Aufbau/ Vorbereitung der erforderlichen Einrichtungen (Röntgen, Maschine mit Drehmomentkontrolle und Spülungseinrichtung für sterile NaCl-Lösung, OP-Patiententisch (BRUMABA, Deutschland)
- Entfernung nicht benötigten Materials/ Inventars aus dem Eingriffsraum
- Bereitstellung von Implantaten (gem. Planung) und Biomaterialien
- Abdeckung des Patienten, Desinfektion und sterile Kleidung des Operators und der assistierenden Personen

#### Chirurgischer Eingriff (Standardprotokoll)

- Auf dem Kieferkamm geführter Eröffnungsschnitt mit vertikalen Entlastungsschnitten mesial und distal der Insertionsregion (Bildung eines Mukoperiost-Volllappens)
- Pilotbohrung mit 2- mm-Pilotbohrer zur Bestimmung der Richtung und Angulation der Implantat-Insertion unter Verwendung einer laborgefertigten Insertionsschablone; Tiefe der Pilotbohrung bis zum radiologisch gemessenen kaudalen Septum des Kieferhöhlenbodens oder bis zur taktil wahrnehmbaren Kortikalis des Septums

- Gesicherte Insertion eines kalibrierten Messkörpers (2 x 10 mm) und radiologische Überprüfung der Pilotbohrung
- Evtl. weiteres Vorgehen mit Bohrer, ggf. Verwendung eines 3 mm-Vorbohrers
- Osteotomie mit 2 mm Osteotom (in Einzelfällen abweichend: 3 mm-Osteotom)
- Kontrolle MAV: durch das Valsalva-Manöver (Pstras et al., 2016) wurde kontrolliert, ob eine Mund-Antrum-Verbindung besteht oder nicht. War dies der Fall, wurde im nächsten Schritt vor Implantat-Insertion nicht nur Knochenersatzmaterial appliziert, sondern auch eine Membran Bio-Gide® (Geistlich, Baden-Baden, DE) und weitere Vorsichtsmaßnahmen getroffen, wie eine adjuvante AB-Gabe und spezielle postoperative Aufklärung über erforderliche Verhaltensregeln.
- Einbringen von Knochenersatzmaterial Bio-Oss® Collagen unter die angehobene Schneidersche Membran
- Kalibrierungsbohrung entsprechend der Herstellervorschriften und dem jeweiligen Implantat-Durchmesser
- Einbringen des Implantats (verschieden Systeme angewendet, jeweils Bone-level-Implantate) unter Drehmomentkontrolle (Primärstabilität bei ca. 25 Ncm)
- Röntgenkontrolle (digital) mit einem Zahnfilm in Rechtwinkeltechnik (Sidexis, Sirona, Bensheim, Deutschland)
- Reposition des mukoperiostalen Volllappens, Verwendung nicht resorbierbarer monofiler Naht

#### Postchirurgische Maßnahmen

- Verlassen des Eingriffsraums, Verweilen im Ruheraum
- Informationen an Patienten und Begleitperson/en: OP-Verlauf, Erfolg der OP, mögliche Änderungen der vorherigen Planung, Verhaltensregeln, evtl. erforderliche Medikation (Antiphlogistika; Antibiotika; Antiseptika)

#### Postoperative Nachsorge

- An Tag 1, Tag 4, Tag 8- 10, gemäß Planung und individuellen Erfordernissen
- Etwa eine Woche nach dem OP-Termin erfolgten die Wundkontrolle und Nahtentfernung.

Es wurden Implantate fünf verschiedener Anbieter verwendet: von Sirona Dentsply, Nobel Biocare, Straumann, Camlog und Endopore. Alle besitzen unterschiedliche Oberflächenstrukturen aus Titan. Als Oberflächenmodifikation dienen bei glatten Implantaten Mikroretentionselemente. Raue Oberflächen hingegen können subtraktiv durch Ätzung, Sandstrahlung, eine SLA® oder SLActive®-Anwendung erreicht werden. Additiv dienen Titanplasmabeschichtungen und Hydroxylapatitbeschichtung. Bei der makromechanischen Verankerung kann man einen parallelwandigen und einen konischen Aufbau unterscheiden.



**Abb. 5:** Verwendete Implantatsysteme. Von links nach rechts: Astra Tech-System (Dentsply Sirona, Bensheim, DE), Brånemark-System (Nobel Biocare, Köln, DE), Endopore®-Implantate (Sybron Implant Solutions GmbH, Bremen, DE), Roxolid® SLActive® Implantate (Straumann AG, Basel, Schweiz), CONELOG®-Implantate (Camlog Biotechnologies AG, Basel, Schweiz). Quellen: [www.dentsplysirona.com](http://www.dentsplysirona.com), [www.nobelbiocare.com](http://www.nobelbiocare.com), [www.spotimplant.com/de/](http://www.spotimplant.com/de/), [www.straumann.com](http://www.straumann.com), [www.camlog.de](http://www.camlog.de)

Das Astra Tech-System (Dentsply Sirona, Bensheim, DE) beinhaltet die Produktreihe Osseospeed. Es besteht wie die anderen Systeme aus Titan. Es hat einen konischen Aufbau und eine Oberflächenbearbeitung mit bestrahltem TiO<sub>2</sub> und Fluoridmodifizierung. Die Innenverbindung ist konisch und mit einem Sechskant-Rotationsschutz versehen. Das Brånemark-System (Nobel Biocare, Köln, DE) besteht ebenfalls aus Titan und besitzt einen parallelwandigen Aufbau. Es besitzt eine TiUnite®-Oberfläche, die in einem elektrolytischen Verfahren hergestellt wird und die Oberfläche des Implantats so vergrößern soll. Die Endopore®-Implantate (Sybron Implant Solutions GmbH, Bremen,

DE) verfügen über ein kegelstumpffartiges Design mit einer porösen Oberfläche zur Oberflächenerweiterung, welches sich aus der Orthopädie ableitet. Die Roxolid® SLActive® Implantate (Straumann AG, Basel, Schweiz) bestehen aus einer Zusammensetzung aus Titan und Zirkonium, das sogenannte Roxolid®. Sie sind mit einer SLActive®-Oberfläche versehen, die durch eine Sandstrahlung der Titanoberfläche mit anschließender Säureätzung eine erhöhte Makrorauigkeit erzielen soll, zur optimierten Osseointegration (Utz, 2021). Die CONELOG®-Implantate (Camlog Biotechnologies AG, Basel, Schweiz) besitzen eine Tube-in-Tube® Implantat-Abutment-Verbindung, die durch ein geometrisches Nuten-Nocken-Prinzip die Kraft- und Momentverteilung verbessern soll.

### 2.3 Unterstützende Therapie (Recall) und Parameter

Nach der Implantatinserterion, bzw. bis zur Eingliederung der implantatgetragenen Suprakonstruktion wurden die Patienten nach einem festgelegten Protokoll systematisch betreut. Vor Eingliederung wurde der Sitz des Zahnersatzes klinisch überprüft. Nach Fixierung der Suprakonstruktion mit reversiblen Zement ImProv™ (Dentegris GmbH, Monheim am Rhein, DE) wurde zur Feststellung der Entfernung jeglicher Zementüberschüsse eine Kontroll-Röntgenaufnahme durchgeführt (3 × 4 cm single tooth F-speed films, Kodak, DE; Entwicklung mit Dürr Periomat plus oder Dürr XR24 Entwickler, Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen, Germany).

Nach Eingliederung des Zahnersatzes wurden die Patienten in eine systematische Implantat-Nachsorge eingebunden. Die ersten 2 Jahre wurden sie alle 3 Monate einbestellt und danach bei Beschwerdefreiheit und Befunden der Kl. I gemäß der Pisa Konsensuskonferenz alle 6 Monate (Tab. 2). Zur Früherkennung einer Mukositis oder Periimplantitis erfolgte eine röntgenologische Kontrolle nach 5, 7,5 und 10 Jahren. Außerdem wurden bei jedem Recall-Besuch die Sondierungstiefen, der PI und GI erfasst und protokolliert. Diese systematische Nachsorge erhielten gesunde Patienten als auch Patienten mit einer Parodontitis-Historie. Allerdings wurde bei Patienten mit parodontalpathologischen Befunden das Intervall der unterstützenden Therapie individuell angepasst. Die Messung der Sondierungstiefen (ST) erfolgte an vier Stellen des Implantats (mesial, vestibulär, distal, oral); der Gingivaindex (GI) wurde nach Silness

und Loe mit einer Einteilung von 0 – 3 erhoben (Silness und Loe, 1964) und es wurde auf mögliche Beweglichkeit des Implantates untersucht. Außerdem wurden die Patienten in der individuellen Mundhygiene reinstruiert bzw. remotiviert. Je nach angeratenem Recallintervall wurden sie nach den Kriterien von Franke et al. (2015) in ihre Zuverlässigkeit (Compliance) eingeteilt (Franke et al., 2015). Eine Periimplantitis wurde definiert anhand eines radiologisch nachweisbaren Knochenabbaus, Sondierungstiefen von > 5 mm und eines Gingiva-Index von > 2, einhergehend mit einem erhöhten Plaque-Index > 0.

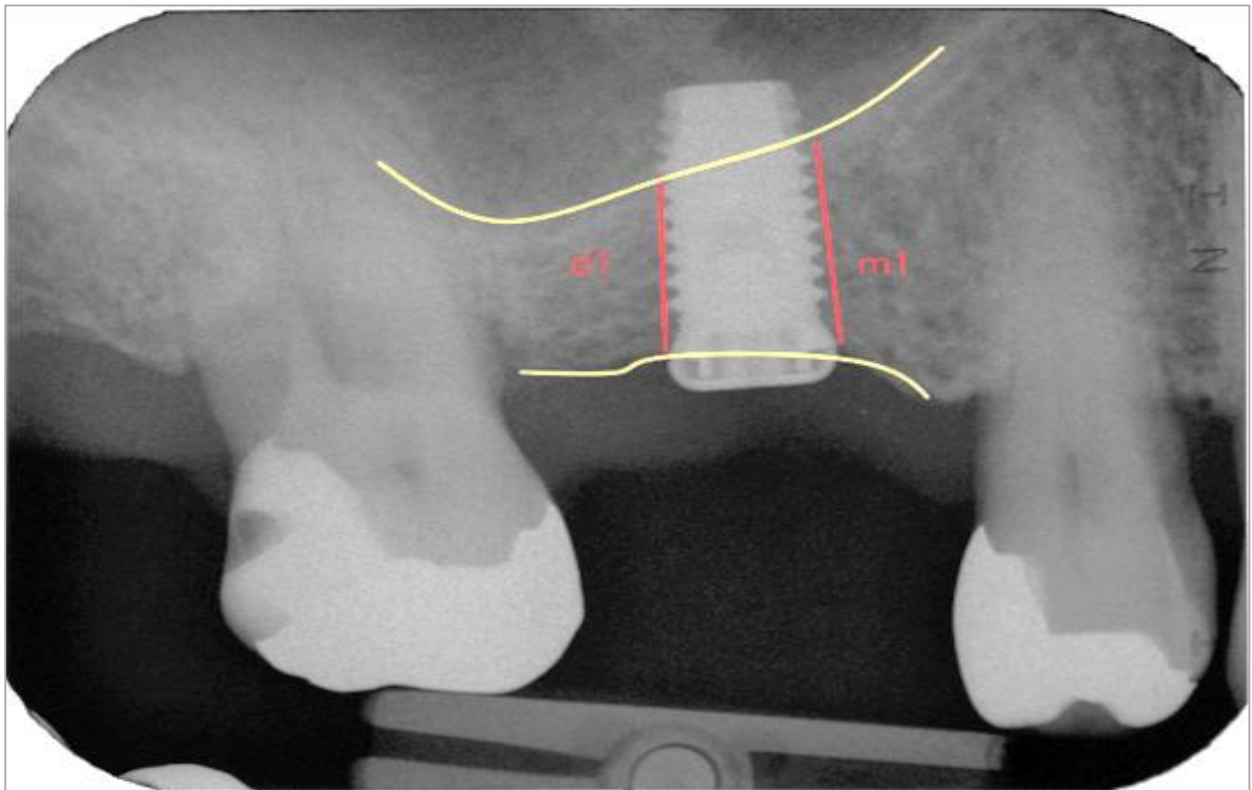
**Tab. 3:** Beispiel Dokumentation. Recall von IMPL #16, PPD= Probing Pocket Depths (engl. Sondierungstiefen), kerat. = keratinisiert, n.e.= nicht erhoben

Zeit [Monate]	Datum	Plaque-Index	Gingiva-Index	PPD	kerat. Gingiva	Stabilität
5	09.12.2008	0	0	n.e.		100%
8	09.03.2009	0	0	2222		100%
11	30.06.2009	0	0	2222		100%
14	28.09.2009	0	0	2222		
18	07.01.2010	1	0	n.e.		100%
24	08.07.2010	0	0	1111		100%
27	04.10.2010	0	0	1111		100%
30	17.01.2011	0	0	1111		100%
34	18.05.2011	0	0	3332	4mm	100%
36	14.07.2011	0	0	1114		100%
39	04.10.2011	n.e.	n.e.	2222	5mm	100%
45	26.04.2012	0	0	2222		100%
48	31.07.2012	0	0	2122		100%
54	29.01.2013	0	0	2222		100%
57	18.04.2013	0	0	2111		100%
69	07.04.2014	0	0	3232	4mm	100%
81	14.04.2015	0	0	3222	5mm	100%
88	02.11.2015	0	0	2232	4mm	100%
93	28.04.2016	0	0	2222	4mm	100%
100	10.11.2016	1	0	3333	4mm	100%
105	04.04.2017	0	0	2222	4mm	100%
110	26.09.2017	0	0	2322		100%
117	10.04.2018	0	0	2232	4mm	100%
123	23.10.2018	0	0	3132	4mm	100%
130	07.05.2019	0	0	3232	4mm	100%

## 2.4 Röntgenologische Auswertung

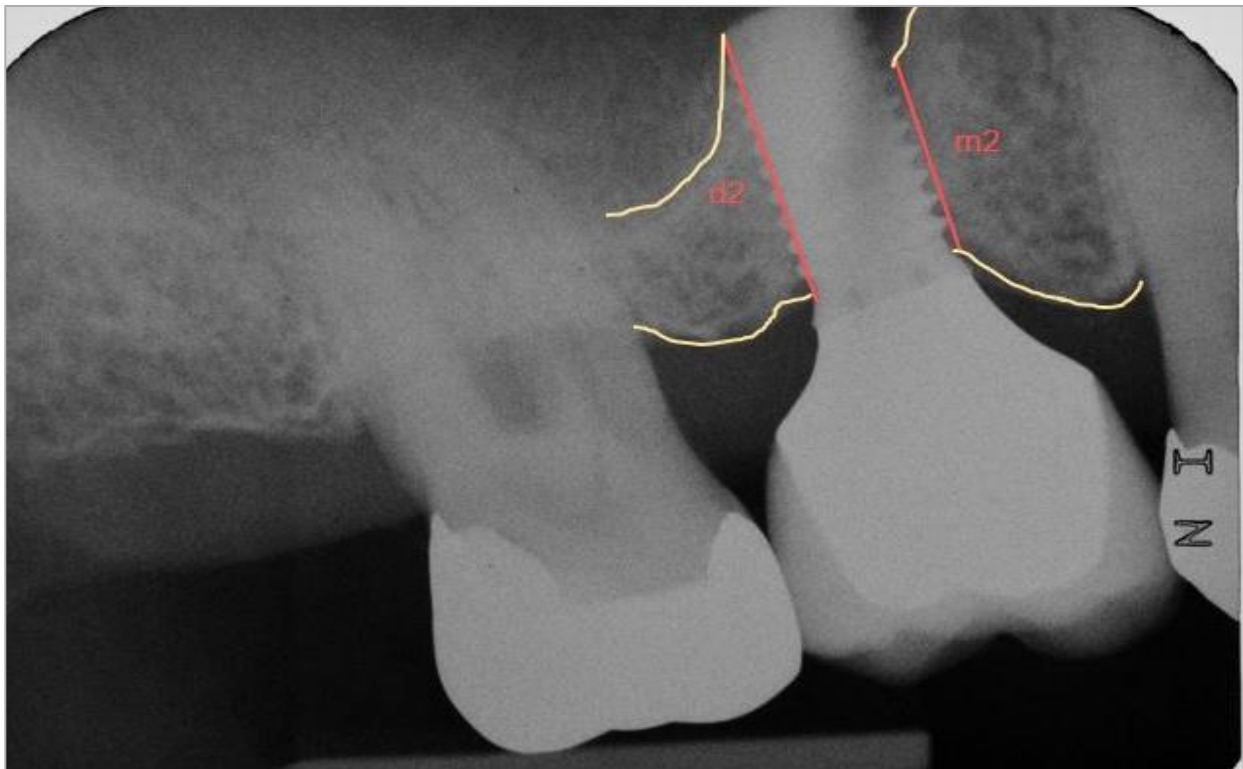
Die Vermessung und Auswertung der Röntgenbilder wurden von der Doktorandin vorgenommen. Jedes Röntgenbild wurde dafür mit einer Fotokamera (NIKON D40, Fa, Nikon, Japan; Objektiv Sigma MACRO EM-140 DG-Makro/ Ringblitz, EM-140 DG NA -

iTTL) auf einem Röntgenbetrachter abfotografiert und digitalisiert. Anschließend wurde es mit dem Bildbearbeitungsprogramm Picasa® (Google Ireland Limited) in schwarz-weiß überführt, zentriert und zugeschnitten. Anhand der bekannten Implantatlänge wurde die Knochenhöhe zum Zeitpunkt der Insertion und nach 10 Jahren mittels ImageJ® (Schneider, C. A.; Rasband, W. S. & Eliceiri, K. W., public domain) ausgewertet. Es wurde stets die krestale Knochenhöhe mesial und distal bis zur knöchernen Begrenzung des Sinus Maxillaris gemessen und der Mittelwert gebildet (Abb. 6).



**Abb. 6:** Ermittlung der Knochenhöhe zum Zeitpunkt der Implantatinserktion: Vermessen der mesialen (m1) und distalen (d1) vertikalen Höhe des Knochens im Oberkiefer mittels ImageJ®. Der Kieferhöhlenboden und der krestale Knochenverlauf sind gelb markiert. Es wurde jeweils der Mittelwert gebildet, um das Anfangsknochenangebot in die Risikogruppen A, B, C einzuteilen.

Die Anfangshöhe wurde dabei in drei Gruppen unterteilt: A  $\leq 3,5$  mm hohes Risiko, B  $\leq 5,5$  mm mittleres Risiko und C  $> 5,5$  mm geringes Risiko. Nach 10 Jahren wurden die Knochenhöhe von krestal bis zum Apex des Implantates, bzw. dem Knochen zum Implantatkontakt (KIK) gemessen, da sich Knochen oberhalb des Apex meistens nicht anlagert (Schmidlin et al., 2008) (Abb. 7).



**Abb. 7:** Vermessung der Knochenhöhe nach 10 Jahren. Mittelwert aus den Messpunkten m2 und d2 vom krestalen Knochenverlauf bis zum Apex des Implantats (d2), bzw. dem Knochen-Implantat-Kontakt (KIK) (m2).

## 2.5 Statistische Auswertung

Mit dem Statistikprogramm R® (Mentorium GmbH, Berlin, DE) wurde die Datenauswertung anhand der Kaplan-Meier Kurve, der Cox Regression und t-Test durchgeführt.

Die Kaplan-Meier Kurve ist eine Stufenfunktion, die die wahrscheinliche kumulative Überlebensrate über die Zeit angibt. Horizontale Abschnitte signalisieren kein Ereignis und vertikale Einschnitte eine Veränderung im Überleben zu einer bestimmten Zeit (Kaplan und Meier, 1958). Die Überlebenswahrscheinlichkeit zu der Zeit  $t_i$ ,  $S(t_i)$  berechnet sich wie folgt:

$$S(t_i) = S(t_{i-1}) \times \left(1 - \frac{d_i}{n_i}\right)$$

wobei,

- $S(t_{i-1})$  = die Wahrscheinlichkeit zu überleben zum Zeitpunkt  $t_{i-1}$
- $n_i$  = Nummer der Implantate überlebend vor  $t_i$



- $d_i$  = Anzahl der Ereignisse zum Zeitpunkt  $t_i$
- $t_0 = 0, S(0) = 1$ .

Die geschätzte Wahrscheinlichkeit ( $S(t)$ ) ändert sich nur bei einem Ereignis (z. B. Verlust). Somit gibt die Kaplan-Meier Kurve eine gute Zusammenfassung der Daten wieder und kann eine Einschätzung über die mediane Überlebenszeit geben. Implantate, die nicht bis zum Ende der Nachverfolgungszeit präsent blieben, sondern durch dropout oder Tod der Patienten ausschieden, werden rechts-zensiert und bis zu ihrem letzten Erscheinungsdatum in der Statistik berücksichtigt, um die Ergebnisse nicht zu verzerren durch gelöschte Beobachtungen oder mit fehlenden Werten gleichzusetzen.

Die Cox PH Regression bewertet kategoriale und metrische unabhängige Variablen und kann diese Effekte in einem Model darstellen (Cox, 1972). Somit wird geprüft, ob für die Überlebensrate eine Abhängigkeit von der initialen vertikalen Knochenhöhe (VKH) oder Compliance besteht:

$$h(t; z_i) = h_0(t) \exp(z_i \beta)$$

wobei,

- $h_0$  = unbekannte Harzardfunktion
- $\beta$  = unbekannter Parameter.

Die statistische Signifikanz wird über den p-Wert festgelegt. Liegt er unter 0,05 (> 5 %) besteht eine statistische Signifikanz. Dieses kann durch eine Kaplan-Meier-Kurve veranschaulicht werden.

Um zu verifizieren, ob die VKH nach 10 Jahren zu- oder abnimmt, wird ein t-Test durchgeführt. Bei dem t-Test unterscheidet man zwischen:

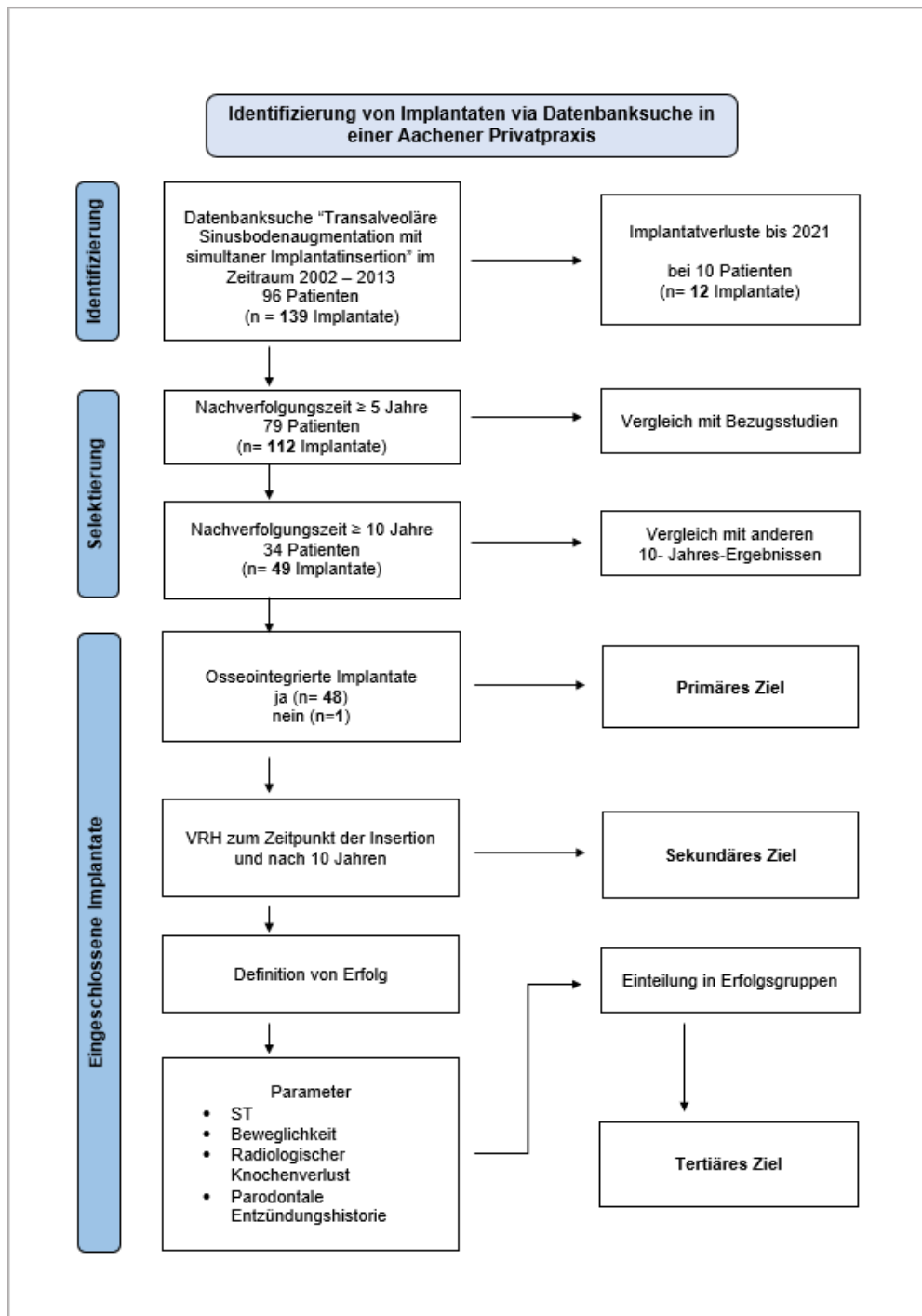
- Einstichproben-t-Test (Einfacher t-Test; engl. one-sample t-test),
- Zweistichproben-t-Test (Doppelter t-Test; engl. two-sample t-test) und
- Abhängigen t-Test (Paardifferenzentest; engl. paired t-test).

Um die Differenz der VKH zum Zeitpunkt der Insertion mit der nach 10 Jahren zu vergleichen wird der Abhängige t-Test durchgeführt. Er prüft für zwei verbundene Stichproben, ob sich die mittlere Differenz der Messwerte unterscheidet. Die Differenzen müssen normalverteilt sein.

### 3. Ergebnisse

Die hier ausgewerteten Daten wurden in der Privatpraxis für Parodontologie in Aachen (Praxisgemeinschaft Dr. med. dent. Frank Bröseler, Dr. med. dent. Christina Tietmann und Dr. med. dent. Sven Wenzel, Krefelder Str. 73, 52070 Aachen) im Zeitraum 2019-2021 erhoben. Hierzu wurden anhand der elektronischen Datenbank der Praxis diejenigen Patienten selektiert, die 2002 bis 2013 eine transalveoläre Sinusbodenaugmentation mit simultaner Implantatinserterion erhalten haben. Anschließend wurden alle Verluste erfasst und diejenigen Implantate gefiltert, die für die Fragestellung der Dissertation relevant sind. In Abb. 8 ist der Selektionsvorgang dargestellt: Es wurden in diesem Zeitraum insgesamt 96 Patienten mit 139 Implantaten identifiziert. 79 Patienten mit 112 Implantaten nahmen an einer 5-Jahresuntersuchung teil. Nach 10 Jahren konnten 34 Patienten nachkontrolliert werden, die 49 Implantate in situ aufwiesen. Die Daten dieses Kollektivs werden mit den 10-Jahres-Ergebnissen in der aktuellen Literatur verglichen.

Das primäre Ziel war es herauszufinden, wie viele von diesen 49 Implantaten nach 10 Jahren klinisch und röntgenologisch osseointegriert waren. Für das sekundäre Ziel der vorliegenden Arbeit wurde die Veränderung der vertikalen Knochenhöhe anhand der Röntgenbilder ausgewertet. Dafür wurde die Literatur auf aktuelle Erfolgsdefinitionen hin untersucht und vergleichbare Parameter ermittelt, um die Erfolgsdefinition vergleichbar zu machen. Das tertiäre Ziel dieser Dissertation war nicht nur das Implantatüberleben, sondern auch den Implantaterfolg anhand etablierter Kriterien zu bewerten.

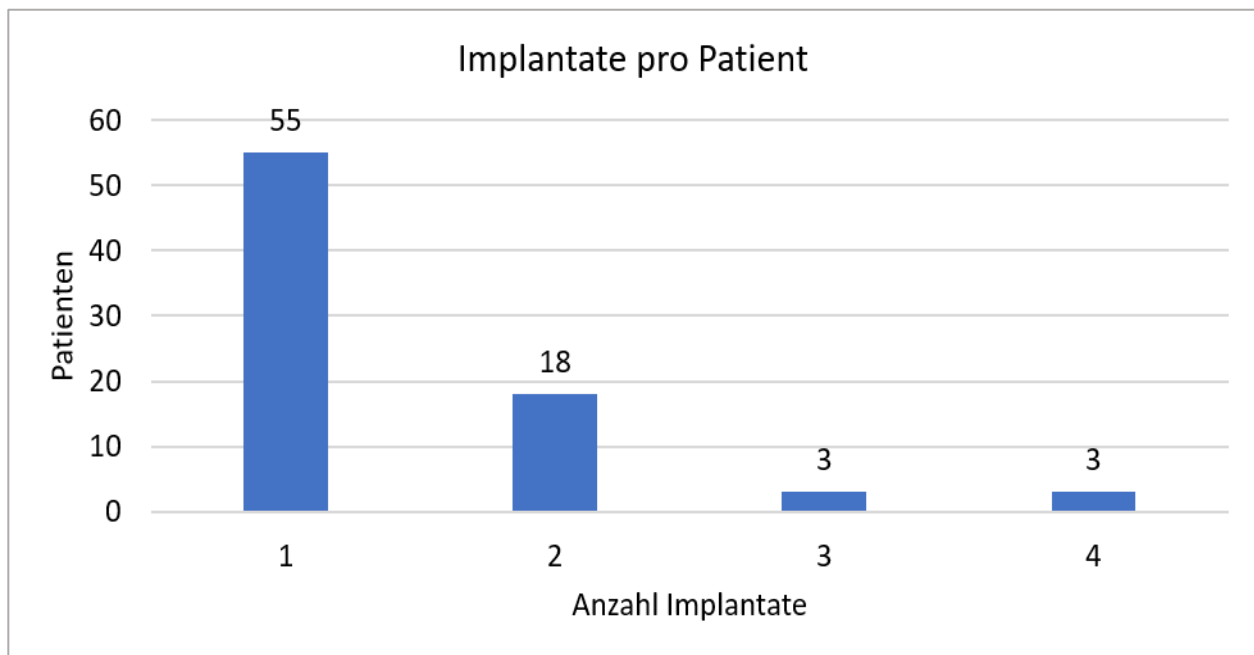


**Abb. 8:** Flussdiagramm zur Darstellung der nachverfolgten Implantate. In der Datenbank der Aachener Privatpraxis wurden in den Jahren 2002 - 2013 bei 79 Patienten 139 Implantate mittels transalveolärer Sinusbodenaugmentation inseriert. Bis 2021 gingen hiervon 12 verloren. Nach 5 Jahren waren noch 79 Patienten mit 112 Implantaten nachzuverfolgen, deren Ergebnisse mit den 5-Jahres-Resultaten anderer Studien verglichen werden konnten. Nach 10 Jahren waren es 34 Patienten mit 49 Implantaten, die nachuntersucht werden konnten. Für diese wurden die Überlebensrate (primäres Ziel), die Veränderung der vertikalen periimplantären Knochenhöhe (sekundäres Ziel) und der Implantaterfolg (tertiäres Ziel) ermittelt.

### 3.1 5-Jahres-Ergebnisse

Von den initial 96 Patienten konnten nach 5 Jahren 79 Patienten mit 112 Implantaten nachverfolgt werden, die eine transalveoläre Sinusbodenaugmentation mit simultanen Sinuslift erhalten hatten ( $\bar{x}$  = 1,42 Implantate/ Patient, 1 - 4 Implantate/ Patient). Bei 24 Patienten waren zwei oder mehr Implantate mittels Summers-Technik inseriert worden (Abb. 9).

Bei 39 Frauen waren 52 Implantate und bei 40 Männern 60 Implantate eingebracht worden. Die Implantatlänge lag zwischen 6,0 und 11,5 mm ( $\bar{x}$  = 9,28 mm). Bei 55 Patienten wurde ein Implantat inseriert, bei 18 Patienten 2 Implantate und bei jeweils 3 Patienten 3 bzw. 4 Implantate. Von den Osseospeed™-Implantaten wurden 58 Stück inseriert, von den Brånemark-Implantaten 48, 2 von dem Roxolid® SLActive®-System (Straumann®) und jeweils 2 Implantate der Systeme Endopore® und CONELOG®. Die Patienten waren zum Zeitpunkt der Insertion zwischen 22 und 78 Jahre (im Mittel 55,21 Jahre) alt.



**Abb. 9:** Verteilung der Implantate pro Patienten. Bei 55 Patienten wurde ein Implantat inseriert, bei 18 Patienten 2 Implantate und bei jeweils 3 Patienten wurden 3 bzw. 4 Implantate eingebracht.

Während der OP wurde bei 104 Implantaten, zusätzlich zu den entnommenen Knochenspänen der Bohrung, Bio-Oss® eingebracht und nach apikal hin kondensiert. Bei 49 von diesen Implantaten wurde in Kombination Bio-Gide® angewendet. Als intraoperative Komplikation trat bei 22 Implantaten (19,64 %) eine MAV auf, die entweder das zusätzliche Einbringen von Bio-Gide® (n= 13 Implantate) erforderte oder als so klein diagnostiziert wurde, dass sie keiner weiteren Therapie bedarf außer der post-operativen Kontrolle.

Zur Übergangsversorgung bis zur Freilegung dienten Langzeitprovisorien, Platzhalterschienen, Interimsprothesen oder die alten Prothesen wurden angepasst und verwendet. Nachdem die Implantate freigelegt waren, wurden sie im Schnitt nach ca. 73 Tagen (19 – 377 Tagen) mit einer Suprakonstruktion versorgt. Ein Implantat Regio 27 #102 wurde nicht freigelegt und gilt als „sleeping“ (engl. schlafend) (Abb. 10). Als finaler Zahnersatz wurden Kronen aus Zirkon oder Kronen mit Metallgerüst und Verblendung gewählt (n= 106), Brücken (N= 3), Brücken mit Anhänger (n= 2) oder Prothesen (N= 1).

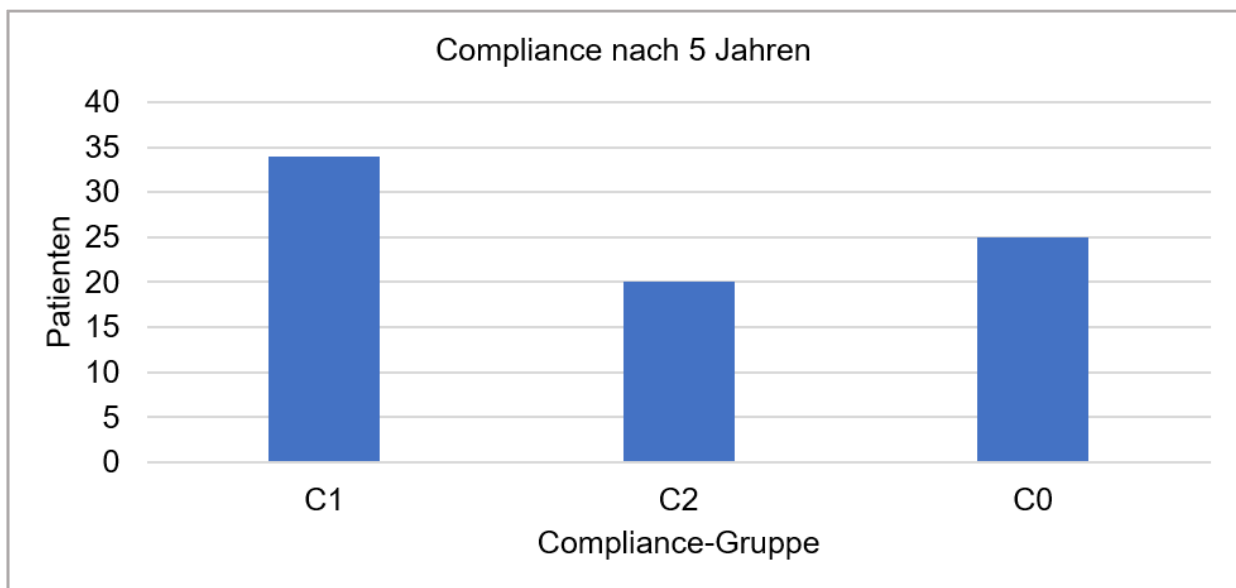


**Abb. 10:** Implantat #102. Zum Zeitpunkt der Insertion (links) in Regio 27 und nach 3,5 Jahren (rechts). Es gilt als „sleeping“ (engl. schlafend), da es inseriert aber (noch) nicht mit einer Suprakonstruktion versorgt wurde.

17 Patienten mit insgesamt 23 Implantaten waren Raucher (21,52). Eine Parodontitis-Vorgeschichte lag bei 65 Patienten (82,28 %) mit 98 Implantaten vor.

Nach Franke et al. (2015) wurden die Patienten nach ihrer Compliance bezüglich der angeratenen Recall-Termine in drei Gruppen unterteilt: C1, C2 und C0. Die Verteilung

stellt sich wie folgt dar: C1= 34 Patienten (47 Implantate), C2= 20 Patienten (35 Implantate) und C0= 25 Patienten (30 Implantate) (Abb. 11). Demnach sind 34 Patienten (43,0 %) des untersuchten Kollektivs konsequent zum angeratenen UPT-Intervall gekommen und 20 Patienten (25,3 %) haben die meisten aber nicht alle ihrer angeratenen Termine eingehalten, wobei sie jedoch nicht mehr als ein Jahr nicht erschienen sind. 25 Patienten (31,6 %) haben mehr als zwei aufeinanderfolgende Termine nicht eingehalten oder sind mehr als ein Jahr nicht zur UPT erschienen.



**Abb. 11:** Compliance der Patienten bei der 5 Jahres-Nachverfolgung. Die 79 nachverfolgten Patienten lassen sich wie folgt einteilen: 34 Patienten in der C1-Gruppe, 20 Patienten in der C2-Gruppe und 25 Patienten in der C0-Gruppe. C1= Pat. erschien konsequent zum angeratenen UPT-Intervall, C2= Pat. hat überwiegend aber nicht alle der angeratenen Termine eingehalten, wobei die Person jedoch nicht mehr als ein Jahr nicht erschienen ist, C0= Pat. hat mehr als zwei aufeinanderfolgende Termine nicht eingehalten oder ist mehr als ein Jahr nicht zur UPT erschienen.

### 3.1.1 Überlebensrate



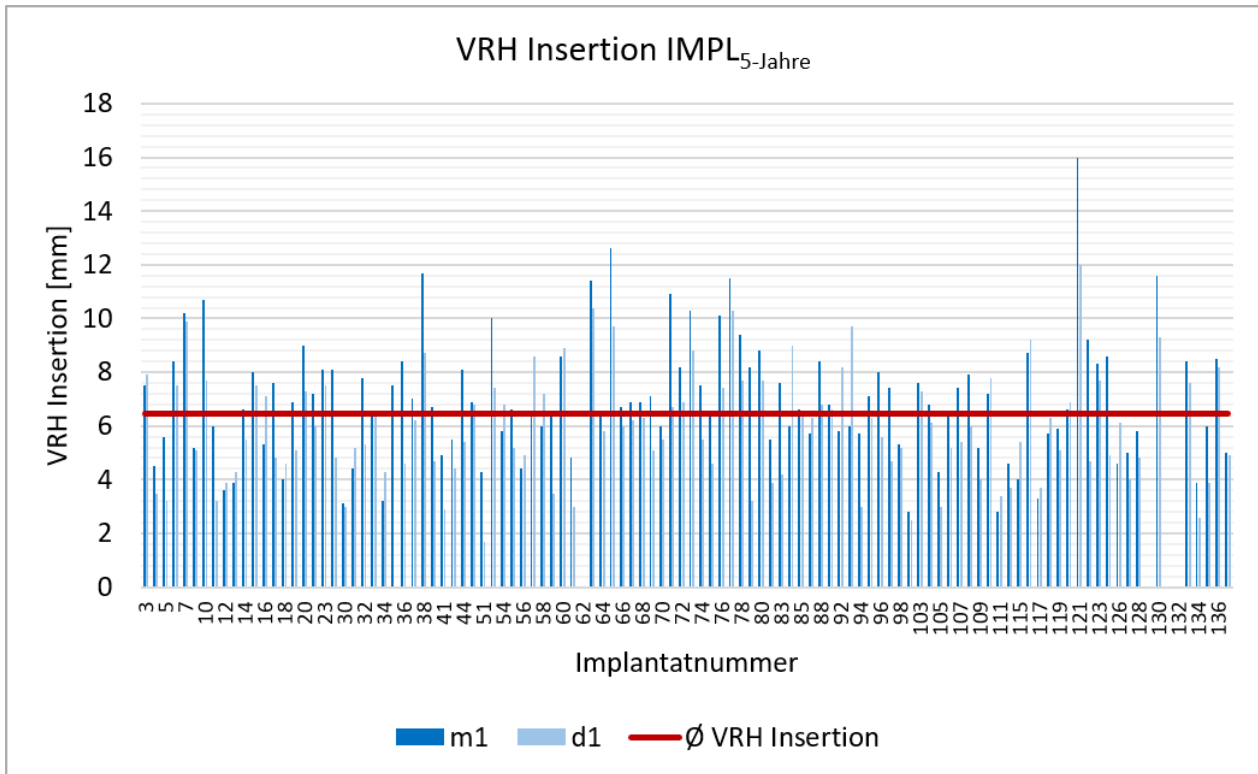
**Abb. 12:** Kaplan-Meier Kurve aller nachverfolgten 139 Implantate. Die statistische Auswertung der Überlebensrate mittels einer Kaplan-Meier Kurve ergibt eine Nachverfolgungszeit von bis zu 6187 Tagen (ca. 17 Jahren) für das am längsten sich in situ befindliche Implantat. Die vertikalen Einbrüche markieren die 12 Implantatverluste über die Zeit und die Kreuze jeweils einen dropout (Pat., der nicht mehr erschienen ist). Die Implantatverluste ereigneten sich im Mittelwert nach 1458 Tagen (ca. 4 Jahren). Der helle Bereich um die Kurve markiert die Konfidenzintervalle. Nach 1826 Tagen (5 Jahren) liegt die Überlebensrate bei  $94 \pm 2\%$ . Die statistische Analyse wurde mittels RStudio® erstellt.

Nach 5 Jahren (1826 Tagen) liegt die Überlebensrate bei  $94 \pm 2\%$  mit einem Konfidenzintervall von  $90,1 - 98,1\%$ . Zu diesem Zeitpunkt wurden 112 Implantate nachverfolgt und 9 Implantate sind bis dahin verloren gegangen (Abb. 12, Anhang 1). Gründe hierfür waren eine Periimplantitis, keine erfolgreiche Osseointegration, Rauchen und die Entwicklung einer chronischen Sinusitis nach vorangegangener MAV.



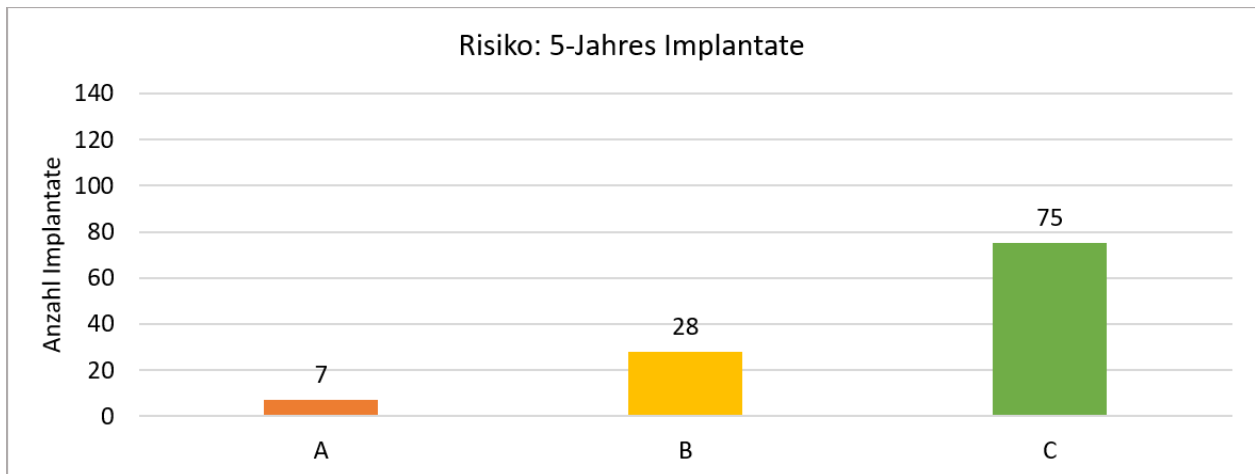
Der dropout (Patienten, die zum Recall wegen diverser Gründe nicht mehr erschienen sind oder einen Implantatverlust aufwiesen) lag bei 11 Patienten (11,46 %, n= 25 IMPL).

### 3.1.2 Verlauf der vertikalen Knochenhöhe



**Abb. 13:** Vertikale Restknochenhöhe bei Insertion der IMPL<sub>5-Jahre</sub>. Es konnten 112 Implantate nach 5 Jahren nachverfolgt werden. Zum Zeitpunkt der Insertion wurde anhand von Röntgenbildern die vertikale Restknochenhöhe in Millimeter bestimmt. Hierzu wurde die mesiale (m1) und distale (d1) Seite vermessen (mesial=  $6,99 \pm 2,29$  mm, distal=  $5,96 \pm 2,03$  mm). Der rote Balken zeigt die durchschnittlich vertikale Restknochenhöhe zum Zeitpunkt der Insertion an. Diese liegt bei  $6,47 \pm 2,01$  mm.

Bei der Gruppe mit den Patienten, die nach 5 Jahre zur Nachkontrolle erschienen, lag die vertikale Restknochenhöhe zum Zeitpunkt der Implantatinserion im Röntgenbild durchschnittlich bei  $6,47 \pm 2,01$  mm (mesial=  $6,99 \pm 2,29$  mm, distal=  $5,96 \pm 2,03$  mm) (Abb. 13). Bei 5 Implantaten konnte der Apex des Implantates bzw. der Sinusboden röntgenologisch nicht beurteilt werden. Die Einteilung in die 3 Risikogruppen anhand der vertikalen Restknochenhöhe für die Implantate stellt sich wie dar: 7 Implantate in Gruppe A, 28 Implantate in Gruppe B, 75 Implantate in Gruppe C.



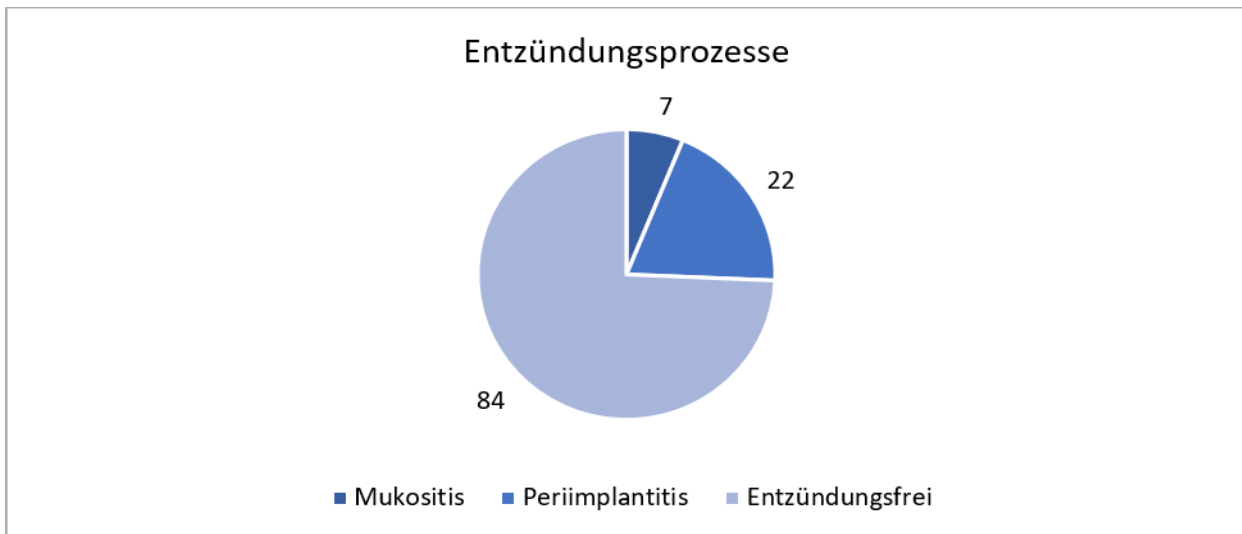
**Abb. 14** Risikoverteilung der Implantate anhand der VRH. Anhand der gemessenen VRH zum Insertionszeitpunkt, wurden die Implantate in 3 Risikogruppen (A-C) eingeteilt: Gruppe A= Knochenhöhe von  $\leq 3,5$  mm, Gruppe B= VRH zwischen 3,6 und 5,5 mm und Gruppe C= VRH über 5,5 mm. Es ergab sich eine Risikoverteilung von 7 Implantaten in Gruppe A, 28 Implantate in Gruppe B und 75 Implantate in Gruppe C.

### 3.1.3 Erfolgsrate

Für die 5 Jahres-Ergebnisse wurden folgende Parameter für die Erfolgseinteilung ausgewertet:

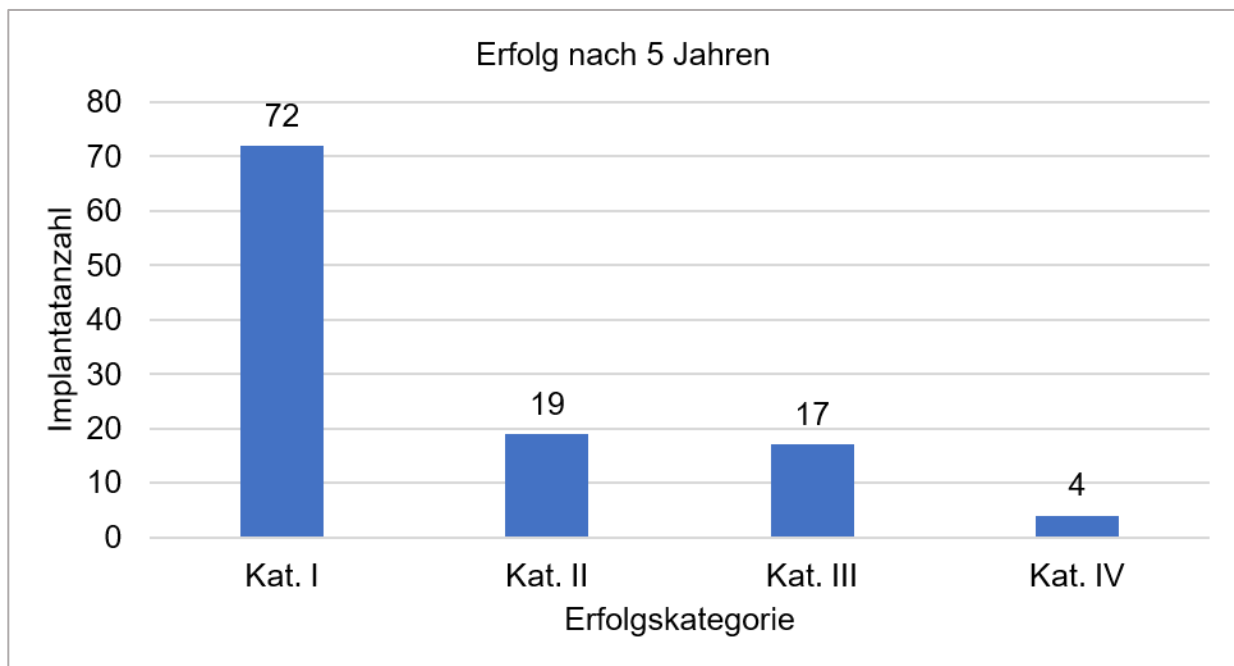
- Die initiale VRH mit Risikoeinteilung
- Auftreten einer Periimplantitis/ Mukositis
- Röntgenologische Betrachtung
- Blutung
- Beweglichkeit

Innerhalb der 5 Jahre entwickelten sich an den 112 Implantaten periimplantäre Entzündungen: Mukositis an 7 Implantaten (6,25 %), Periimplantitis an 22 Implantaten (19,64 %), die mit interzeptiven Periimplantitistherapien (PIT) und Mundschleimhautbehandlungen behandelt wurden (Abb. 15).



**Abb. 15:** Entzündungsprozesse innerhalb von 5 Jahren. Es entwickelte sich an 7 Implantaten eine Mukositis und an 22 Implantaten eine Periimplantitis, die mit interzeptiven Periimplantitistherapien (PIT) und Mundschleimhautbehandlungen behandelt wurden. 84 Implantate blieben entzündungsfrei.

Es wurden die Implantate anhand erhobener Parameter wie Sondierungstiefen, röntgenologischer Auswertung, Blutung, Beweglichkeit und Auftreten einer Mukositis/ Periimplantitis in die Erfolgskategorien nach Misch et al. eingestuft. 72 Implantate konnten mit optimalem Erfolg in Kategorie I eingestuft werden und 19 Implantate mit zufriedenstellendem Erfolg in Kategorie II. 17 Implantate wurden zur Kategorie III gezählt, welches einen Erfolg mit Kompromiss darstellt und 4 zur Kategorie IV (Versagen) (Abb. 16).

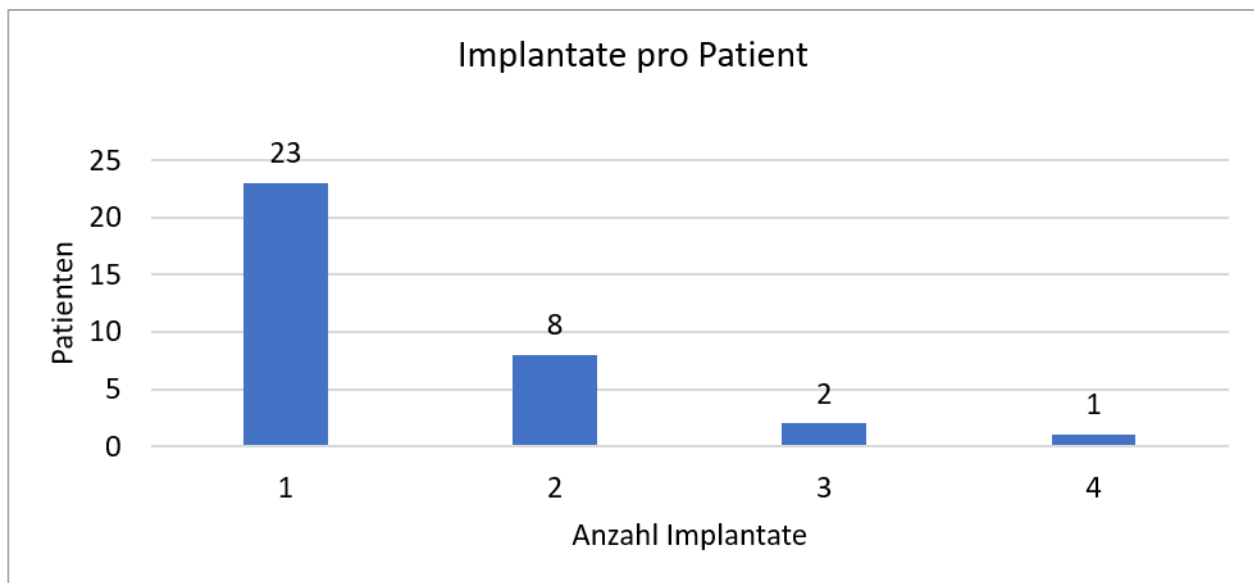


**Abb. 16:** Erfolgreiseinteilung nach 5 Jahren. Bei den Patienten, die zur 5-Jahres Nachkontrolle erschienen sind, wurden die Implantate anhand erhobener Parameter wie Sondierungstiefen, röntgenologischer Auswertung, Blutung, Beweglichkeit und Auftreten einer Mukositis/ Periimplantitis in die Erfolgskategorien nach Misch et al. eingestuft. 72 Implantate konnten mit optimalem Erfolg in Kategorie I eingestuft werden und 19 Implantate mit zufriedenstellendem Erfolg in Kategorie II. 17 Implantate wurden zur Kategorie III gezählt, welches einen Erfolg mit Kompromiss darstellt und 4 zur Kategorie IV (Versagen).

### 3.2 10-Jahres-Ergebnisse

Nach 10 Jahren konnten von den 96 Patienten noch 34 Patienten mit 49 Implantaten nachverfolgt werden, die eine transalveoläre Sinusbodenaugmentation mit simultanen Sinuslift erhalten hatten ( $\bar{X}$  = 1,44 Implantate/ Patient, 1 - 4 Implantate/ Patient). Bei 11 Patienten wurden zwei oder mehr Implantate mittels Summers-Technik inseriert (Abb. 17). 23 Implantate wurden bei 17 Frauen und 26 Implantate bei 17 Männern eingebracht. Die Implantatlänge lag zwischen 7,0 und 11,5 mm ( $\bar{X}$  = 9,44 mm). Von den Osseospeed™-Implantaten wurden 6 Stück inseriert, von den Brånemark-Implantaten 42 und ein Implantat des Systems Endopore®. Die Patienten waren zum Zeitpunkt der Insertion zwischen 22 und 78 Jahre alt, im Mittel waren sie 58 Jahre alt (Anhang 2).

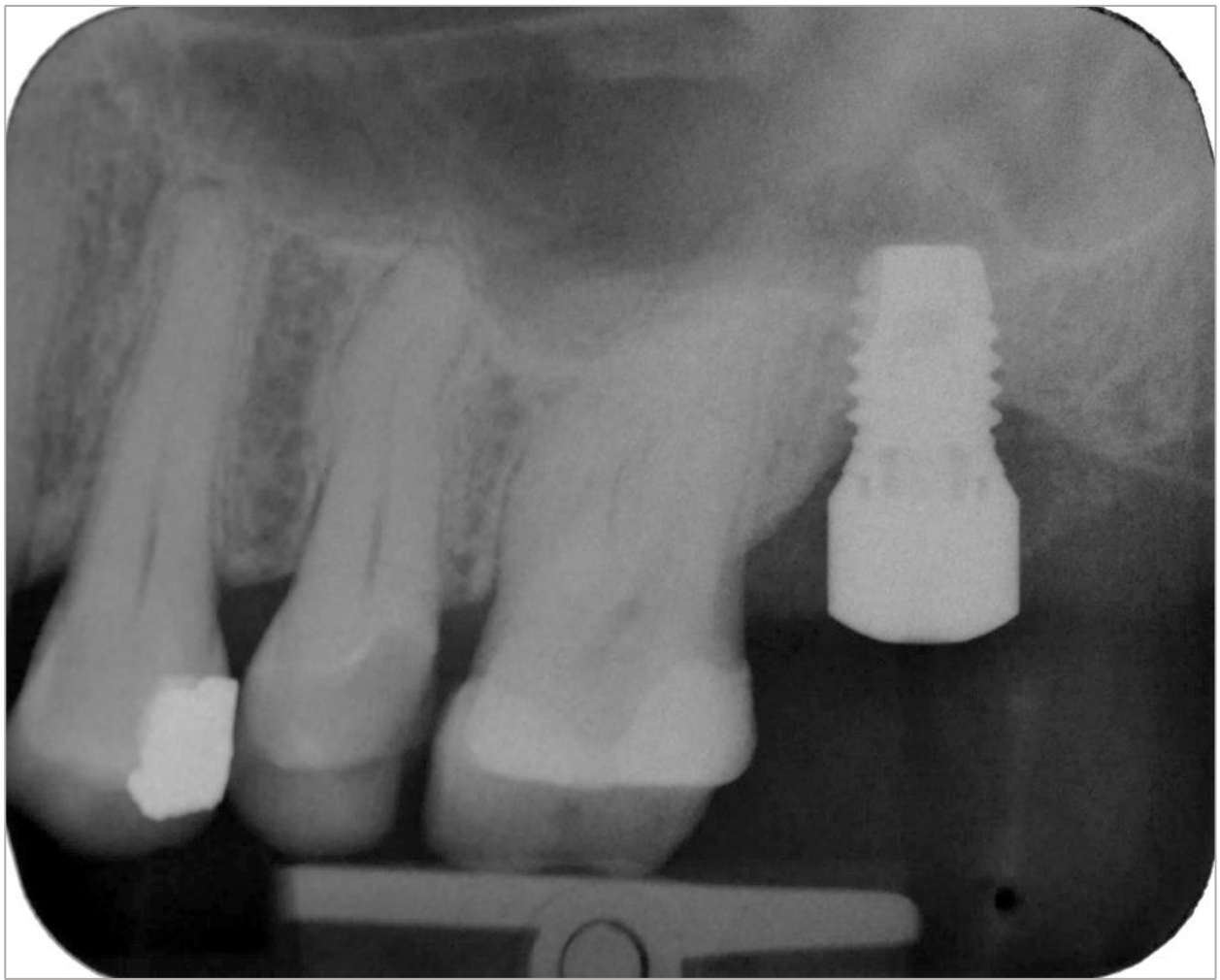
Während der OP wurde bei 45 Implantaten zusätzlich zu den entnommenen Knochenspänen der Bohrung Bio-Oss® eingebracht und nach apikal hin kondensiert. Bei 20 von diesen Implantaten wurde dies in Kombination mit Bio-Gide® angewendet.



**Abb. 17:** Implantate pro Patient. 23 Patienten erhielten ein Implantat. Bei acht Patienten wurden jeweils zwei Implantate inseriert, bei zwei Patienten jeweils 3 Implantate und bei einem Patienten wurden 4 Implantate inseriert.

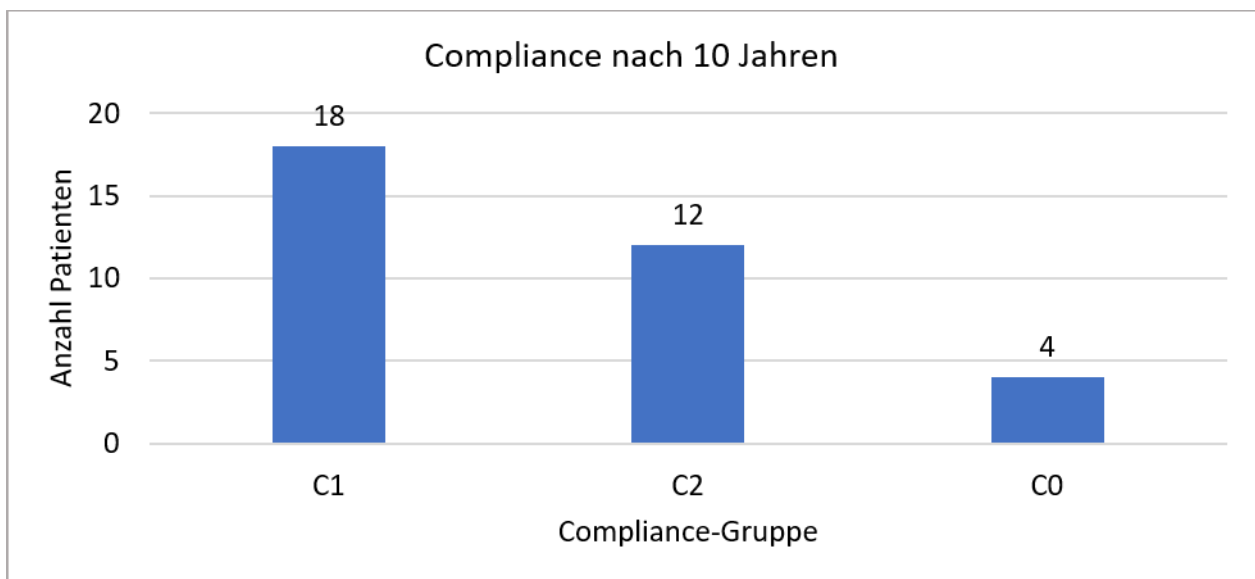
Als intraoperative Komplikation trat bei 10 Implantaten (20,41 %) eine MAV auf, die entweder das zusätzliche Einbringen von Bio-Gide® (n= 6 Implantate) erforderte oder als so klein diagnostiziert wurde, dass sie keiner weiteren Therapie bedurfte.

Zur Übergangsversorgung bis zur Freilegung dienten Langzeitprovisorien, Platzhalterschienen, Interimsprothesen oder die alten Prothesen wurden angepasst und verwendet. Vom Insertionszeitpunkt bis zur Freilegung vergingen im Schnitt 255 Tage. Nachdem die Implantate freigelegt wurden, wurden sie nach ca. 77 Tagen (26 – 217 Tagen) mit einer Suprakonstruktion versorgt. Ein Implantat Regio 27 #102 wurde nicht freigelegt und gilt als „sleeping“ (engl. schlafend). Als Komplikationen zwischen Insertion und Freilegung traten als häufigstes zum Teil freiliegende Deckschrauben auf (n= 11) auf. Außerdem wurden Aphten (n= 2), eine rhinogene Sinusitis, eine von Knochen überwachsene Deckschraube, das teilweise Freiliegen einer Membran und die Notwendigkeit von zusätzlichem Knochenaugmentat periimplantär (#113) dokumentiert (Abb. 18). Als definitive Suprakonstruktionen fungierten zwei Brücken und 47 Einzelkronen, die zuerst mit provisorischem Zement und schließlich definitiv eingesetzt wurden. Als finaler Zahnersatz wurden Kronen aus Zirkon oder Kronen mit Metallgerüst und Verblendung (n= 47) als auch Brücken (N= 2) eingesetzt.



**Abb. 18:** Implantat #113 zum Zeitpunkt der Freilegung. Hier lag die Membran frei und es wurde zusätzliches Knochenaugmentat periimplantär notwendig.

7 Patienten waren mit 8 Implantaten waren Raucher (14,29 %). Eine parodontale Historie war bei 30 Patienten (61,22 %) mit 45 Implantaten festzustellen. Die Patienten wurden erneut nach ihrer Compliance laut Franke et al. (2015) bezüglich der angeratenen Recall-Termine in die drei Gruppen C1, C2 und C0 unterteilt. Die Verteilung stellt sich wie folgt dar: C1= 18 Patienten (n= 24 Implantate), C2= 12 Patienten (n= 20 Implantate) und C0= 4 Patienten (n= 5 Implantate). Demnach sind 18 Patienten (52,94 %) des untersuchten Kollektivs konsequent zum angeratenen UPT-Intervall erschienen und 12 Patienten (35,29 %) haben die meisten aber nicht alle ihrer angeratenen Termine eingehalten, wobei sie jedoch nicht mehr als ein Jahr nicht erschienen sind. 4 Patienten (11,76 %) haben mehr als zwei aufeinanderfolgende Termine nicht eingehalten oder sind mehr als ein Jahr nicht zur UPT erschienen.



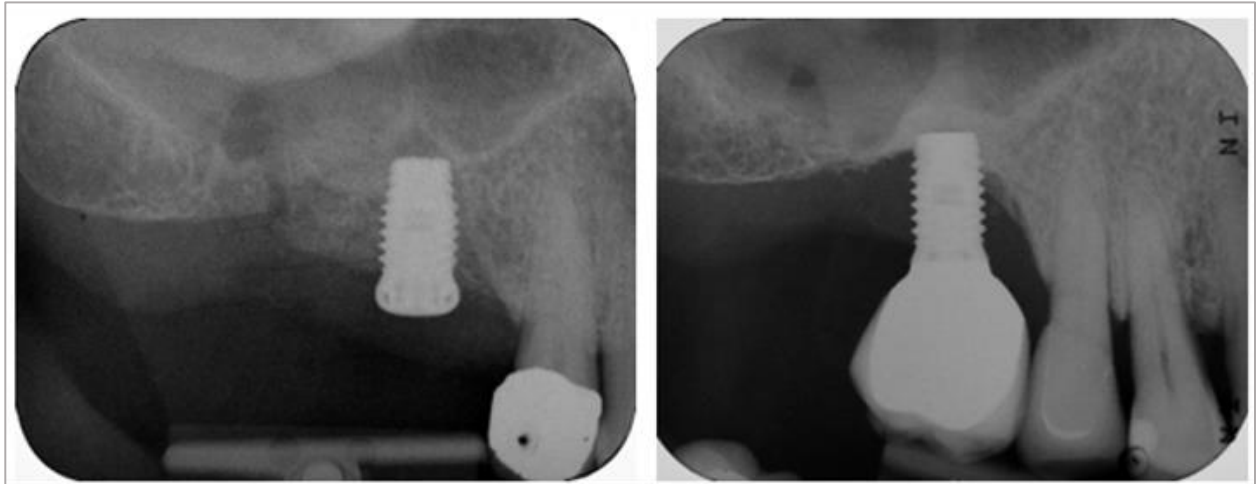
**Abb. 19:** Compliance nach 10 Jahren. 18 Patienten (52,94 %) des untersuchten Kollektivs sind konsequent zum angeratenen UPT-Intervall erschienen und 12 Patienten (35,29 %) haben die meisten aber nicht alle ihrer angeratenen Termine eingehalten, wobei sie jedoch nicht mehr als ein Jahr nicht erschienen sind. 4 Patienten (11,76 %) haben mehr als zwei aufeinanderfolgende Termine nicht eingehalten oder sind mehr als ein Jahr nicht zur UPT erschienen.

### 3.2.1 Überlebensrate

Nach 10 Jahren (3652 Tagen) ergibt sich eine Überlebensrate von 90 % mit einer Standardabweichung von 3 % (Abb. 12). Das Konfidenzintervall liegt zwischen 84,1 und 96,2 %. Somit sind 49 Implantate nach 10 Jahren in situ und 11 Implantate verloren gegangen. Die restlichen Implantate haben die 10-Jahres-Nachkontrolle zeitlich nicht erfüllt (die Insertion lag noch keine 10 Jahre zurück), oder die Patienten haben den Termin wegen Umzug oder anderen Gründen nicht wahrgenommen (dropout). Ein Patient gilt als dropout, wenn er nicht mehr in der Praxis erschienen ist wegen Zahnarztwechsel, Umzug, finanzieller Gründe oder weil er verstorben ist. Nach 10 Jahren konnten 14 Patienten (14,58 %) mit 23 Implantaten nicht mehr nachverfolgt werden.

Röntgenologisch sind von den 49 Implantaten 48 osseointegriert und eines nicht. Implantat #53 war ein 8,5 mm langes Brånemark® -Implantat, das nach 128 Monaten verloren ging (Abb. 20). Der betroffene Patient war Raucher, der aber ausgehend von der verbliebenden vertikalen Restknochenhöhe ein geringes Risiko für Verlust gezeigt hatte (Kategorie C mit VRH= 6,85 mm). Es entwickelte sich eine Periimplantitis, die zu

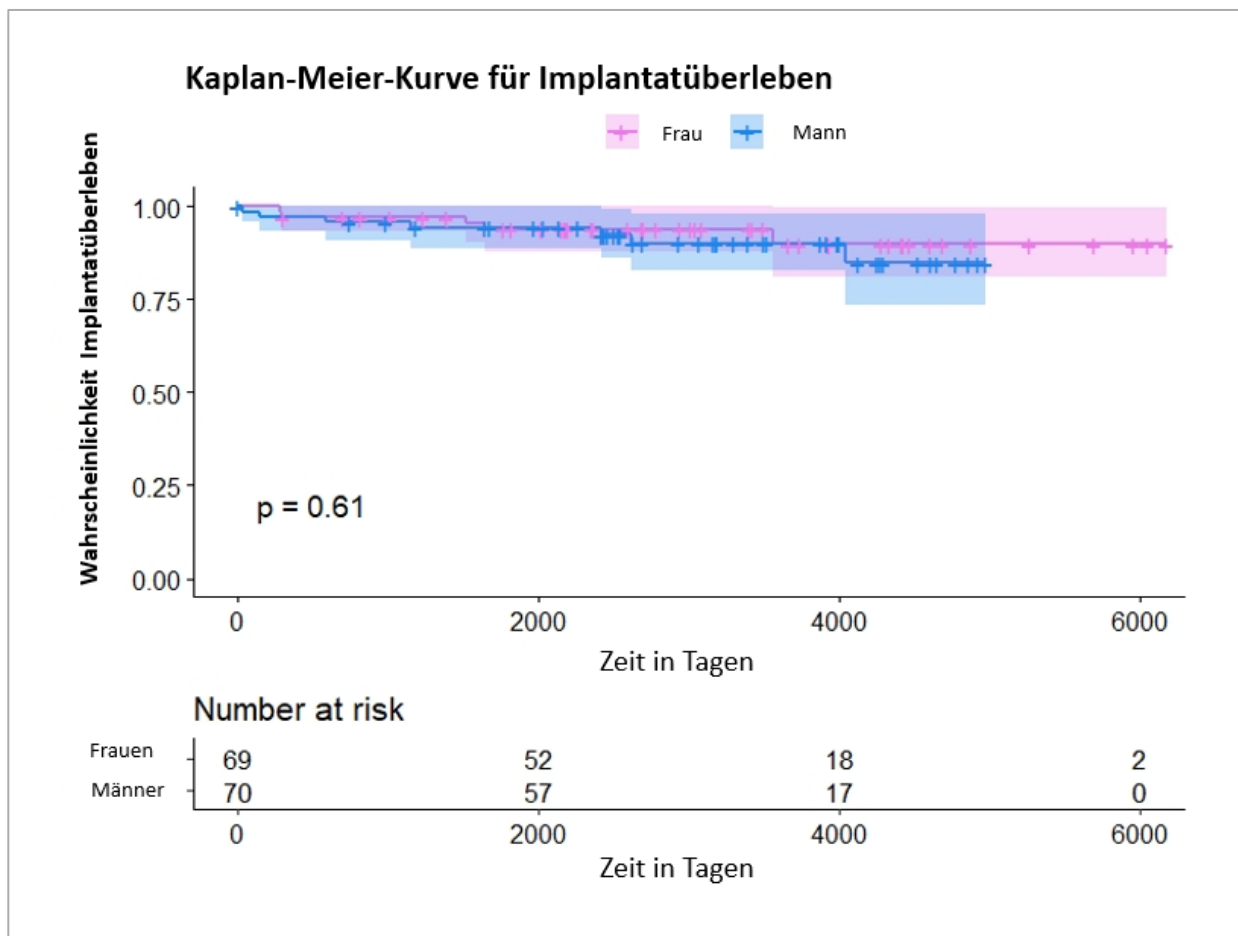
irreversiblen Knochenabbau führte, so dass das Implantat keine Stabilität mehr aufwies und explantiert werden musste.



**Abb. 20:** Implantat #53. Rö-Kontrolle nach Insertion und nach 128 Monaten. Es ist ein horizontaler Knochenabbau in der Regio 16 des gesetzten Implantates zu erkennen.

Vergleicht man die Überlebensrate bei Männern und Frauen, so gab es keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,61$ ). Die Kurven verlaufen ähnlich und die Anzahl der nachverfolgten Implantate zu einem bestimmten Zeitpunkt sind annähernd gleich, sodass nach 2000 Tagen 52 Implantate bei Frauen und 57 Implantate bei Männern nachzuverfolgen sind. Nach 4000 Tagen (ca. 11 Jahren) ist die Verteilung unter den Geschlechtern auch sehr ausgewogen, sodass 18 Implantate bei Frauen und 17 bei Männern nachkontrolliert wurden (Abb. 21).





**Abb. 21:** Kaplan-Meier Kurve für Frauen und Männer. Vergleicht man die Überlebensrate bei Männern und Frauen so ist kein signifikanter Unterschied bezogen auf das Geschlecht vorhanden ( $p = 0,61$ ). Die Kurven verlaufen ähnlich und die Anzahl der nachverfolgten Implantate zu einem bestimmten Zeitpunkt sind annähernd gleich, so dass nach 2000 Tagen 52 Implantate bei Frauen und 57 Implantate bei Männern nachzuverfolgen sind. Nach 4000 Tagen (ca. 11 Jahren) ist die Verteilung unter den Geschlechtern auch sehr ausgewogen, so dass 18 Implantate bei Frauen und 17 bei Männern nachkontrolliert wurden.

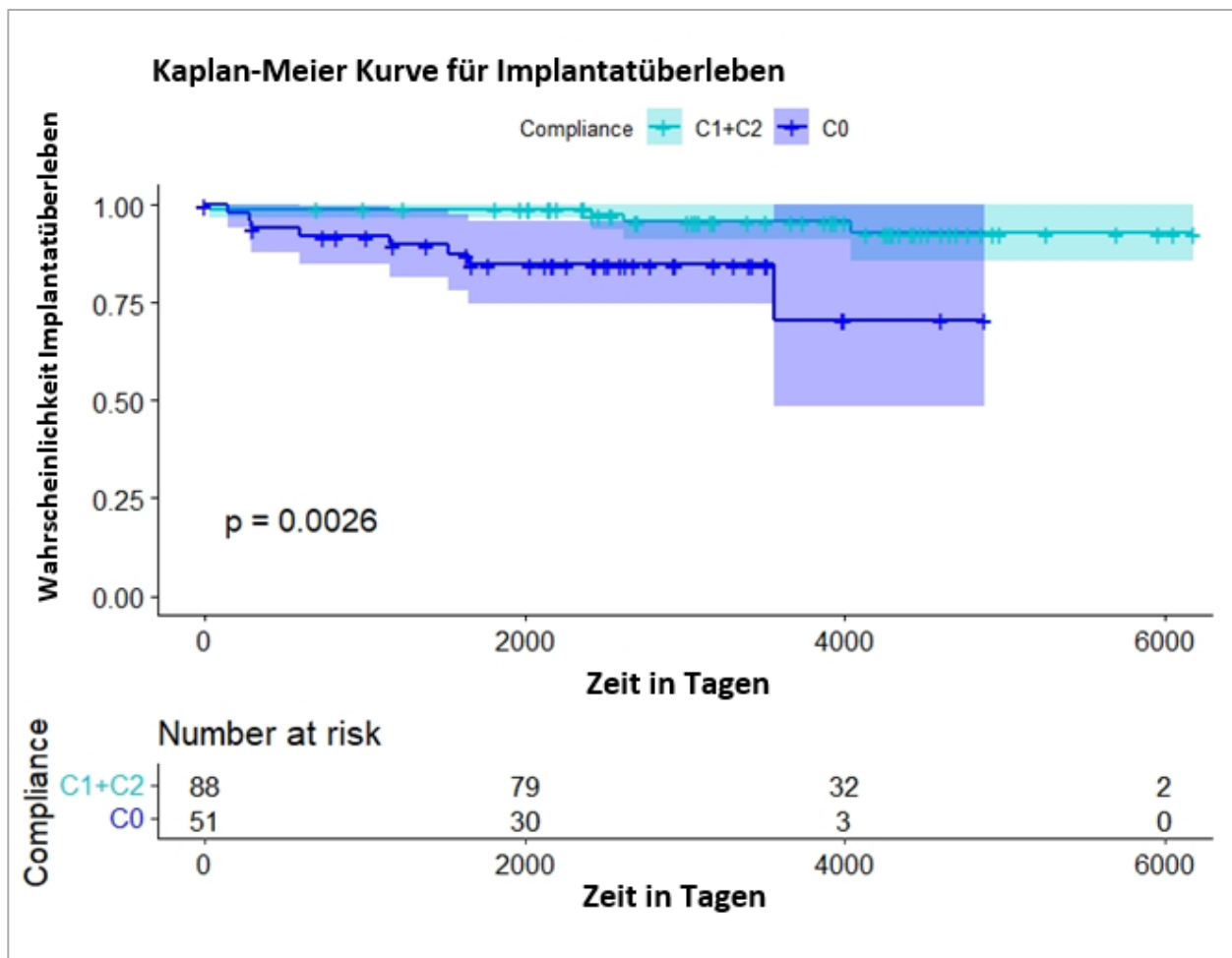
Um statistisch zu prüfen, ob die initiale Knochenhöhe und/ oder die Compliance einen Einfluss auf die Überlebensrate der Implantate hat, wurde eine Cox-Regression mit dem Programm R<sup>®</sup> durchgeführt. Diese untersucht den Effekt mehrerer Einflussgrößen (VRH, Compliance) auf eine Zielvariable (Überlebensrate). In diesem Fall handelt es sich um rechts zensierte Überlebenszeiten, bei der die Daten der dropouts berücksichtigt werden bis zum Zeitpunkt des Ausscheidens. Das Cox-Modell dient der Schätzung des Risikos ein Implantat zu verlieren in Hinblick auf die Einflussgrößen. Es wird angenommen, dass die verschiedenen Einflussgrößen über die Zeit den gleichen Einfluss üben – konstant

sind. Die Compliance wird mit der Compliance C1 + C2 verglichen und die VRH anhand der Risikogruppe A.

Die Ergebnisse der Cox-Regression mit den variablen VRH und Compliance zeigen keine Signifikanz für die VRH ( $p = 0,561$  bzw.  $p = 0,770$ ) in Bezug auf das Implantatüberleben, allerdings eine hohe Signifikanz für die Compliance ( $p = 0,00965$ ). Die Konkordanz von 73 % zeigt eine gute Vorhersageleistung des Modells an (Anhang 3).

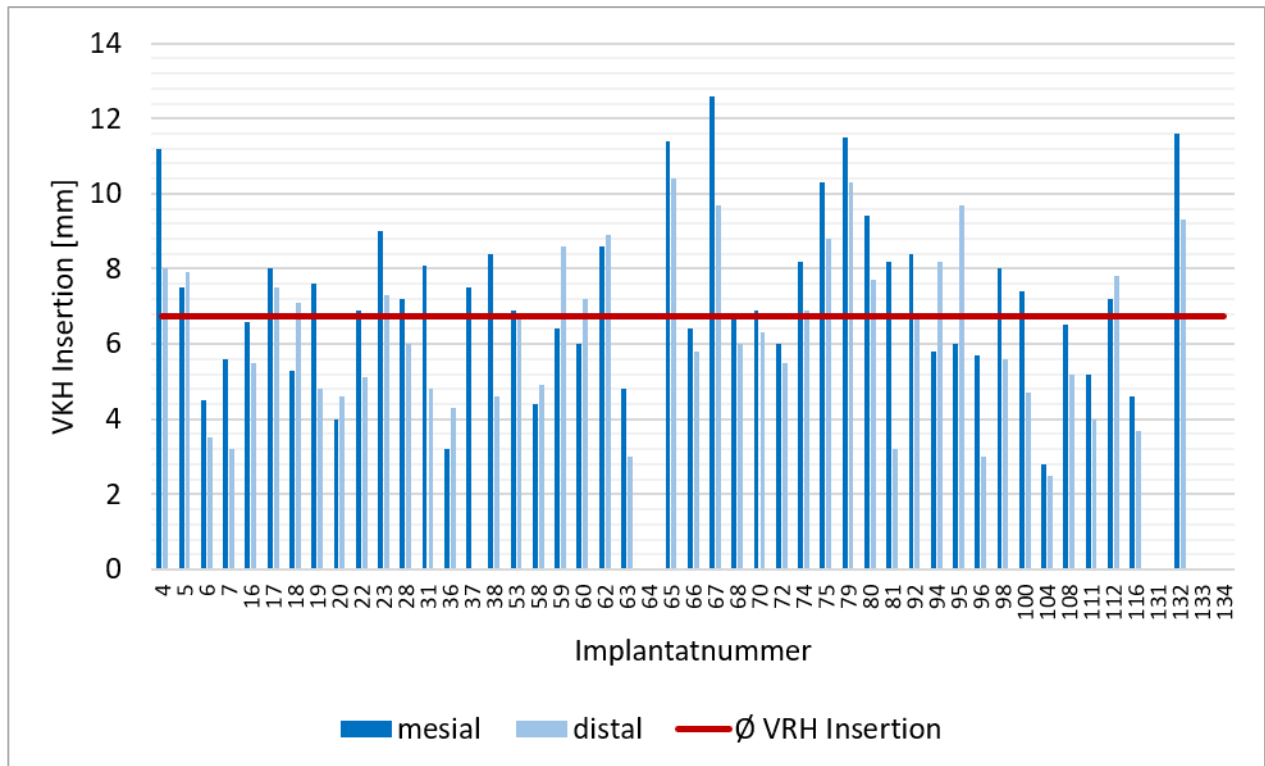
Führt man die Cox-Regression für die Compliance durch, ohne den Einfluss der VRH, so erhält man einen p-Wert von 0,00658 welches somit eine ausschlaggebende Signifikanz für die Compliance darstellt. Die Compliance hat demnach einen Einfluss auf die Überlebensrate der Implantate (Anhang 4).

Um dieses Ergebnis zu visualisieren, wird die Compliance in Abhängigkeit zur Überlebensrate in einer Kaplan-Meier-Kurve dargestellt. Hier liegt der p-Wert bei 0,0026 und stellt somit wieder die Signifikanz der Compliance als Einflussfaktor dar. Die Konfidenzintervalle überschneiden sich dabei gering. Nach 2000 Tagen (ca. 5,5 Jahre) sind 79 Implantate der C1 + C2-Gruppe in situ und 30 Implantate der Gruppe C0. Nach 4000 Tagen (ca. 11 Jahre) sind noch 32 Implantate der Compliance-Gruppen C1 + C2 in situ und 3 der C0-Gruppe (Abb. 22).

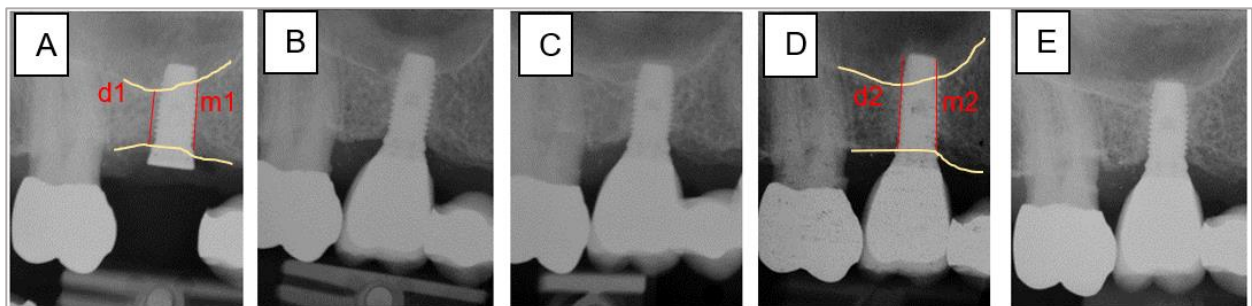


**Abb. 22:** Kaplan-Meier-Kurve Compliance. Es wird die Compliance in Abhängigkeit zum Implantatüberleben dargestellt. Die Gruppen C1 und C2 werden als eine Gruppe zusammengefasst, da die Compliance in beiden Gruppen gut ist. Die Konfidenzintervalle überschneiden sich dabei gering. Nach 2000 Tagen (ca. 5,5 Jahre) sind 79 Implantate der C1 + C2-Gruppe in situ und 30 der Gruppe C0. Nach 4000 Tagen (ca. 11 Jahre) sind noch 32 Implantate der Compliance-Gruppen C1 + C2 in situ und 3 der C0-Gruppe.

### 3.2.2 Verlauf der vertikalen Knochenhöhe



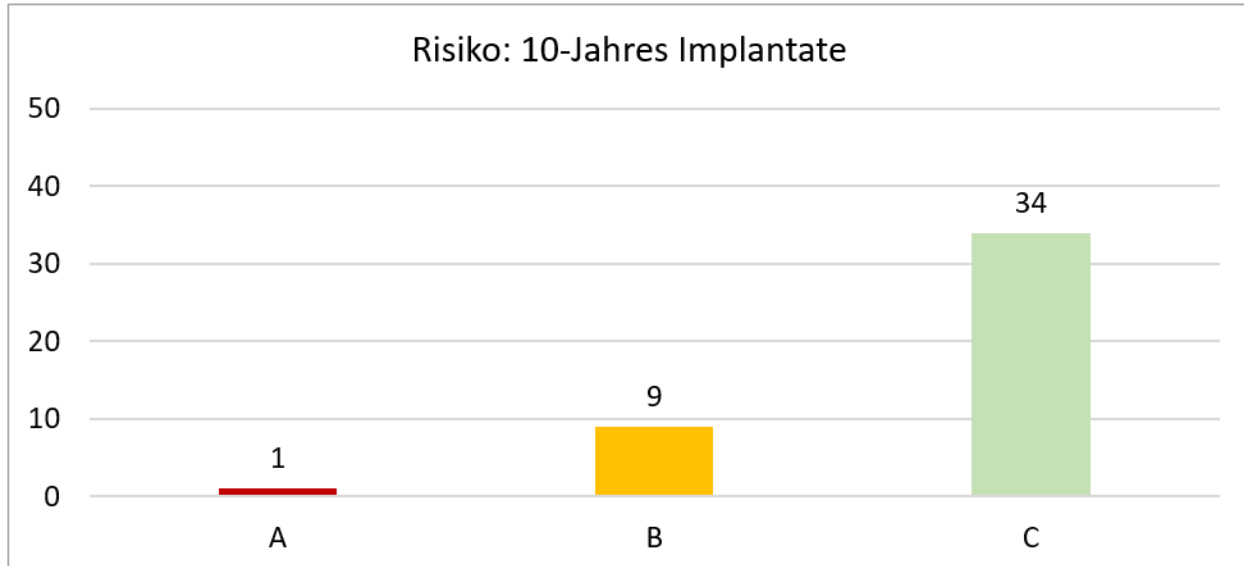
**Abb. 23:** Vertikale Restknochenhöhe bei Insertion:  $6,72 \pm 2,04$  mm. Die mittlere VRH der IMPL<sub>10-Jahre</sub> (roter Balken) lag bei  $6,72 \pm 2,04$  mm (mesial=  $7,21 \pm 2,25$  mm, distal=  $6,24 \pm 2,16$  mm)



**Abb. 24:** Röntgenologische Verlaufskontrolle. Implantat Nr. 22: (A) Zeitpunkt zur Insertion, (B) nach einem Jahr, (C) nach 5 Jahren, (D) nach 10 Jahren, (E) nach 14 Jahren. Es wurde zunächst röntgenologisch die vertikale Restknochenhöhe zum Zeitpunkt der Insertion vermessen (A: marginaler Knochen zu Kieferhöhlenboden, m1 - d1) und anschließend nach 10 Jahren die Höhe vom krestalen Knochen zum KIK (B: m2 - d2).

Insgesamt konnten 49 Implantate nach 10 Jahren nachverfolgt werden, wovon bei 5 Implantaten die VRH röntgenologisch nicht ausgewertet werden konnte. Die mittlere VRH dieser Implantate lag zum Zeitpunkt der Insertion bei  $6,72 \pm 2,04$  mm (mesial=  $7,21$

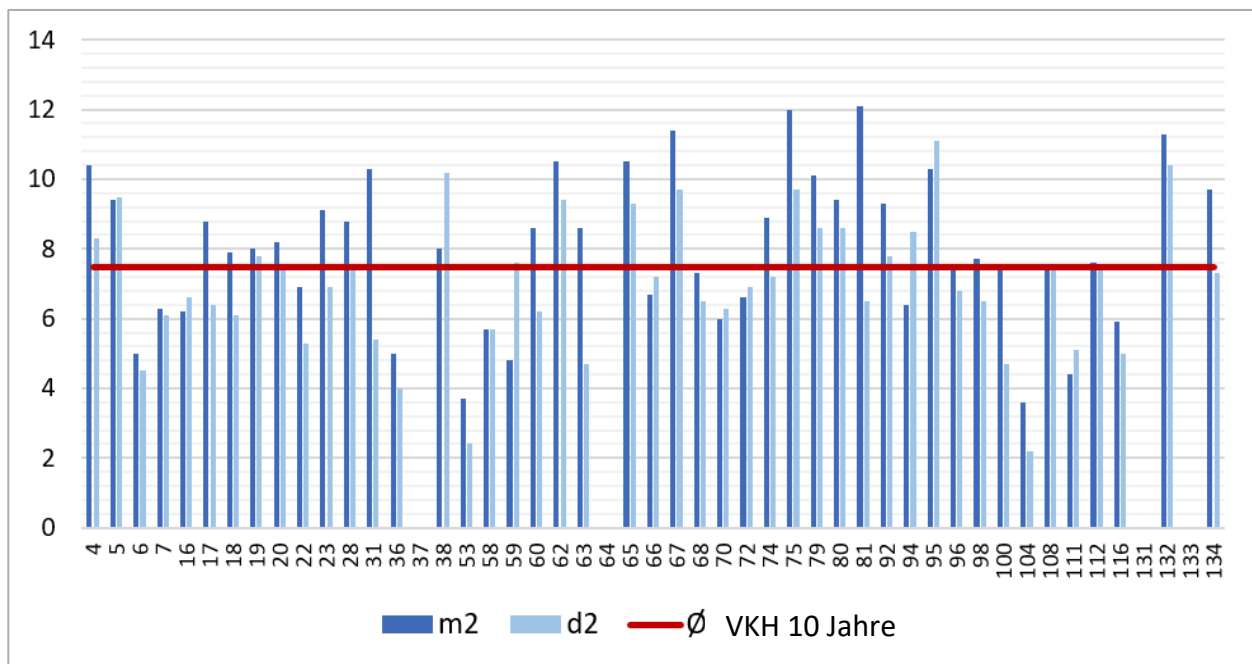
$\pm 2,25$  mm, distal=  $6,24 \pm 2,16$  mm) (Abb. 23). Eine röntgenologische Verlaufskontrolle über 10 Jahre ist exemplarisch in Abb. 24 dargestellt.



**Abb. 25:** Risikoverteilung der 10-Jahres Implantate anhand der VRH. Bei den Implantaten, bei denen die Patienten zur 10-Jahres-Nachuntersuchung erschienen (IMPL<sub>10-Jahre</sub>), verteilt sich das Risiko wie folgt: Gruppe A: n= 1, Gruppe B: n= 9, Gruppe C: n= 34.

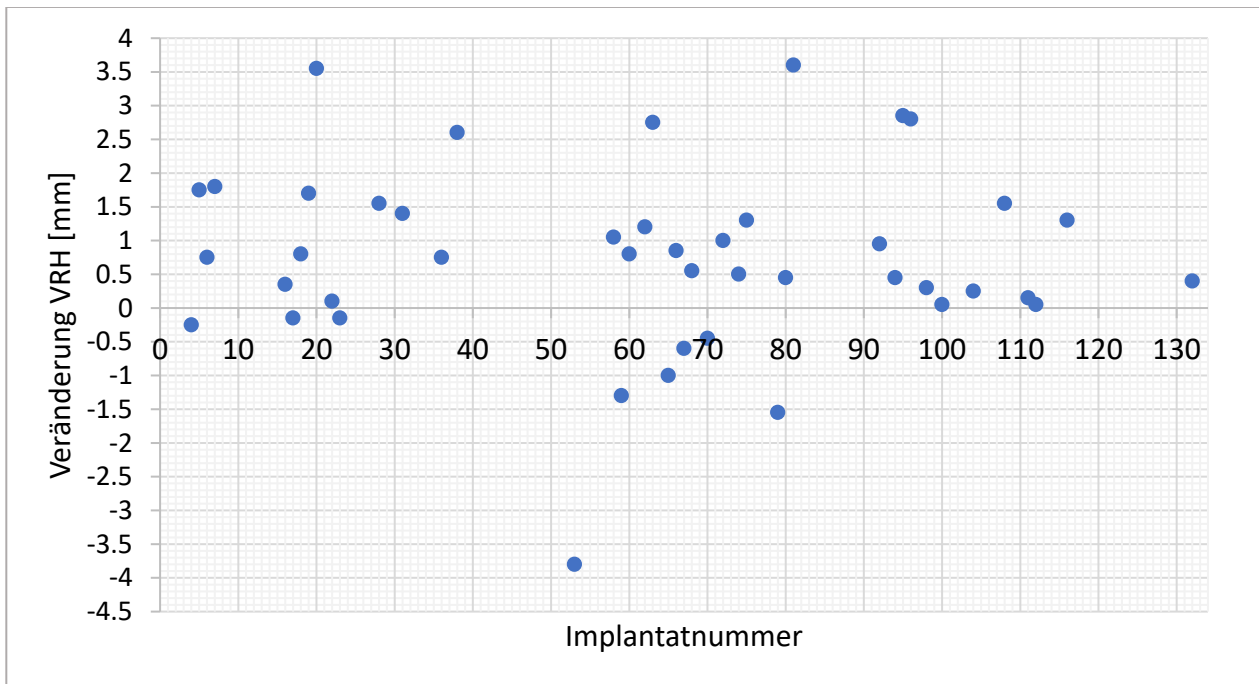
Bei den Implantaten, bei denen die Patienten zur 10-Jahres-Nachuntersuchung erschienen (IMPL<sub>10-Jahre</sub>), verteilt sich das Risiko wie demnach folgt: Gruppe A: n= 1 Implantat, Gruppe B: n= 9 Implantate, Gruppe C: n= 34 Implantate (Abb. 25).

Nach 10 Jahren ist die durchschnittliche VKH auf  $7,50 \pm 1,91$  mm (mesial=  $8,00 \pm 2,18$  mm, distal=  $7,00 \pm 1,97$  mm) angestiegen (Abb. 26). Bei der röntgenologischen Vermessung konnten 4 Implantate nicht ausgewertet werden.



**Abb. 26:** Vertikale Knochenhöhe nach 10 Jahren. Die mittlere VKH der Implantate (roter Balken) lag bei  $7,50 \pm 1,91$  mm (mesial=  $8,00 \pm 2,18$  mm, distal=  $7,00 \pm 1,97$  mm).

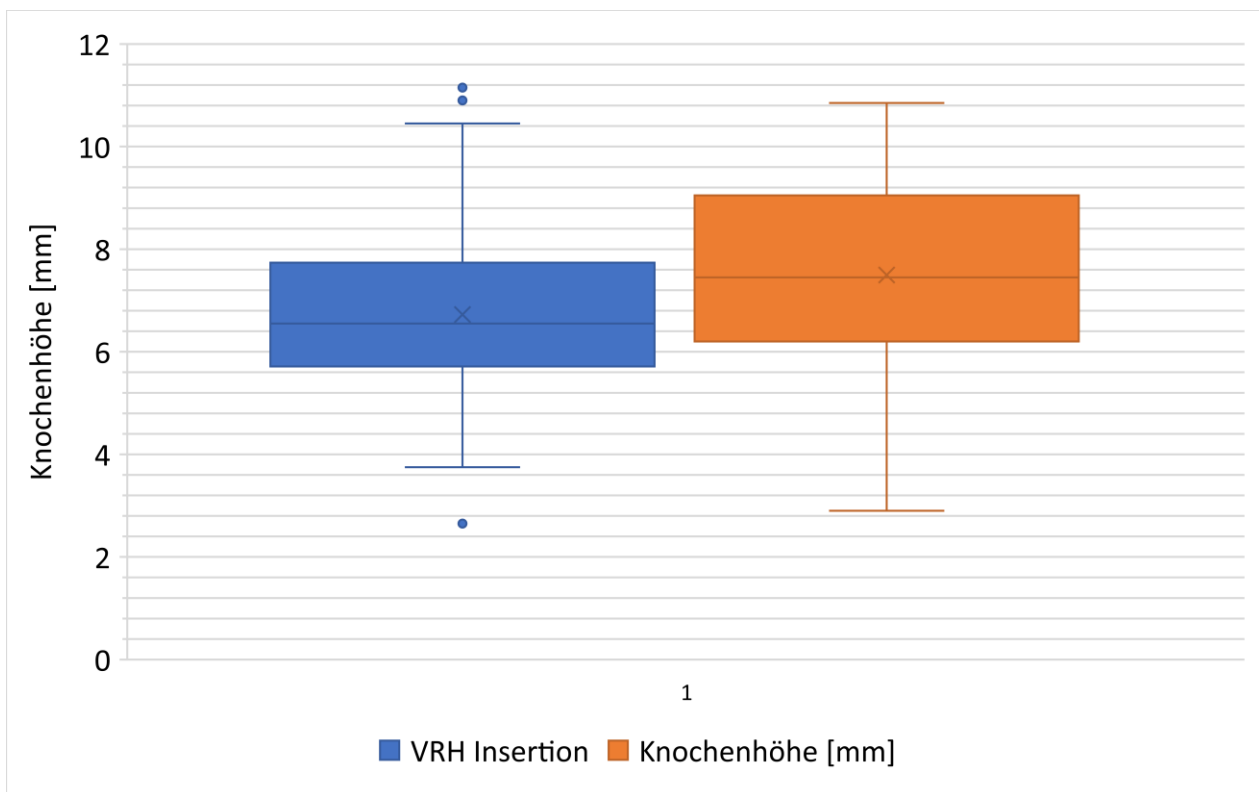
In Abb. 27 kann man den röntgenologisch ermittelten Knochenan- und abbau für jedes nachverfolgte Implantat betrachten. Bei den 49 Implantaten erfolgte ein durchschnittlicher Knochenanbau von  $0,75 \pm 1,36$  mm. Im Seitenvergleich stieg die VKH mesial um  $0,75 \pm 1,55$  mm und distal um  $0,75 \pm 1,64$  mm. Bei 35 Implantaten ist ein Knochenanbau zwischen 0,05 und 3,6 mm ermittelt worden und an 9 Implantaten ein Knochenabbau von 0,15 bis 3,8 mm. Der größte Knochenabbau von 3,8 mm fand sich an dem verloren gegangenen Implantat #53, das nach 128 Monaten versagte (Abb. 20).



**Abb. 27:** Veränderung der VKH nach 10 Jahren- IMPL<sub>10-Jahre</sub>. Die Nulllinie markiert bei allen noch in situ befindlichen Implantaten die vertikale Restknochenhöhe zum Zeitpunkt der Insertion. Die blauen Punkte oberhalb der Nulllinie bedeuten, dass ein Knochenzuwachs stattgefunden hat. Die blauen Punkte unterhalb der Nulllinie dagegen, dass ein Knochenverlust vorlag. Es ist festzustellen, dass an den meisten Implantaten Knochenanbau und kein -abbau stattfand.

Bei der Veränderung der durchschnittlichen VKH nach 10 Jahren, sieht man, dass die Streuung der Werte innerhalb des 1. und 3. Quartils zunahm, da sowohl Knochenapposition als auch Knochenabbau stattfand. Zu 50 % lag die vertikale Knochenhöhe zum Zeitpunkt der Insertion zwischen 5,71 und 7,74 mm und nach 10 Jahren zwischen 6,2 und 9,00 mm (Abb. 28).

Der Abhängige t-Test ergab nach 10 Jahren eine statistisch signifikante Zunahme der Knochenhöhe ( $p = 0,0003$ ) (Anhang 5).



**Abb. 28:** Box-Plot-Darstellung der Veränderung der VKH- IMPL10-Jahre. Nach 10 Jahren nahm die Streuung der Werte innerhalb des 1. und 3. Quartils zu, da sowohl Knochenapposition als auch Knochenabbau stattfand. Zu 50 % lag die VKH zum Zeitpunkt der Insertion zwischen 5,71 und 7,74 mm und nach 10 Jahren zwischen 6,2 und 9,00 mm. Der p-Wert für den t-Test lag bei 0,0003.

### 3.2.3 Erfolgsrate

Für die Einteilung in eine Erfolgskategorie nach den Maßstäben der internationalen Pisa Konsensuskonferenz (Misch et al., 2008) wurden folgenden Parameter ausgewertet:

- Risikogruppierung anhand der initialen VRH
- Nach 10 Jahren bzw. bis Dropout:
  - VKH
  - ST
  - GI
  - Beweglichkeit
  - Auftreten einer Periimplantitis/ Mukositis

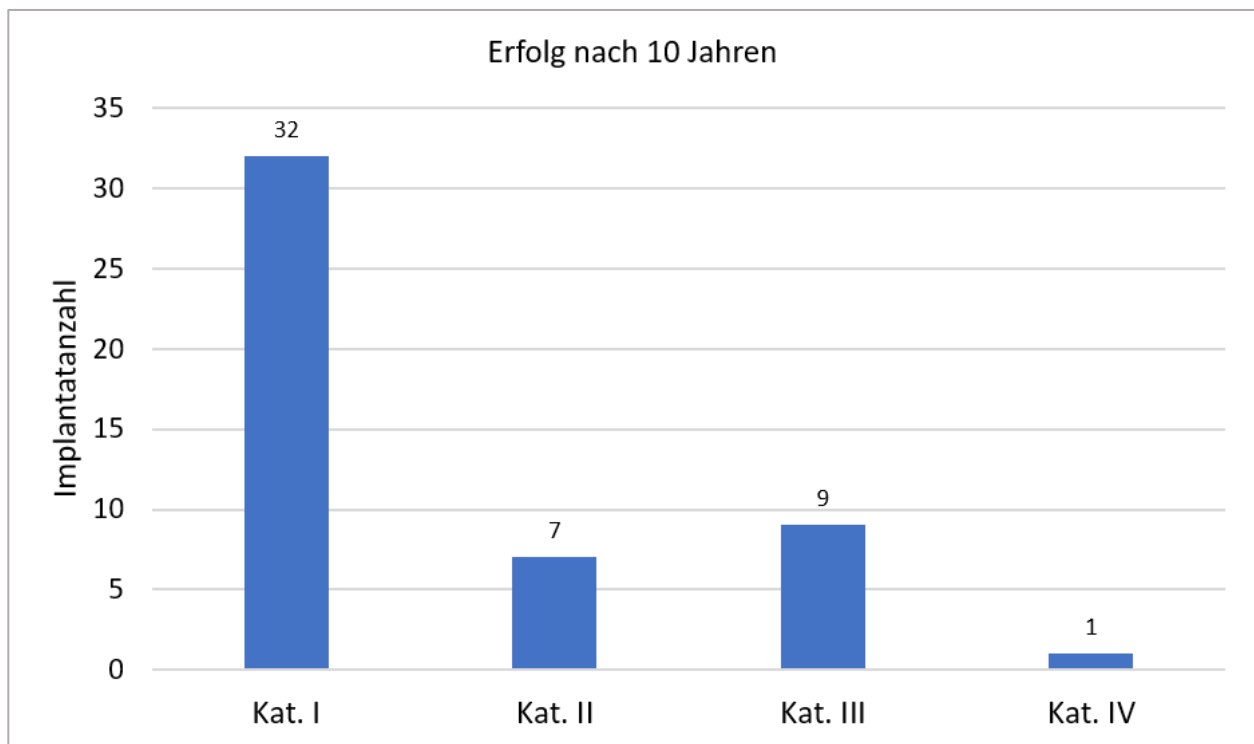


**Tab. 4:** Sondierungswerte der IMPL<sub>10-Jahre</sub> > 5 mm. Es wurden jeweils an 4 Messunkten Sondierungswerte ermittelt: mesial, vestibulär, distal und oral. An 5 Implantaten wurden Sondierungswerte über 5 mm gemessen. #9 weist die höchsten Werte mit Sondierungstiefen bis 8 mm auf.

Implantat-Nr.	Mesial [mm]	Vestibulär [mm]	Distal [mm]	Oral [mm]
# 8	6	6	5	4
# 9	7	8	4	8
# 23	3	5	6	3
# 80	3	5	6	6
# 95	2	2	6	3

Die Sondierungstiefen bei den 49 IMPL<sub>10-Jahre</sub> lagen zwischen 1 und 8 mm. Bei 44 Implantaten lagen sie zwischen 1 - 5 mm und bei 5 Implantaten waren sie auf 6 - 8 mm erhöht. Innerhalb der Beobachtungszeit entwickelten sich folgende periimplantäre Entzündungen: Mukositis an 5 Implantaten (10,20 %), Periimplantitis an 9 Implantaten (18,37 %), die mit interzeptiven Periimplantitistherapien (PIT) und Mundschleimhautbehandlungen behandelt wurden. Im Mittelwert trat eine Mukositis nach 1791 Tagen (ca. 60 Monate) und eine Periimplantitis nach 3070 Tagen (ca. 102 Monaten) auf.

Unter Auswertung dieser Ergebnisse lassen sich die 49 Implantate in die 4 Erfolgsklassen laut Konsensuskonferenz, 2007 einteilen: 32 Implantate befinden sich in der Klasse I - ohne Schmerzen, Beweglichkeit, radiologischen Knochenabbau über 2 mm oder periimplantären Komplikationen. Klasse I-Ergebnisse sind das gewünschte Optimum, das es zu erzielen gilt. 7 Implantate sind jeweils der Klasse II, 9 Implantate der Klasse III zuzuordnen und 1 der Klasse IV (Abb. 29). Bei dem Implantat der Klasse IV war röntgenologisch ein weit fortgeschrittener Knochenabbau sichtbar und klinisch ein positiver BOP. Implantat #102 wurde bis zu dem letzten Nachverfolgungsterminen nicht freigelegt und kann nicht bewertet werden (sleeping), ebenso das Implantat #113, da der Patient nach der Insertion nicht mehr erschienen ist. Als Bezugspunkt der Sondierungstiefen und röntgenologischen Vermessung diente das letzte aktuelle Röntgenbild und die letzte erhobene Implantat Dokumentation.



**Abb. 29:** Erfolgseinteilung - IMPL10-Jahre. Die Auswertung der 49 IMPL10-Jahre ergibt eine Einteilung nach den Kriterien des „International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference“ in: Kategorie I: 32 Implantate – optimaler Erfolg, Kategorie II: 7 Implantate – zufriedenstellender Erfolg, Kategorie III: 9 Implantate – Kompromisserfolg, Kategorie IV: 1 Implantat – Versagen.

## 4. Diskussion

Nach 10 Jahren konnten 34 Patienten mit 49 Implantaten nachverfolgt werden, bei denen eine transalveoläre Sinusbodenaugmentation mit simultaner Implantatinserterion durchgeführt worden war. 27 Implantate waren bei Männern und 23 bei Frauen inseriert worden. Eine parodontale Vorgeschichte bestand bei 88,24 % der Patienten (30 Patienten, n= 45 IMPL) und es wurden 7 Raucher (20,59 %) identifiziert (n= 8 IMPL). Bei dem operativen Eingriff wurden Implantate der Länge 9,44 mm der Firmen Dentsply Sirona (n= 6), Nobel Biocare (n= 42), und Endopore (n= 1) verwendet. Es wurde zusätzlich zu den eigenen gewonnenen Knochenspänen der Bohrung in 45 Fällen Bio-Oss® eingebracht, wovon wiederum bei 20 Implantaten in Kombination mit Bio-Gide® benutzt wurden. Als operative Komplikation trat eine MAV zu 20,41 % auf (n= 10 IMPL). Bis zur Freilegung vergingen im Mittel 255 Tage (8,5 Monate) und bis zur Belastung des Implantates nach der Freilegung vergingen durchschnittlich weitere 77,23 Tage. Zwischenzeitlich wurden die Patienten mit LZPVs, IPOs, Schienen oder mit ihren alten Prothesen versorgt. Innerhalb der 10 Jahre entwickelte sich bei 5 von 49 Implantaten eine Mukositis (10,20 %) und bei 9 Implantaten eine Periimplantitis (18,37 %). Es wurden bei 5 Implantaten (10,20 %) Sondierungstiefen über 5 mm gemessen. Bei 6 Implantaten (12,24 %) wurde ein Gingivaindex von 1 erhoben, bei einem Implantat von 2. Bezüglich der Zuverlässigkeit der Patienten sind 18 Pat. (C1: n= 24 IMPL) zu jedem angeratenen Termin erschienen. 12 Patienten (C2: n= 20 IMPL) sind mindestens einmal im Jahr erschienen und haben nicht mehr als zwei aufeinanderfolgende Termine versäumt. Unregelmäßig sind 4 Patienten (C0: n= 5 IMPL) erschienen, die mindestens ein Jahr nicht zur Implantatkontrolle erschienen sind.

Ein Implantat ging aufgrund eines weit fortgeschrittenen Knochenabbaus verloren (IMPL #53). Die übrigen 48 der 49 Implantate waren klinisch und röntgenologisch osseointegriert (Fragestellung 1). Der röntgenologische Knochengewinn lag bei  $0,75 \pm 1,36$  mm (Fragestellung 2). Hinsichtlich des Implantaterfolges zeigten 32 Implantate einen optimalen Erfolg, 7 Implantate einen zufriedenstellenden Erfolg, 9 Implantate einen Kompromisserfolg und 1 Implantat versagte (Fragestellung 3).

#### 4.1 Stärken und Limitationen

Die vorliegende Arbeit hat einige Stärken aber auch Limitationen.

Sie weist im Vergleich zu anderen 10-Jahresstudien mit 49 nachverfolgten Implantaten die höchste Fallzahl auf. Die Implantate wurden in derselben Praxis von nur zwei Behandlern inseriert, die das gleiche Vorgehen hatten. Die Auswertung der klinischen und röntgenologischen Befunde erfolgte durch ein und dieselbe Untersucherin. Die resultierenden Ergebnisse wurden nach etablierten Standards ausgewertet.

Zu den Limitationen gehört das retrospektive Studiendesign. Das Patientenkontingent umfasst eine große Altersspanne, weshalb die biologische Reaktion der Gewebe ausgefallen sein könnte. Dadurch, dass bei einigen Patienten mehrere Implantate inseriert wurden, ist die Compliance-Zuordnung möglicherweise leicht verzerrt. Es wurde kein bestimmter Implantat-Typ verwendet, sondern verschiedene. Bei der Implantatinserion wurde die Materialmenge zwar qualitativ erfasst, aber nicht quantitativ, welches einen Einfluss auf die entstandene vertikale Knochenhöhe haben könnte. Auch ist das Knochenersatzmaterial im Röntgenbild schwer vom ortsständigen Knochen zu unterscheiden.

#### 4.2 Vergleich mit Langzeitstudien

Im Zeitraum 2006 - 2020 wurden 10-Jahres Daten aus mehreren Studien publiziert, die einen einzeitigen internen Sinuslift mit der Summers-Technik beschrieben (Tab. 5).

Da in der vorliegenden Arbeit verschiedene Parameter wie die parodontale Gesundheit und die Unterscheidung von Implantatüberleben und -erfolg untersucht wurden, diente das Systematic Review von Aludden et al. aus dem Jahre 2018 als Anhaltspunkt (Aludden et al., 2018). Es wurden diejenigen Studien ausgeschlossen, die eine geringere Nachverfolgungszeit als 10 Jahre aufwiesen, so dass 3 Studien aus Aludden et al. (2018) berücksichtigt werden konnten (Caban et al., 2017; Ferrigno et al., 2006; Nedir et al., 2016). Zusätzlich wurden 3 weitere Studien aus eigener Recherche hinzugefügt, was letztendlich zu sich 6 Vergleichsstudien führte (French et al., 2016; Shi et al., 2020; Tetsch et al., 2010). Die jeweilige Anzahl der untersuchten Implantate lag in diesen Studien

zwischen 22 und 36, so dass die hier vorliegende Arbeit mit IMPL n= 49 zum Zeitpunkt der 10 Jahres-Nachkontrolle den größten Umfang aufwies.

Da es sich um eine retrospektive Studie handelt, waren die Patienten im Vorfeld nicht dahingehend verpflichtet worden für die regelmäßigen Dokumentationen der Studie erscheinen sollen. Dieses erklärt den hohen dropout. Es wurden auch nicht nur Patienten gewählt, die im Vorfeld eine hohe Compliance aufwiesen oder keine parodontalen oder gesundheitlichen Vorerkrankungen hatten, sondern Patienten, welche den Querschnitt der Praxis abbilden, was auch als Vorteil hinsichtlich einer möglichen Generalisierbarkeit der Ergebnisse angesehen werden kann.

In den oben genannten, hier verglichenen Studien, wurden Implantate der Firmen Straumann®, Camlog, Dentsply Sirona, Nobel Biocare® und Sybron Implant Solutions dokumentiert. Bei (Tetsch et al., 2010) wurden initial 131 verschiedene Implantattypen benutzt, sodass anhand der Studie nicht nachvollzogen werden kann, welcher Typ letztendlich bei den 22 nachverfolgten Implantaten benutzt wurde. In zwei Studien wurden mehrere Implantatsysteme verwendet und in vieren nur ein System. Die Implantatlänge in allen Studien betrug zwischen 6 und 13 mm. Fünf Studien erwähnten nicht die Verwendung von Augmentationsmaterial, bzw. es wurde die Einbringung von autologen Knochenspänen aus der Bohrung während des Eingriffes dokumentiert. Bei der Studie von Ferrigno et al. (2006) wurden die meisten Eingriffe ohne KEM durchgeführt, einige mit Bio-Oss®, aber die genaue Verteilung wurde nicht beschrieben. (Shi et al., 2020) verwendeten ebenfalls kein KEM. Die häufigste beschriebene Komplikation war die Perforation der Schneiderschen Membran, mit einer dokumentierten Prävalenz zwischen 0 % und 2,2 % der Eingriffe. Somit fällt der in der vorliegenden Arbeit ermittelte Anteil von ca. 20 % gegenüber den zitierten Studien erhöht aus. Eine mögliche Ursache für diese Abweichung könnte sein, dass ein Valsalva-Manöver prinzipiell durchgeführt wurde, um eine Perforation ermitteln zu können und selbst sehr geringe Verletzungen der Membran erfasst wurden. Andererseits wurden bei (Shi et al., 2020) alle Patienten ausgeschlossen, die eine Perforation bei Insertion aufwiesen. Diese allgemein häufigste Komplikation wird vom Operateur möglichst vermieden; durch Eintritt des Ereignisses einer MAV ändert sich das erforderliche post-operative Verhalten des Patienten und es wird eine antibiotische Abschirmung erforderlich. Die Überlebensrate der Implantate fällt in Fällen von

diagnostizierter MAV statistisch nicht geringer aus (Beck-Broichsitter et al., 2020). Mittels der Anwendung von Membranen wie z. B. Bio-Gide®, die man zuschneiden und im Bereich der Perforation einbringen kann, sind Erfolge beschrieben worden. In der vorliegenden Arbeit wurden von den ermittelten 20 % Fällen einer MAV 60 % mit Bio-Gide® versorgt. Dennoch sind zwei Implantate aufgrund einer chronischen MAV verloren gegangen. Allerdings zeigten Proussaefs et al. (2003) in einer Split-Mouth-Studie, dass die Knochenanlagerung an Implantaten in denjenigen Bereichen schlechter ausfällt, die eine Perforation der Schneiderschen Membran aufwiesen und mit einer Kollagenmembran versorgt wurden (an betroffener Implantatseite: 12,80 % Knochenbildung; v in komplikationsfreien Fällen: 34,40 %) (Proussaefs et al., 2003). Bei den Implantaten mit einer MAV dieser Studie liegt die Veränderung in der vertikalen Knochenhöhe im Mittelwert bei - 0,03 mm im Gegensatz zum allgemeinen Mittel von 0,75 mm, was den Beobachtungen von Proussaefs et al. (2003) entspricht.

Die VKH (aller Vergleichsstudien) lag zum Zeitpunkt der Insertionen zwischen 2 und 12 mm, lediglich Ferrigno et al. (2006) setzten Implantate ausschließlich bei einem Knochenangebot  $\geq 6$  mm und Shi et al. (2020) bei  $\leq 4$  mm.

In 3 Studien wurde der „endo-sinus bone gain (ESBG)“ (eng.: Endo-Sinus-Knochengewinn, ESKG) ausgewertet: Distanz vom Sinusboden bis zum apikalen Knochen-Implantatkontakt (KIK) (Caban et al., 2017; Nedir et al., 2016; Shi et al., 2020). Der ESKG zur 10-Jahres - Röntgenkontrolle wurde in diesen Studien mit 2,1 - 3,4 mm angegeben.

Die mittlere Veränderung der Knochenhöhe (10-Jahres-Messung dieser Studie) von  $0,75 \pm 1,36$  mm liegt somit unterhalb des Durchschnitts der Vergleichsstudien. Allerdings wurde hier die Knochenhöhe röntgenologisch anders ausgewertet: vom krestalen Knochen am Implantat bis hin zum apikalen KIK. Dadurch ist die Strecke der VKH nicht nur abhängig von den Knochenumbauvorgängen im Abschnitt des Sinus, sondern auch von krestalen Einflüssen wie z. B. einer Periimplantitis, die an 9 Implantaten auftrat. Anhand der Röntgenbildqualität mit fehlender Abgrenzung zum früheren Sinus, ist der Wert der ESKG in der vorliegenden Arbeit nicht erhoben worden.

**Tab. 5:** Vergleichsstudien 10-Jahre. KA= kein Augmentat, NA= nicht angegeben, NE= nicht erhoben, M= Monate, IMPL= Implantat, autog.= autogen

	Ferrigno et al.	Tetsch et al.	French et al.	Nedir et al.	Caban et al.	Shi et al.	Dissertation Heinen
Jahr	2006	2010	2016	2016	2017	2020	2024
Typ	Prospektiv	Retrospektiv	Retrospektiv	Prospektiv	Retrospektiv	Prospektiv	Retrospektiv
Patienten	NA	NA	NA	15	25	23	5 J.: 96 / 10 J.: 34
Implantate	36	22	22	23	34	35	5 J.: 112 / 10 J.: 49
Augmentat	Autog. K./ BioOss®	Autog. K.	KA	Autog. K.	KA	kein A.	BioOss®
Knochenhöhe bei Insertion	7,7 (6-9) mm	Defizit von 3,3 mm	2 - 12 mm	5,4 ± 2,3 mm	4,3 (1,8-6,9) mm	≤ 4mm	2,65 - 12 mm (10 J.: 6,72 ± 2,04 mm)
Prothetik	Kronen, Brücken, Teilprothesen, Overdentures	NA	Einzel- oder verblockte Kronen	Einzelkronen oder befestigte Teilprothesen	Einzelkronen, Teil- und Vollprothesen	Einzelkronen, Brücken, befestigte Prothesen	Einzelkronen und Brücken
Protokollierte Zeit [Monate]	144	180	60 und 120	120	120	120	122 - 203
IMPL-Überleben [%]	94,8	97,7	5-J.: 98,3 / 10-J.: 97	100	94	89,2	5 J.: 94 / 10 J.: 90
IMPL-Verlust und Gründe	Anzahl 8: 2 erhöhte Beweglichkeit, 2 Knochenverlust, 3 Periimplantitis, 1 Fraktur	Anzahl NA: Spontanes Versagen, fehlende Osseointegration, Periimplantitis	12: 6 präprothetisch, 6 postprothetisch	0	3	4 Implantate: 2 frühes und 2 spätes Versagen	5 J.: 9 / 10 J.: 11
IMPL-Länge	8,10,12 mm	~11,5 mm	6-13 mm	6,8, 10 mm	9,11,13 mm	8 und 10 mm	7- 11,5 mm
Endo-Sinus-Gewinn	0,5 ± 0,3 mm	NA	3,4 mm	3,0 ± 1,4 mm	3,2 / 2,1 / 2,1 bei 9/11/13 mm Implantat	2,72 ± 0,51 mm	NE
Vertikaler Knochengewinn	NE	NE	NE	NE	NE	NE	10 J.: 0,75 mm
Krestaler Knochengewinn	NA	NA	NE	1,0 ± 0,9 mm	0,6 ± 0,8 mm	NA	NE
Perforation	2,2 %	1,50 %	0	0	NA	ausgeschlossen	5 J. 20 % / 10 J.: 20 %
Nachkontrolle	jährlich	Jahr 1-5 2x /Jahr, > 5 J. jährlich	jährlich	Im Jahr 1,3,5,10 nach Insertion	Im Jahr 1,3,10 nach Insertion	Im Jahr 1-, 3-, 5- und 10	2x / Jahr
IMPL-Typ	Straumann®	Straumann®, Camlog, Frialit®, IMZ®-TwinPlus +128 andere Typen	Straumann®, Nobel Biocare, Brånemark System®	Straumann®	Astra Tech®	Straumann®	Brånemark System®, Astra Tech®, Endopore
Messung des Knochens	röntgenologisch	röntgenologisch (copgiX®)	röntgenologisch	röntgenologisch	röntgenologisch	röntgenologisch	röntgenologisch
Sondierungswerte	2 - 6 mm	NE	NE	< 2mm	4 IMPL > 5 mm (11,7 %)	2,94 ± 0,79 mm	10 J.: 5 IMPL > 5 mm (9,1 %)
Erfolgskriterien	Buser et al. + Mombelli et al. 90,8 %	Erfolg nicht näher definiert	weniger als 1mm krestaler Knochenverlust pro Jahr oder bei folgender Nachkontrolle (Sanz & Chapple) 95,4 %	Buser et al. 100%	IMPL in Funktion ohne Lockerung, klinisch unauffällig, keine Schmerzen vom IMPL ausgehend, radiologisch keine Periimplantitis	Erfolg nicht näher definiert	Vom internationalen Kongress der oralen Implantologen Conference (ICOI) nach Misch et al. modifiziert

Als Alternative zum konventionellem Röntgen steht das DVT zur Verfügung, das eine genauere dreidimensionale Bildgebung ermöglicht. Eine 10-Jahres-Studie von (Abi Najm et al., 2018) untersuchte die Dicke der Schneiderschen Membran DVT-basiert. Ein Jahr später wurde sie von einem der Mitautoren erneut ausgewertet unter der Fragestellung, ob eine röntgenologische Auswertung zur Nachkontrolle ausreichend sei (El Hage et al., 2019). Es resultierte, dass Implantate, die keine Schmerzen verursachen oder andere Komplikationen aufweisen, ausreichend mit einer 2D-Röntgenkontrolle erfasst werden können und die Messwerte zum apikalen Knochen im Vergleich zum DVT nicht erheblich abweichen.

Das primäre Ziel dieser Arbeit war es, eine Aussage zu treffen, ob eine Osseointegration der Implantate, die nach 10 Jahren kontrolliert wurden, stattgefunden hat. Anhand der klinischen und röntgenologischen Auswertung trifft dies bei 48 der 49 untersuchten Implantaten zu.

Das Implantatüberleben wird in den verglichenen Studien mit 94 % und 100 % angegeben. Gingen Implantate verloren, so waren die angegebenen Gründe dafür erhöhte Mobilität, zu großer Knochenverlust, Periimplantitis, nicht erreichte Osseointegration oder „spontanes Versagen“. In dieser Studie liegt das Implantatüberleben nach 10 Jahren bei ca. 90 % und fällt somit geringer aus, welches unter anderem der eingeschränkten Compliance einiger Patienten geschuldet sein kann.

Unterscheidet man nun zwischen dem Erfolg, der in mehreren Studien nach Buser et al. (1990) ermittelt wurde oder ähnlichen, leicht abgewandelten Kriterien, so findet man bei einer der zitierten Studien keine Angabe zur Definition des Erfolgs (Tetsch et al., 2010). Bei den Studien von Nedir et al. (2016) und Ferrigno et. al. (2006) ist der Erfolg nach Buser mit 100 % bzw. 90,8 % angegeben. Bei Caban et al. (2017) werden drei Kriterien des Erfolgs festgelegt: (1) die bestehende Funktion des Implantates, (2) Schmerzfreiheit sowie (3) die röntgenologische Unauffälligkeit hinsichtlich periapikaler und periimplantären Entzündungen (Periimplantitis) nach 10 Jahren. (Shi et al., 2020) definieren auch keinen expliziten Erfolg, nennen aber Kriterien wie Abwesenheit von technischen und biologischen Komplikationen.



Im Vergleich mit den Kriterien der Konsensuskonferenz (ICOI) in Pisa, Italien, 2007 sind prozentuale Erfolgsangaben nur bedingt aussagekräftig bzw. vergleichbar. Bisher gibt es keinen etablierten Goldstandard für eine Evaluation nach 10 Jahren. Geht es bei Buser et al. (1990) darum, ob 4 Kriterien positiv bewertet werden, um als Erfolg zu gelten, werden bei der ICOI 4 Gruppen unterschieden. In den vorliegenden Ergebnissen sind 39 von 49 Implantaten (80 %) in einem zufriedenstellenden Zustand oder besser. Auf diesem Gebiet sind weitere Erhebungen nötig, um eine Vergleichbarkeit über die Qualität von Implantatversorgungen über lange Zeiträume zu treffen.

Ferrigno et al. (2006) haben noch zusätzliche Parameter erhoben, die auch einen modifizierten Plaque- und Blutungsindex (mPI und mBI) beinhalten, die von 0 bis 3 gestaffelt sind (Mombelli und Lang, 1994). Der mPI lag bei  $0,2 \pm 0,48$  und der mBI bei  $0,3 \pm 0,6$ . Diese Ergebnisse bedeuten wenig Plaque und eine isolierte Blutung und weisen auf eine gute Mundhygiene und gesunde gingivale Verhältnisse hin. Genauso sind (Shi et al., 2020) vorgegangen, die nach 10 Jahren einen mBI von  $0,91 \pm 0,58$ , einen mPi von  $0,48 \pm 0,51$  und Sondierungstiefen von  $2,94 \pm 0,79$  feststellten.

Eine systematische Übersichtsarbeit von Pjetursson et al. aus dem Jahre 2012 hat überprüft, welche Kriterien in Studien hauptsächlich benutzt wurden, um Implantaterfolg zu definieren. In die Auswertung wurden 25 Veröffentlichungen mit einbezogen, die Implantate mit einer rauen Oberfläche untersuchten, welche sich mindestens 5 Jahre in situ befanden (Pjetursson et al., 2012). Die verglichenen Parameter lagen auf der Beurteilung des Implantates, des periimplantären Gewebes, der prothetischen Versorgung und der Patientenzufriedenheit. Es stellte sich heraus, dass die Studien jeweils Kriterien nach Albrektsson et al., (1998), Buser et al., (1990), davon abgeleitete Varianten oder selbstdefinierte Kriterien aufstellten. Resultierend daraus wurden hauptsächlich Parameter für die knöcherne Einheilung des Implantates und des periimplantären Gewebes erfasst und weniger Parameter zu der prothetischen Versorgung und Patientenzufriedenheit, so dass für die Zukunft eine umfassende, ganzheitliche Beurteilung des Implantat-Prothetik-Komplexes gefordert wurde.

### 4.3 Einflussfaktoren

Die Überlebensrate wurden mittels Kaplan-Meier-Kurve ausgewertet und auf verschiedene Einflussfaktoren hin untersucht.

Im Folgenden werden die Einflussfaktoren Compliance, Veränderung der periimplantären Knochenhöhe, Alter und Geschlecht, Biomaterial, parodontale Vorgeschichte und andere Faktoren diskutiert.

#### 4.3.1 Compliance

Der überwiegende Anteil der Patienten ist mindestens einmal im Jahr oder öfter, wie angeraten (Gruppen C1 + C2= 88 IMPL), zur unterstützenden Therapie erschienen, welches einen Anteil von 63 % auf Implantatseite ausmacht. Dieses kann entweder auf eine gute Patientenführung und -aufklärung oder auch auf ein sehr motiviertes Patienten Klientel zurückzuführen sein, welches eine parodontologische Fachpraxis aufsucht. Außerdem wurden die Patienten vor der IMPL-Insertion schriftlich über die Notwendigkeit der Durchführung der systematischen unterstützenden Therapie unterwiesen und stimmten dem mit ihrer Unterschrift zu. In der Aachener Praxis wurden die Patienten, wie oben beschrieben, während der ersten zwei Jahre ab der prothetischen Versorgung vierteljährlich, und nach der Funktionszeit von zwei Jahren halbjährlich zur Implantatkontrolle einbestellt, um frühzeitig bei Entzündungen eingreifen zu können. Hierbei wurden klinische Parameter als auch Röntgenkontrollen durchgeführt. Dass ein Patient aus diesem Grunde nicht mehr in der Praxis vorstellig wurde (dropout) ist hauptsächlich auf Gründe wie Zahnarztwechsel, Umzug, erschwerte Erreichbarkeit durch altersbedingte Umstände oder finanzielle Gründe zurückzuführen. Auch kann man davon ausgehen, dass es für einige Patienten mit gestiegenem Alter schwieriger geworden ist, regelmäßigen Kontrollen nachzukommen.

Um den Einfluss der Compliance auf die Überlebensrate sichtbar zu machen, wurde eine Cox-Regression durchgeführt, die einen p-Wert von 0,006 ergab und somit deutlich einen Einfluss repräsentiert. Bei dieser Regression wurden die Gruppen C1 und C2 zu einer zusammengefasst, da sich das Verhalten der Gruppen sehr ähnelt und beide mind. einmal im Jahr vorstellig waren und somit eine kontinuierliche Kontrolle der Implantate und Röntgenbilder zu erheben waren. Die Patienten C0-Gruppe allerdings sind mit einem Jahr

Unterbrechung oder länger wieder zu ihren Terminen erschienen und stehen somit in einem Kontrast zu den anderen beiden Gruppen, wie die Kaplan-Meier-Kurve es visuell belegt.

Im Ergebnis ist das Erscheinen zu den angeratenen Terminen von maßgeblichem Einfluss auf das Implantatüberleben, da hier bei anfänglichen Entzündungen der Behandler frühzeitig intervenieren kann und der Patient neu instruiert und remotiviert wird. Veränderungen der periimplantären Knochenhöhe.

#### 4.3.2 Veränderungen der vertikalen Knochenhöhe

Das sekundäre Ziel dieser Arbeit war es festzustellen, ob und wieviel ein zusätzlicher Knochengewinn periimplantär um das Implantat stattgefunden hat. Anhand der Röntgenbilder und klinischen Messung der Sondierungstiefen ist festzustellen, dass der Knochenverlust immer von krestal am Alveolarknochen stattgefunden hat und das Augmentat weiterhin im Sinus das Implantat apikal umgab. Es wurden nur Röntgenbilder in die Auswertung einbezogen, auf denen die knöchernen Begrenzungen krestal und cranial dargestellt waren. Bei den nicht auswertbaren Röntgenbildern war entweder der mesiale, distale oder der Sinusanteil nicht präzise beurteilbar. Insgesamt waren daher zur 10-Jahres-Nachkontrolle Röntgenbilder an 5 Implantaten nicht vollständig auswertbar.

Es ergab sich ein signifikanter mittlerer röntgenologischer Knochenzuwachs von  $0,75 \pm 1,36$  mm, wobei dieser mesial und distal in etwa gleich groß ausfiel. Der maximale röntgenologische Knochenzuwachs betrug 3,6 mm. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass dieser hohe Knochengewinn auf eine Messungenauigkeit zurückzuführen ist, da das betreffende Röntgenbild keine ideale Darstellung der Knochenbegrenzung zeigte.

Der mittlere röntgenologische Knochengewinn von 0,75 mm erscheint im Kontext der Vergleichsstudien (1,2 - 3,4 mm) relativ gering. Das könnte auch daran liegen, dass evtl. bei den Patienten der vorliegenden Arbeit weniger Augmentationsmaterial eingebracht worden war als bei den anderen Studien. Zudem wurde in den anderen Studien die ESKG gemessen, so dass ein direkter Vergleich nur eingeschränkt möglich ist.

Der größte röntgenologische Knochenabbau von 3,8 mm über den Nachuntersuchungs-Zeitraum lag bei demjenigen Implantat vor, welches nach 128 Monaten Funktionsdauer verloren ging (IMPL #53). Bei den anderen 9 Implantaten, die von Abbau betroffen sind, fiel dieser geringer aus und lag im Mittel bei 1,03 mm.

Die Implantate waren anhand der VRH in drei Risikogruppen eingeteilt worden ( $A \leq 3,5$  mm: hohes Risiko,  $B \leq 5,5$  mm: mittleres Risiko und  $C > 5,5$  mm: geringes Risiko). Anhand einer Cox-Regression wurde der Einfluss der VRH als tatsächliches Risiko für die Überlebensrate der Implantate bestimmt. Der p-Wert war hierbei nicht signifikant ( $p = 0,561$  bzw.  $p = 0,770$ ) und signalisiert keinen Einfluss. Allerdings muss man diesen Test bei dem Patientenkollektiv kritisch sehen, da nur bei 7 Implantaten eine initiale Knochenhöhe von  $\leq 3,5$  mm vorlag, und diese Gruppe somit sehr klein war. In anderen Studien wurde eine VRH von unter 4 mm, welche der Risikogruppe A entspricht, als hohes Risiko des Implantatversagens angesehen (Rosen et al., 1999).

#### 4.3.3 Geschlecht und Alter (Demografische Faktoren)

Bei den nachkontrollierten Implantaten bei Männern und Frauen lässt sich feststellen, dass das Implantatüberleben unter den Geschlechtern nicht signifikant unterschiedlich ausgefallen ist ( $p = 0,61$ ). In der Kaplan-Meier-Kurve lässt sich eine große Überlagerung der Konfidenzintervalle ausmachen und ablesen, dass zu jedem Zeitpunkt fast identisch viele Implantate von Männern und Frauen in situ waren.

In Finnland wurden ca. 200.000 Implantate in den Jahren 1994 - 2012 erfasst und in Hinblick auf Implantat-Verlust untersucht. 3,1 % der Männer und 2,3 % der Frauen verloren dabei ein Implantat (Antalainen et al., 2013). Die Gründe des Implantat-Verlusts waren dabei Beweglichkeit, zu großer Knochenabbau und vom Patienten bemängelte Unverträglichkeit.

Altersbedingte Umstände können die Mundhygiene beeinflussen. Auch können unterschiedliche physische Einschränkungen dazu führen, dass Kontroll- und Prophylaxetermine nicht mehr in der Praxis wahrgenommen werden können. Dadurch könnten zum Beispiel beginnende entzündliche Prozesse wie eine Mukositis nicht rechtzeitig erkannt und somit nicht frühzeitig behandelt werden. Wenn zusätzlich noch

geistige Erkrankungen, z. B. Demenz, die im höheren Alter eine höhere Prävalenz zeigen, eine Rolle spielen, kann sich die unterstützende Therapie für den Behandler als auch den Patienten herausfordernd gestalten. Trotz zunehmend besserer medizinischer Versorgung und Medikamente steigt der Pflegebedarf mit zunehmendem Alter. Bei den 75- bis 79-Jährigen ist jeder Zehnte pflegebedürftig, bei den 80 - 85-Jährigen etwa jeder Fünfte.

Bei dem untersuchten Patientenkollektiv zeigt sich eine Altersverteilung zwischen 22 und 78 Jahren, wobei 50 % zwischen 49 und 63 Jahre alt ist. Berücksichtigt wurden auch Patienten, die eingestellte Erkrankungen wie Bluthochdruck oder Diabetes aufwiesen. Da es keine Richtlinien-Empfehlung dazu gibt, diese Patienten nicht mit Implantaten zu versorgen, wurden in den betreffenden Fällen jeweils keine Kontraindikationen gesehen.

Die Ergebnisse machen deutlich, dass ein mehr als 10-jähriges Implantatüberleben wahrscheinlich ist und das Alter eines Patienten allein kein Ausschlusskriterium für eine Implantatversorgung darstellen sollte.

#### 4.3.4 Biomaterial

Nedir et al. (2016) beschrieben, dass ein Sinuslift mit als auch ohne Augmentat erfolgreich ist, wenn die Knochenhöhe  $5,4 \pm 2,3$  mm beträgt. Genauso zeigen auch andere Meta-Analysen und Studien Erfolge mit oder ohne Einsatz von Augmentat (Chen und Shi, 2018; Fouad et al., 2018).

Von den verschiedenen Augmentationsmaterialien, die zur Verfügung stehen, wurde hier auf autologe Knochenspäne und xenogenes Augmentat Bio-Oss® Collagen und Bio-Gide® zurückgegriffen. Trat eine MAV auf, so wurde bei 64 % zusätzlich Bio-Gide® benutzt. Bei den Implantaten, die ohne Augmentat inseriert wurden, erfolgte röntgenologisch ebenso eine Osseointegration. Unter Abwägung der potentiellen Primärstabilität und Länge des Implantates wurde mitunter auf ein zusätzliches Augmentat verzichtet. Diese Implantate blieben alle in situ, ihre kleine Fallzahl erlaubte aber keine Subgruppenanalyse.

Ob generell ein Augmentat benutzt werden sollte oder nicht, ist davon abhängig zu machen, wieviel vertikaler Knochen (VRH) noch vorhanden ist. Liegt dieser bei unter

5 mm, sind die Überlebensraten geringer, was für eine zusätzliche Generierung von Knochen mittels Einbringung von Knochenersatzmaterial spricht (Del Fabbro et al., 2012).

Eine randomisierte Studie von Qian et al. (2020) untersuchte bei 40 Patienten, die eine transalveoläre Sinusbodenaugmentation mit simultaner Implantatinserterion erhielten, wie sich die VKH nach 10 Jahren veränderte. Das Patientenkollektiv wurde in zwei Gruppen eingeteilt: eine Gruppe mit Knochenaugmentat und eine ohne. Die Knochenhöhe lag zu Beginn bei  $4,58 \pm 1,28$  mm und entwickelte sich nach 10 Jahren bei beiden Gruppen ähnlich, so dass beide Verfahren zu voraussagbaren Ergebnissen führten. Allerdings sind die Überlebensraten bei der initialen VKH unter 5 mm mit 90,7 % bzw. 95,0 % geringer (Qian et al., 2020).

Zur Augmentation verfügbar sind auch synthetische Materialien, die den Vorteil bieten, dass dem Patienten keine zusätzliche Wunde zugefügt wird, wie es bei autologem Material der Fall sein kann, wenn es z. B. an der Hüfte entnommen wird. Allerdings haben synthetische Materialien nur osteokonduktive Eigenschaften, sodass die Einheilung mit tierischen oder menschlichen Wachstumsfaktoren positiver zu bewerten ist (Selcuk et al., 2017). Hierzu gibt die multizentrisch angelegte Studie von Franceschetti et al. aus dem Jahre 2020 Aufschluss, die verschiedene Augmentationsmaterialien bei einem einzeitigen Sinuslift verglich in Bezug auf die röntgenologisch sichtbare Osseointegration (Franceschetti et al., 2020). Berücksichtigt wurde autologer Knochen, autologer Knochen in Verbindung mit deproteinisiertem bovinem oder porcinem Knochenmineral (DBBM, DPBM), synthetisches Hydroxylapatit (S-HA) und  $\beta$ -Trikalziumphosphate ( $\beta$ -TCP). Unabhängig vom benutzten Augmentat waren die Implantate alle periimplantär von Knochen umgeben (osseointegriert), sodass von keiner Überlegenheit eines bestimmten Knochenersatzmaterials ausgegangen wird.

#### 4.3.5 Parodontitis-Vorgeschichte

Bei dem untersuchten Patientenkollektiv waren 118 Implantate Patienten zuzuordnen, die eine Parodontitis-Vorgeschichte aufwiesen (ca. 85 %) bei einem Durchschnittsalter von 55 Jahren. Ein Vergleich zur DMS VI ist nur bedingt möglich, da dieses Alter zwischen den jüngeren Erwachsenen (33 - 45 Jahre) und den jüngeren Senioren (65 - 74 Jahre) einzuordnen ist. Hier lag der Anteil der an Parodontitis Erkrankten aller Schwerestadien

bei 95,1 % (jüngere Erwachsene) und 85,2 % (jüngere Senioren) nach Einteilung in die neue Klassifikation für Parodontitis. Eine dezidierte Auswertung der Schwere der Parodontitis wurde bei den in der vorliegenden Arbeit untersuchten Patienten allerdings nicht erhoben, da alle im Vorfeld auf Entzündungsfreiheit behandelt wurden und eine unterstützende Betreuung im Recall erhielten.

Während der Beobachtungszeit aller Implantate manifestierte sich bei ca. 19 % der Implantate eine Periimplantitis und bei ca. 10 eine Mukositis. Im Mittel trat eine Mukositis nach ca. 60 Monaten und eine Periimplantitis nach ca. 102 Monaten auf. War eine erhöhte Sondierungstiefe zu messen, so betrug sie zwischen 6 und 8 mm an den fünf mit Entzündungszeichen der Mukosa diagnostizierten Implantaten.

Bei drei Vergleichsstudien wird von ST zwischen 2 - 6 mm über den Beobachtungszeitraum von 10 Jahren berichtet (Ferrigno et al., 2006), von < 2 mm (Nedir et al., 2016) und von 11,7 % mit ST über 5 mm (Caban et al., 2017).

In wie weit eine behandelte Parodontalerkrankung Einfluss auf den Erfolg und Komplikationen einer Implantation haben kann, wurde in der Dissertation von Fr. Dr. Menn 2018 untersucht (Menn, 2018a). In einer parodontologischen Fachpraxis wurden 288 Implantate bei 107 Patienten inseriert. Bestand eine Parodontalerkrankung, so wurde zuvor eine antiinfektiöse Therapie durchgeführt und erst bei STs < 5 mm begonnen. Nach einem Beobachtungszeitraum von 8,8 Jahren lag eine Überlebensrate von 99,9 % vor. Der Misserfolg wurde allerdings durch Faktoren einer schweren chronischen Parodontitis, starkes Rauchen, Diabetes und mangelnder Teilnahme an der Nachsorge begünstigt. Somit stellte eine behandelte Parodontalerkrankung keine Kontraindikation einer Implantatsetzung dar. Die Dissertation von Menn, 2018 über die longitudinale radiologische Bestimmung des periimplantären Knochenniveaus bei Patienten mit zuvor behandelter Parodontitis, ergab keinen signifikanten Knochenabbau nach Implantatinserion. Bei 94,8 % der Implantate lag dieser bei < 2 mm (Menn, 2018b).

#### 4.3.6 Andere Einflussfaktoren

Weiterhin wurden Raucher mit einbezogen, die nach einer Studie von DeLuca et al., (2006) ein erhöhtes Implantatverlust-Risiko aufweisen. Nichtraucher wiesen eine

Verlustrate von 13,33 % und Raucher von 23,08 % auf, was sich vor allem in der ersten post-chirurgischen Phase deutlich machte (DeLuca et al., 2006).

Diese Dissertation inkludierte 21 Raucher (n= 28 IMPL). Von diesen 28 Implantaten sind in dem Beobachtungszeitraum 7 verloren gegangen. Ein Verlust wurde einer MAV zugeschrieben, 5 einer Periimplantitis und einer dem Rauchen. Ob das Rauchen einen Einfluss auf die Entwicklung der Periimplantitis spielte und es demnach 6 Implantate sind, die dadurch verloren gegangen sind, ist nicht eindeutig differenzierbar.

Rauchen kann besonders in der Initialphase der Wundheilung kontraproduktiv wirken. Ramseier et al. (2010) schreiben dies Nikotineinlagerungen und kontrahierten Blutgefäßen zu, die verhindern, dass für die Einheilung wichtige Zellen das Wundgebiet erreichen können. Daher ist eine besondere raucherbezogene Aufklärung oder sogar die präventive Abgewöhnung notwendig (Ramseier et al., 2010).

Es wurden ausschließlich Studien diskutiert, die die Osteotomietechnik nach Summers nachuntersucht haben und keine, die sich mit geometrischen Bohrern, Ballons, Piezotechnik oder Wasserdruck zur Anhebung der Schneiderschen Membran befasst haben. Auch diese Techniken zeigen gute Ergebnisse und sind mit einer Lernkurve des Behandlers verbunden (Decker et al., 2024).

Bezogen auf die Auswahl des Implantatsystems ist zwar eine Heterogenität vorhanden, allerdings stellen die Implantate von Astra Tech® (54 %) und dem Brånemark System® (41 %) den Hauptanteil aller Implantate. Bei den Vergleichsstudien von Nedir et al. (2016) und Ferringo et al. (2006) die beide prospektiv angelegt waren und Implantate der Firma Straumann benutzten, fiel die Überlebensrate auch unterschiedlich aus mit 100 % zu 94,8 %, so dass der Implantat-Typ an sich vermutlich nicht den alleinigen Faktor darstellt.

#### 4.4 Alternativen zum Sinuslift

Da der interne Sinuslift eine zuverlässige und etablierte Methode ist, stellt sich die Frage, ob und wann man überhaupt auf eine andere Methode zurückgreifen sollte. Studien zum lateralen Sinuslift, bei dem ein Knochenfenster vestibulär im Alveolarknochen gefräst wird, um Sicht auf die Schneidersche Membran zu erlangen und mehr Knochen aufbauen zu können, zeigen ebenfalls deutliche Erfolge und werden bei geringer residualer



Knochenhöhe empfohlen (Ha et al., 2020; Raghoobar et al., 2019). Auch bei einer VRH  $< 3$  mm sind mit dem lateralen Sinuslift langfristig Erfolge festzustellen, auch wenn negative Einflussfaktoren des Rauchens oder einer perforierten Sinusmembran beschrieben sind (Park et al., 2019). Tartaglia et al. (2021) konstatierten, dass ab einer VRH von 4 - 6 mm ein xenogenes Knochenaugmentat dem alleinigen Blutkoagel für eine höhere Überlebensrate vorzuziehen ist (Tartaglia et al., 2021). Laut Konsensus Reports des 15. European Workshop on Periodontology bezüglich periimplantärer Knochenregeneration, ist der laterale Sinuslift eine sichere Variante für eine gute Langzeitprognose des Implantatüberlebens. Sowohl mit autologem als auch mit Knochenersatzmaterialien ist er erfolgreich und sollte bei gegebener Primärstabilität einzeitig durchgeführt werden (Jepsen et al., 2019).

Da die Technik aber nicht so minimalinvasiv wie der interne Sinuslift, chirurgisch anspruchsvoller und für den Patienten mit mehr Aufwand in z. B. einem zweizeitigen Verfahren verbunden ist, ist die einzeitige interne Sinusliftvariante unter Umständen von Vorteil. Allerdings ist die transalveoläre Sinusbodenaugmentation aufgrund des Knochenschalls unangenehm für den Patienten und birgt das Risiko einer MAV und Vertigo (Kadkhodazadeh et al., 2024). Dementsprechend können alternativ kurze Implantate verwendet werden, die keine Elevation erforderlich machen und ebenfalls gute Ergebnisse zeigen können (Corbella et al., 2013). Es wurden 4 Studien von 2004 - 2012 verglichen, in denen 901 Implantate im posterioren Bereich der Maxilla gesetzt wurden, die eine Länge von unter 10 mm haben. Das Implantatüberleben in einem Zeitraum bis zu 5 Jahre Nachverfolgung ist dokumentiert als 86,5 % - 98,2 %. Die VRH wurde nicht angegeben. Somit fällt die Langzeitprognose für Implantaterfolg von Fixturen von unter 10 mm Länge, die in der posterioren Maxilla ohne Sinuslift eingebracht wurden, geringer aus als bei der Methode nach Summers.

Ein anderes Systematic Review mit Meta-Analyse untersuchte die Überlebensraten von Implantaten, die mit einer Länge von  $< 8$  mm inseriert wurden und stellte keinen signifikanten Unterschied zu denen mit einer größeren Länge fest (Kotsovilis et al., 2009).

Aktuellere 3-Jahres-Untersuchungen von  $\leq 6$  mm - Implantaten zeigen ähnlich gute Ergebnisse wie der interne Sinuslift nach Summers mit geringerem marginalen Knochenverlust und postchirurgischen Komplikationen (Yan et al., 2019). Thoma et al.

verglichen 6 mm und 11 - 15 mm in Kombination mit einem Sinuslift, bei der die kürzeren Implantate ähnlich gute Langzeitstabilität aufwiesen (Thoma et al., 2024).

Schlussfolgernd sind daher kurze Implantate bei Versorgungen in Erwägung zu ziehen, die eine Alternative zu einem internen Sinuslift erlauben und evtl. Belastungen der Patienten, bedingt durch einen längeren chirurgischen Eingriff, vermeiden. Zusätzlich bieten Kurzimplantate denjenigen Behandlern eine Option, die eine Osteotomtechnik hinsichtlich ihrer chirurgischen Fähigkeiten und Erfahrungen umgehen wollen, immer unter Abwägung möglicher anderer Risiken.

## 5. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden retrospektiven Langzeitanalyse war es, der Aufforderung des 15. European Workshop on Periodontology, 2018 nachzukommen und mehr Ergebnisse zum Langzeitüberleben ( $\geq 10$  Jahre) von Implantaten beizutragen, die mittels maxillärer Sinusbodenaugmentation eingebracht wurden. Es wurden routinemäßig erhobene Befunde von Patienten im Alter von 22 - 78 Jahren ausgewertet, bei denen in einem Beobachtungszeitraum von 2002 bis 2013 Implantate in einer Aachener Fachpraxis für Parodontologie mittels transalveolärer Sinusbodenaugmentation mit simultaner Implantatinserion inseriert wurden. Primäres Ziel war es eine Aussage darüber zu treffen, ob die nachverfolgten Implantate nach 10 Jahren klinisch und röntgenologisch osseointegriert waren oder versagt haben. Nach einer Verweildauer von mindestens 120 Monaten (120 - 203 Monate) erfolgte diese Beurteilung an 49 nachverfolgbaren Implantaten. Von diesen waren 48 osseointegriert. Als signifikanter Einflussfaktor für die Überlebensrate wurde die Compliance des Patienten identifiziert ( $p = 0,006$ ). Als sekundäres Ziel wurde die röntgenologische Veränderung der periimplantären vertikalen Knochenhöhe nach 10 Jahren bestimmt. Die mittlere vertikale Knochenhöhe stieg von  $6,72 \pm 2,04$  mm auf  $7,50 \pm 1,91$  mm, sodass ein signifikanter Knochenzuwachs von  $0,75 \pm 1,36$  mm ( $p = 0,0003$ ) zu verzeichnen war. Für das tertiäre Ziel der Arbeit, die Evaluation des Behandlungserfolges, wurde die Definition der internationalen Pisa Konsensuskonferenz angewendet. Zum Zeitpunkt der 10-Jahres-Nachkontrolle war für 32 Implantate ein optimaler Erfolg, für 7 Implantate ein zufriedenstellender Erfolg, für 9 Implantate ein Kompromisserfolg und für ein Implantat ein Versagen zu verzeichnen.

In Übereinstimmung mit anderen Langzeitstudien, die allerdings nur eine kleinere Anzahl von Implantaten eingeschlossen hatten, zeigt diese Untersuchung aus einer Fachpraxis, dass Implantate mittels internen Sinuslift unter Anwendung der Osteotomietechnik auch bei reduzierter Knochenhöhe mit guter Langzeitprognose in den Oberkiefer inseriert werden können, unabhängig davon, ob Knochenersatzmaterial zur Augmentation verwendet wurde oder nicht. Eine gute Adhärenz der Patienten zu dem Nachsorgeprogramm war dabei sehr wichtig.

## 6. Anhang

**Anhang 1:** Auswertung Kaplan-Meier Kurve

**Anhang 2:** Kurve Patientenkollektiv nach 10 Jahren: 49 Patienten

**Anhang 3:** Cox-Regression VRH - Compliance

**Anhang 4:** Cox-Regression Compliance

**Anhang 5:** t-Test

**Anhang 1:** Auswertung Kaplan-Meier Kurve. Die Daten wurde mittels RStudio® ermittelt. Nach 1826 Tagen (5 Jahre) sind 112 von anfänglichen 139 Implantaten in situ, wobei 9 Implantate verloren gingen. Somit ergibt sich eine Überlebensrate von 94 %. Nach 3652 Tagen (10 Jahren) sind noch 49 Implantate in situ, welches eine Überlebensrate von 90 % ausmacht. Zu diesem Zeitpunkt sind 11 Implantate verloren gegangen.

Zeit [Tage]	n. risk	n. event	Survival	Std. error	Lower 95 % CI	Upper 95 % CI
27	138	1	0.993	0.00722	0.979	1.000
145	137	1	0.986	0.01017	0.966	1.000
289	135	1	0.971	0.01428	0.943	0.999
588	133	1	0.964	0.01593	0.933	0.995
1151	127	1	0.956	0.01752	0.922	0.991
1526	120	3	0.948	0.01910	0.911	0.986
<b>1826</b>	<b>112</b>	<b>9</b>	<b>0.94</b>	<b>0.0206</b>	<b>0.901</b>	<b>0.981</b>
2420	91	1	0.930	0.02278	0.886	0.976
2620	79	1	0.918	0.02535	0.870	0.969
<b>3652</b>	<b>49</b>	<b>11</b>	<b>0.9</b>	<b>0.0308</b>	<b>0.841</b>	<b>0.962</b>
4042	35	1	0.874	0.03919	0.800	0.954

**Anhang 2:** Patientenkollektiv nach 10 Jahren: 49 Patienten. U. a. wurde das Geschlecht (1= männlich, 0= weiblich), Alter in Jahren, Implantat-Region, Rauchverhalten und Parodontitis-Vorgeschichte (Raucher/ PA: 1= ja, 0= nein) erfasst.

Implantatnummer	Geschlecht	Alter	Implantat-Region	Raucher	Parodontitis-Vorgeschichte
4	1	56	26	0	1
5	1	56	27	0	1
6	0	66	16	0	1
7	0	66	26	0	1
16	1	55	16	1	1
17	1	61	16	0	1
18	1	61	26	0	1
19	0	78	15	0	1
20	0	78	16	0	1
22	0	66	16	0	1
23	0	55	16	0	1
28	0	36	26	1	0
31	0	51	26	1	1
36	1	69	26	0	1
37	1	69	27	0	1
38	1	57	25	0	1
53	1	52	16	1	1
58	0	70	16	0	1
59	0	70	17	0	1
60	0	70	27	0	1
62	0	63	16	0	1
63	0	63	26	0	1
64	0	55	16	1	1
65	0	52	27	0	1
66	1	70	16	0	1
67	1	70	25	0	1
68	1	70	26	0	1
70	0	58	15	0	1
72	0	51	16	0	1
74	0	67	15	0	1
75	1	49	16	0	1
79	1	71	16	0	1
80	1	71	26	0	1
81	1	58	16	0	1
92	1	64	25	0	1
94	0	36	17	1	1
95	0	36	27	1	1
96	1	74	26	0	1
98	1	52	25	0	1
100	1	50	16	0	1
104	1	49	16	1	1
108	0	32	26	0	1
111	0	50	27	0	0
112	0	42	26	0	0
116	1	22	27	0	0
131	1	61	14	0	1
132	1	61	15	0	1
133	1	61	24	0	1
134	1	61	25	0	1

**Anhang 3:** Cox-Regression VRH - Compliance. Die Ergebnisse der Cox-Regression mit den variablen VRH und Compliance zeigen in Bezug auf das Implantatüberleben keine Signifikanz für die VRH ( $p = 0,56106$  bzw.  $p = 0,77068$ ) aber eine hohe Signifikanz bei der Compliance ( $p = 0,00965$ ). Die Konkordanz von 73 % zeigt eine gute Vorhersageleistung des Modells aus.

Variable	Koeffizient	exp(coef)	se(coef)	z	Pr(> z )
Compliance C0	1.6683	5.3030	0.6446	2.588	<b>0.00965**</b>
Risiko VRH B	-0.7163	0.4885	1.2323	-0.581	<b>0.56106</b>
Risiko VRH C	-0.3098	0.7336	1.0628	-0.2091	<b>0.77068</b>
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Test	Wert	Standardabweichung		p-Wert	
Concordance	0.728	se = 0.062			
Likelihood ratio test	7.88 on 3 df			0.05	
Wald test	7.16 on 3 df			0.07	
Score (logrank) test	8.69 on 3 df			0.03	

**Anhang 4:** Cox-Regression Compliance. Führt man die Cox-Regression für die Compliance durch ohne den Einfluss der VRH, so erhält man einen p-Wert von 0,00658, welches somit eine ausschlaggebende Signifikanz für die Compliance darstellt. Die Compliance hat demnach einen Einfluss auf die Überlebensrate der Implantate.

Variable	Koeffizient	exp(coef)	se(coef)	z	Pr(> z )
Compliance C0	1.7329	5.6569	0.6378	2.717	<b>0.00658**</b>
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Test	Wert	Standardabweichung		p-Wert	
Concordance	0.714	se = 0.062			
Concertante ratio test	8.04 on 1 df			0.005	
Wald test	7.38 on 1 df			0.007	
Score (logrank) test	9.09 on 1 df			0.003	

**Anhang 5:** t-Test. Der Abhängige t-Test wurde für die VRH nach 10 Jahren durchgeführt und ergab für 43 Werte einen signifikanten p-Wert von 0,000347. Diesem Ergebnis zur Folge, besteht eine statistische Signifikanz, dass die Werte der VRH, nach erfolgtem Sinuslift zunehmen.

```

Paired t-test

data:  DissR[!is.na(DissR$`m2-d2`), ]$`m2-d2` and DissR[!is.na(DissR$`m2-d2`), ]$`m1-d1`
t = 3.6556, df = 43, p-value = 0.000347
alternative hypothesis: true difference in means is greater than 0
95 percent confidence interval:
 0.4051017      Inf
sample estimates:
mean of the differences
          0.75

```

## 7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: DMS V .....	15
Abbildung 2: DMS VI Parodontalerkrankungen- Staging bei jüngeren Erwachsenen. ...	15
Abbildung 3: DMS VI Parodontalerkrankungen- Staging bei jüngeren Seniorinnen und Senioren.....	16
Abbildung 4: Interner Sinuslift nach Summers. ....	17
Abbildung 5: Verwendete Implantatsysteme. ....	28
Abbildung 6: Ermittlung der Knochenhöhe zum Zeitpunkt der Implantatinserktion .....	31
Abbildung 7: Vermessung der Knochenhöhe nach 10 Jahren. ....	32
Abbildung 8: Flussdiagramm zur Darstellung der nachverfolgten Implantate. ....	36
Abbildung 9: Verteilung der Implantate pro Patienten. ....	37
Abbildung 10: Implantat #102.....	38
Abbildung 11: Compliance der Patienten bei der 5 Jahres-Nachverfolgung. ....	39
Abbildung 12: Kaplan-Meier Kurve aller nachverfolgten 139 Implantate.....	40
Abbildung 13: Vertikale Restknochenhöhe bei Insertion der IMPL <sub>5</sub> -Jahre. ....	41
Abbildung 14 Risikoverteilung der Implantate anhand der VRH.....	42
Abbildung 15: Entzündungsprozesse innerhalb von 5 Jahren. ....	43
Abbildung 16: Erfolgseinteilung nach 5 Jahren. ....	44
Abbildung 17: Implantate pro Patient. ....	45
Abbildung 18: Implantat #113 zum Zeitpunkt der Freilegung. ....	46
Abbildung 19: Compliance nach 10 Jahren.....	47



Abbildung 20: Implantat #53: .....	48
Abbildung 21: Kaplan-Meier Kurve für Frauen und Männer. ....	49
Abbildung 22: Kaplan-Meier-Kurve Compliance.....	51
Abbildung 23: Vertikale Restknochenhöhe bei Insertion: $6,72 \pm 2,04$ mm. ....	52
Abbildung 24: Röntgenologische Verlaufskontrolle. ....	52
Abbildung 25: Risikoverteilung der 10-Jahres Implantate anhand der VRH.....	53
Abbildung 26: Vertikale Knochenhöhe nach 10 Jahren.....	54
Abbildung 27: Veränderung der VKH nach 10 Jahren- IMPL <sub>10-Jahre</sub> .....	55
Abbildung 28: Box-Plot-Darstellung der Veränderung der VKH- IMPL10-Jahre. ....	56
Abbildung 29: Erfolgseinteilung - IMPL10-Jahre. ....	58

## 8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Knochenstruktur nach Misch und Judy, 1987 .....	12
Tabelle 2: Einteilung des Implantaterfolges .....	22
Tabelle 3: Beispiel Dokumentation.....	30
Tabelle 4: Sondierungswerte der IMPL <sub>10-Jahre</sub> > 5 mm.....	57
Tabelle 5: Vergleichsstudien 10-Jahre.....	63

## 9. Literaturverzeichnis

Abi Najm S, Nurdin N, El Hage M, Bischof M, Nedir R. Osteotome Sinus Floor Elevation Without Grafting: A 10-Year Clinical and Cone-Beam Sinus Assessment. *Implant Dent.* 2018; 27: 439-444

Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR. The long-term efficacy of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1986; 1: 11-25

Aludden H, Mordenfeld A, Hallman M, Christensen AE, Starch-Jensen T. Osteotome-Mediated Sinus Floor Elevation With or Without a Grafting Material: A Systematic Review and Meta-analysis of Long-term Studies ( $\geq 5$ -Years). *Implant Dent.* 2018; 27: 488-497

Antalainen AK, Helminen M, Forss H, Sandor GK, Wolff J. Assessment of removed dental implants in Finland from 1994 to 2012. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2013; 28: 1612-1618

BDIZ EDI, 2021: Konsensuskonferenz Implantologie. <https://www.konsensuskonferenz-implantologie.eu/> (Zugriffsdatum: 30.03.2025)

Beck-Broichsitter BE, Gerle M, Wiltfang J, Becker ST. Perforation of the Schneiderian membrane during sinus floor elevation: a risk factor for long-term success of dental implants? *Oral Maxillofac Surg.* 2020; 24: 151–156

Boyne PJ, James RA. Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone. *J Oral Surg.* 1980; 38: 613-616

Buser D, Weber HP, Lang NP. Tissue integration of non-submerged implants. 1-year results of a prospective study with 100 ITI hollow-cylinder and hollow-screw implants. *Clin Oral Implants Res.* 1990; 1: 33-40

Caban J, Fermergard R, Abtahi J. Long-term evaluation of osteotome sinus floor elevation and simultaneous placement of implants without bone grafts: 10-Year radiographic and clinical follow-up. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2017; 19: 1023-1033

Calin C, Petre A, Drafta S. Osteotome-mediated sinus floor elevation: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2014; 29: 558-576

Chanavaz M. Maxillary sinus: anatomy, physiology, surgery, and bone grafting related to implantology--eleven years of surgical experience (1979-1990). *J Oral Implantol*. 1990; 16: 199-209

Chen L, Cha J, Chen HC. Two different clinical indications using hydraulic sinus condensing (HSC) technique: ten years follow-up. *Dent Implantol Update*. 2009; 20: 33-38

Chen MH, Shi JY. Clinical and Radiological Outcomes of Implants in Osteotome Sinus Floor Elevation with and without Grafting: A Systematic Review and a Meta-Analysis. *J Prosthodont*. 2018; 27: 394-401

Corbella S, Taschieri S, Del Fabbro M. Long-Term Outcomes for the Treatment of Atrophic Posterior Maxilla: A Systematic Review of Literature. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2013; 17: 120-132

Cosci F, Luccioli M. A new sinus lift technique in conjunction with placement of 265 implants: a 6-year retrospective study. *Implant Dent*. 2000; 9: 363-368

Cox DR. Regression Models and Life-Tables. *Journal of the Royal Statistical Society*. 1972; 32: 187-220

Decker AM, Stuhr S, Testori T, Wang HL. Clinical and radiographic changes following transcrestal sinus augmentation: A scoping review of the last 25 years. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2024; 26: 1338-1353

Del Fabbro M, Corbella S, Weinstein T, Ceresoli V, Taschieri S. Implant survival rates after osteotome-mediated maxillary sinus augmentation: a systematic review. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2012; 14 Suppl 1: e159-168

DeLuca S, Habsha E, Zarb GA. The effect of smoking on osseointegrated dental implants. Part I: implant survival. *Int J Prosthodont*. 2006; 19: 491-498

El Hage M, Nurdin N, Abi Najm S, Bischof M, Nedir R. Osteotome Sinus Floor Elevation Without Grafting: A 10-Year Study of Cone Beam Computerized Tomography vs Periapical Radiography. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2019; 39: e89-e97

Fernandez de Grado G, Keller L, Idoux-Gillet Y, Wagner Q, Musset AM, Benkirane-Jessel N, Bornert F, Offner D. Bone substitutes: a review of their characteristics, clinical use, and perspectives for large bone defects management. *J Tissue Eng*. 2018; 9: 1-18

Ferrigno N, Laureti M, Fanali S. Dental implants placement in conjunction with osteotome sinus floor elevation: a 12-year life-table analysis from a prospective study on 588 ITI implants. *Clin Oral Implants Res*. 2006; 17: 194-205

Fouad W, Osman A, Atef M, Hakam M. Guided maxillary sinus floor elevation using deproteinized bovine bone versus graftless Schneiderian membrane elevation with simultaneous implant placement: Randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2018; 20: 424-433

Franceschetti G, Farina R, Minenna L, Riccardi O, Stacchi C, Di Raimondo R, Maietti E, Trombelli L. The impact of graft remodeling on peri-implant bone support at implants placed concomitantly with transcrestal sinus floor elevation: A multicenter, retrospective case series. *Clin Oral Implants Res*. 2020; 31: 105-120

Franke M, Bröseler F, Tietmann C. Patient-related Evaluation After Systematic Periodontal Therapy - A Clinical Study on Periodontal Health-related Quality of Life (PHQoL). *Oral Health Prev Dent*. 2015; 13: 163-168

French D, Nadji N, Shariati B, Hatzimanolakis P, Larjava H. Survival and Success Rates of Dental Implants Placed Using Osteotome Sinus Floor Elevation Without Added Bone Grafting: A Retrospective Study with a Follow-up of up to 10 Years. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2016; 36 Suppl: s89-97

Giesenhausen B, Martin N, Jung O, Barbeck M. Bone Augmentation and Simultaneous Implant Placement with Allogenic Bone Rings and Analysis of Its Purification Success. *Materials (Basel)*. 2019; 12:

Ha J, Son JH, Sung IY, Cho YC, Choi JH. Clinical outcome of implants placed in grafted maxillary sinus via lateral approach: A 10-year follow-up study. *J Dent Sci.* 2020; 15: 270-277

Haugen HJ, Lyngstadaas SP, Rossi F, Perale G. Bone grafts: which is the ideal biomaterial? *J Clin Periodontol.* 2019; 46 Suppl 21: 92-102

Informationsstelle für Kariesprophylaxe DAfZ, 2019: Die 4 Säulen der Kariesprophylaxe. <https://www.kariesvorbeugung.de/die-4-saeulen-der-kariesprophylaxe.html> (Zugriffsdatum: 30.03.2025)

Jepsen S, Schwarz F, Cordaro L, Derks J, Hammerle CHF, Heitz-Mayfield LJ, Hernandez-Alfaro F, Meijer HJA, Naenni N, Ortiz-Vigon A, Pjetursson B, Raghoobar GM, Renvert S, Rocchietta I, Roccuzzo M, Sanz-Sanchez I, Simion M, Tomasi C, Trombelli L, Urban I. Regeneration of alveolar ridge defects. Consensus report of group 4 of the 15th European Workshop on Periodontology on Bone Regeneration. *J Clin Periodontol.* 2019; 46 Suppl 21: 277-286

Jimenez-Valdivia LM, Malpartida-Carrillo V, Rodriguez-Cardenas YA, Dias-Da Silveira HL, Arriola-Guillen LE. Midpalatal suture maturation stage assessment in adolescents and young adults using cone-beam computed tomography. *Prog Orthod.* 2019; 20: 38

Jordan AR, Wiltfang J, W. G, Heydecke G. 6.th German Oral Health Study (DMS 6). *Quintessence international* 2025; 56: 140

Jordan RA, Bodechtel C, Hertrampf K, Hoffmann T, Kocher T, Nitschke I, Schiffner U, Stark H, Zimmer S, Micheelis W, Group DVSI. The Fifth German Oral Health Study (Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie, DMS V) - rationale, design, and methods. *BMC Oral Health.* 2014; 14: 161

Kadkhodazadeh M, Alimardani Y, Azadi A, Daneshvar A, Amid R, Khaleghi A. Clinical outcomes of implants placed with transcrestal maxillary sinus elevation: a systematic review and meta-analysis. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2024; 62: 685-703

Kalyvas D, Kapsalas A, Paikou S, Tsiklakis K. Thickness of the Schneiderian membrane and its correlation with anatomical structures and demographic parameters using CBCT tomography: a retrospective study. *Int J Implant Dent.* 2018; 4: 32

Kaplan EL, Meier P. Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association.* 1958; 53: 457-481

Karageorgiou V, Kaplan D. Porosity of 3D biomaterial scaffolds and osteogenesis. *Biomaterials.* 2005; 26: 5474-5491

Kim JM, Sohn DS, Bae MS, Moon JW, Lee JH, Park IS. Flapless transcrestal sinus augmentation using hydrodynamic piezoelectric internal sinus elevation with autologous concentrated growth factors alone. *Implant Dent.* 2014; 23: 168-174

Kotsovilis S, Fourmouis I, Karoussis IK, Bamia C. A systematic review and meta-analysis on the effect of implant length on the survival of rough-surface dental implants. *J Periodontol.* 2009; 80: 1700-1718

Kretlow JD, Mikos AG. Review: mineralization of synthetic polymer scaffolds for bone tissue engineering. *Tissue Eng.* 2007; 13: 927-938

Menn IK. Klinische Analyse von Implantaterfolg, Komplikationen und periimplantären Erkrankungen bei Patienten einer parodontologischen Fachpraxis. *Medizinische Fakultät.* Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, 2018a, 104

Menn PC. Radiologische Analyse des periimplantären Knochenniveaus bei Patienten einer parodontologischen Fachpraxis, Eine retrospektive Langzeitsstudie. *Medizinische Fakultät.* Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, 2018b, 70

Micheelis W, Bauch J. Mundgesundheits in der Bundesrepublik Deutschland,

Ausgewählte Ergebnisse einer bevölkerungsrepräsentativen Erhebung des Mundgesundheitszustandes und -verhaltens in der Bundesrepublik Deutschland. Köln: IDZ, Institut der Deutschen Zahnärzte, 1990, 67

Misch CE. The implant quality scale: a clinical assessment of the health--disease continuum. *Oral Health*. 1998; 88: 15-20, 23-15; quiz 25-16

Misch CE, Judy KW. Classification of partially edentulous arches for implant dentistry. *Int J Oral Implantol*. 1987; 4: 7-13

Misch CE, Perel ML, Wang HL, Sammartino G, Galindo-Moreno P, Trisi P, Steigmann M, Rebaudi A, Palti A, Pikos MA, Schwartz-Arad D, Choukroun J, Gutierrez-Perez JL, Marenzi G, Valavanis DK. Implant success, survival, and failure: the International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference. *Implant Dent*. 2008; 17: 5-15

Mombelli A, Lang NP. Clinical parameters for the evaluation of dental implants. *Periodontol 2000*. 1994; 4: 81-86

Nedir R, Nurdin N, Vazquez L, Abi Najm S, Bischof M. Osteotome Sinus Floor Elevation without Grafting: A 10-Year Prospective Study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2016; 18: 609-617

Nisand D, Picard N, Rocchietta I. Short implants compared to implants in vertically augmented bone: a systematic review. *Clin Oral Implants Res*. 2015; 26 Suppl 11: 170-179

Oliveira R, El Hage M, Carrel JP, Lombardi T, Bernard JP. Rehabilitation of the edentulous posterior maxilla after sinus floor elevation using deproteinized bovine bone: a 9-year clinical study. *Implant Dent*. 2012; 21: 422-426

Park WB, Kang KL, Han JY. Factors influencing long-term survival rates of implants placed simultaneously with lateral maxillary sinus floor augmentation: A 6- to 20-year retrospective study. *Clin Oral Implants Res*. 2019; 30: 977-988

Pjetursson BE, Thoma D, Jung R, Zwahlen M, Zembic A. A systematic review of the survival and complication rates of implant-supported fixed dental prostheses (FDPs) after a mean observation period of at least 5 years. *Clin Oral Implants Res*. 2012; 23 Suppl 6: 22-38



Proussaefs P, Lozada J, Kim J. Effects of sealing the perforated sinus membrane with a resorbable collagen membrane: a pilot study in humans. *J Oral Implantol*. 2003; 29: 235-241

Pstras L, Thomaseth K, Waniewski J, Balzani I, Bellavere F. The Valsalva manoeuvre: physiology and clinical examples. *Acta Physiol (Oxf)*. 2016; 217: 103-119

Qian SJ, Mo JJ, Si MS, Qiao SC, Shi JY, Lai HC. Long-term outcomes of osteotome sinus floor elevation with or without bone grafting: The 10-year results of a randomized controlled trial. *J Clin Periodontol*. 2020; 47: 1016-1025

Raghoobar GM, Onclin P, Boven GC, Vissink A, Meijer HJA. Long-term effectiveness of maxillary sinus floor augmentation: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Periodontol*. 2019; 46 Suppl 21: 307-318

Ramseier CA, Warnakulasuriya S, Needleman IG, Gallagher JE, Lahtinen A, Ainamo A, Alajbeg I, Albert D, Al-Hazmi N, Antohe ME, Beck-Mannagetta J, Benzian H, Bergstrom J, Binnie V, Bornstein M, Buchler S, Carr A, Carrassi A, Casals Peidro E, Chapple I, Compton S, Crail J, Crews K, Davis JM, Dietrich T, Enmark B, Fine J, Gallagher J, Jenner T, Forna D, Fundak A, Gyenes M, Hovius M, Jacobs A, Kinnunen T, Knevel R, Koerber A, Labella R, Lulic M, Mattheos N, McEwen A, Ohrn K, Polychronopoulou A, Preshaw P, Radley N, Rosseel J, Schoonheim-Klein M, Suvan J, Ulbricht S, Verstappen P, Walter C, Warnakulasuriya S, Wennstrom J, Wickholm S, Zoitopoulos L. Consensus Report: 2nd European Workshop on Tobacco Use Prevention and Cessation for Oral Health Professionals. *Int Dent J*. 2010; 60: 3-6

Rancitelli D, Borgonovo AE, Cicciu M, Re D, Rizza F, Frigo AC, Maiorana C. Maxillary Sinus Septa and Anatomic Correlation With the Schneiderian Membrane. *J Craniofac Surg*. 2015; 26: 1394-1398

Reich E, Hiller KA. Reasons for tooth extraction in the western states of Germany. *Community Dent Oral Epidemiol*. 1993; 21: 379-383

Righesso L, Blatt S, Kwon Y-D, Al-Nawas B. Primärstabilität dentaler Implantate - Eine Übersichtsarbeit. *Implantologie*. 2016; 24: 261-268

Rosen PS, Summers R, Mellado JR, Salkin LM, Shanaman RH, Marks MH, Fugazzotto PA. The bone-added osteotome sinus floor elevation technique: multicenter retrospective report of consecutively treated patients. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1999; 14: 853-858

Safii SH, Palmer RM, Wilson RF. Risk of implant failure and marginal bone loss in subjects with a history of periodontitis: a systematic review and meta-analysis. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2010; 12: 165-174

Schmidlin PR, Muller J, Bindl A, Imfeld H. Sinus floor elevation using an osteotome technique without grafting materials or membranes. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2008; 28: 401-409

Schulte E, Schumacher U, Schünke M. PROMETHEUS Lernatlas der Anatomie. Kopf und Neuroanatomie Thieme, 2006

Selcuk S, Madani E, Patyna M, Bröseler F, Smeets R. Der Einsatz von Knochenersatzmaterialien in der Parodontalchirurgie. *Quintessenz*. 2017; 68: 765-776

Shi JY, Qian SJ, Gu YX, Qiao SC, Tonetti MS, Lai HC. Long-term outcomes of osteotome sinus floor elevation without grafting in severely atrophic maxilla: A 10-year prospective study. *J Clin Periodontol*. 2020; 47: 1528-1535

Silness J, Loe H. Periodontal Disease in Pregnancy. II. Correlation between Oral Hygiene and Periodontal Condition. *Acta Odontol Scand*. 1964; 22: 121-135

Silva-Junior MF, Sousa ACC, Batista MJ, Sousa M. Oral health condition and reasons for tooth extraction among an adult population (20-64 years old). *Cien Saude Colet*. 2017; 22: 2693-2702

Smiler DG, Holmes RE. Sinus lift procedure using porous hydroxyapatite: a preliminary clinical report. *J Oral Implantol*. 1987; 13: 239-253

Soltan M, Smiler DG. Antral membrane balloon elevation. *J Oral Implantol*. 2005; 31: 85-90

Summers RB. A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique. *Compendium*. 1994; 15: 152, 154-156, 158 passim; quiz 162

Tallgren A. The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: a mixed-longitudinal study covering 25 years. 1972. *J Prosthet Dent*. 1972; 89: 427-435

Tan WC, Lang NP, Zwahlen M, Pjetursson BE. A systematic review of the success of sinus floor elevation and survival of implants inserted in combination with sinus floor elevation. Part II: transalveolar technique. *J Clin Periodontol*. 2008; 35: 241-254

Tartaglia GM, Poli PP, Connelly ST, Maiorana C, Farronato D, Taschieri S. Clinical Outcome of Dental Implants after Maxillary Sinus Augmentation with and without Bone Grafting: A Retrospective Evaluation. *Materials (Basel)*. 2021; 14:

Tatum H, Jr. Maxillary and sinus implant reconstructions. *Dent Clin North Am*. 1986; 30: 207-229

Tetsch J, Tetsch P, Lysek DA. Long-term results after lateral and osteotome technique sinus floor elevation: a retrospective analysis of 2190 implants over a time period of 15 years. *Clin Oral Implants Res*. 2010; 21: 497-503

Thoma DS, Haas R, Sporniak-Tutak K, Garcia A, Taylor TD, Tutak M, Pohl V, Hämmerle CHF. Randomized controlled multi-centre study comparing shorter dental implants (6 mm) to longer dental implants (11–15 mm) in combination with sinus floor elevation procedures: 10-year data. *Journal of Clinical Periodontology*. 2024; 51: 499-509

Tonetti MS, Greenwell H, Kornman KS. Staging and grading of periodontitis: Framework and proposal of a new classification and case definition. *J Periodontol*. 2018; 89 Suppl 1: S159-s172

Utz A, 2021: Oberflächen des Straumann® Dental Implant Systems. <https://www.straumann.com/de/de/dentaler-fachbereich/produkte-und-loesungen/dentalimplantate/implantatoberflaechen.html> (Zugriffsdatum: 01.06.2023)

Vitale-Brovarone C, Verne E, Robiglio L, Martinasso G, Canuto RA, Muzio G. Biocompatible glass-ceramic materials for bone substitution. *J Mater Sci Mater Med*. 2008; 19: 471-478

Wood RM, Moore DL. Grafting of the maxillary sinus with intraorally harvested autogenous bone prior to implant placement. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1988; 3: 209-214

Yan Q, Wu X, Su M, Hua F, Shi B. Short implants ( $\leq 6$  mm) versus longer implants with sinus floor elevation in atrophic posterior maxilla: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2019; 9: e029826

## 10. Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Poliklinik für Chirurgische Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums Bonn unter Betreuung von Prof. Dr. Dr. Søren Jepsen, M.S. durchgeführt. Die Konzeption der Arbeit erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. Frank Bröseler, 2. Betreuer.

Das zur Auswertung verwendete Datenmaterial wurde von Dr. Frank Bröseler und Dr. Christina Tietmann (Praxis Paro Aachen) generiert und von mir eigenständig in der Datenbank der Praxis gefiltert und zugehörige Röntgenaufnahmen digitalisiert und ausgewertet.

Die statistische Auswertung erfolgte (nach Anleitung durch Dr. Heiko Wagner) durch mich.

Bei der Erstellung dieser Arbeit verwendete ich ChatGPT, um Die Cox-Regression auszuwerten. Nach der Verwendung dieses Tools habe ich die entsprechende Passage bearbeitet. Die Arbeit wurde von der Mentorium GmbH formatiert und einem vorläufigem Plagiatscheck unterzogen. Ich übernehme die volle Verantwortung für den Inhalt der veröffentlichten Dissertationsschrift.

Ich versichere, die Dissertationsschrift selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

## 11. Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt,

Herrn Prof. Dr. Dr. S. Jepsen, M.S. für die freundliche Überlassung des Themas dieser Dissertation und sein stetes Interesse am Fortgang der Arbeit.

Einen besonderen Dank möchte ich Herrn Dr. Frank Bröseler für die herzliche Betreuung und Unterstützung bei der gesamten Arbeit aussprechen.

Außerdem möchte ich mich bei meiner Familie und Freunden bedanken, die stets Rücksicht genommen und mich unterstützt haben. Danke an Amrai, Patricia, Margarethe, Denise und alle anderen, wenn ihr mir die Zeit und Motivation gegeben habt und immer ein offenes Ohr für mich hattet.

Mein größter Dank geht an meine Eltern. Ihr seid immer für mich da und unterstützt mich bei allem, was ich tue, in jeder Lebenslage. Ohne euren Rückhalt wäre diese Arbeit und vieles mehr nicht zustande gekommen. Danke, dass es euch gibt.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei

Frau Irma Steufmehl für ihre wertvollen Tipps und Hilfestellung bei der Datensuche,

Frau Dr. med. dent. Christina Tietmann für die Datenbereitstellung,

Herrn Dr. Heiko Wagner für die statistische Auswertung der Daten (promovierter Volkswirt mit Schwerpunkt Statistik),

Herrn Dr. Iman Mizani für Recherchetipps und Gliederung.