

**Aus der Abteilung Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie  
(Prof. Dr. med. Dr. med. dent. H. Schliephake)  
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen**

---

**Knochenregeneration mit mikrofixierten Titanbarrieren  
an zahnlosen und implantattragenden Kieferabschnitten**

**INAUGURAL – DISSERTATION  
zur Erlangung des Doktorgrades  
für Zahnheilkunde  
der Medizinischen Fakultät  
der Georg-August-Universität zu Göttingen**

**vorgelegt von  
Wyszkowski, Agatha  
aus  
Danzig**

**Göttingen 2010**

**Dekan:**

Prof. Dr. med. C. Frömmel

**I. Berichterstatter:**

Prof. Dr. med. Dr. med. dent. W. Engelke

**II. Berichterstatter/in:**

**III. Berichterstatter/in:**

**Tag der mündlichen Prüfung:**

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung in das Thema	1
1.2	Knochen	3
1.2.1	Anatomie, Histologie und Entstehung des Knochens	3
1.2.2	Allgemeine biologische und histologische Grundlagen der Knochenregeneration und des Knochenwachstums	5
1.3	Knochenresorption und Augmentationen	8
1.3.1	Klassifizierung der Dimension des Implantatlagers	9
1.4	Augmentationstechniken des Knochenlagers am Implantat	10
1.4.1	Modalitäten des Knochenersatzes	10
1.4.2	OP-Techniken mit autologem Knochen	13
1.4.3	Praxisreife operative Alternativen zur klassischen Knochentransplantation	16
1.5	GBR (Guided Bone Regeneration)	17
1.5.1	Membranen	20
1.5.2	Füllmaterialien	23
1.5.3	Zeitpunkt der Implantation	25
1.6	Minimalinvasive Verfahren zur Knochenregeneration	26
1.7	Periimplantitis	29
<b>1.8</b>	<b>Ziel der Arbeit</b>	<b>31</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>32</b>
2.1	Patientenkollektiv	32
2.2	Indikationsstellung	32
2.3	Operationsverfahren	33
2.3.1	Präoperative Diagnostik – klinisch und radiologisch	33
2.3.2	Operationsbericht	34
2.3.3	Explantation	37
2.3.4	Prothetische Versorgung	37
2.4	Material	38
2.4.1	Obturator	38
2.4.2	Schrauben	38
2.4.3	Augmentationsmaterial	39
2.4.4	Implantatsysteme	39
2.4.5	Endoskop (Odontoskop)	40
2.5	Evaluationen	40
2.5.1	Kollektiv und Untersuchungszeitraum	40
2.5.2	Komplikationen und Implantaterfolg	41
2.5.3	Klinische Untersuchungsparameter	42
2.5.4	Radiologische Untersuchung	44
2.5.5	Patientenfragebogen	46
2.6	Statistische Untersuchung	46
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>47</b>
3.1	Kollektiv und Untersuchungszeitraum	47
3.2	Komplikationen und Implantaterfolg	48
3.3	Klinische Untersuchungsparameter (Periimplantärer Zustand)	50

3.3.1	SBI – Sulcus-Blutungs-Index	50
3.3.2	BOP – Bleeding-on-probing	52
3.3.3	ST – Sondierungstiefe am Implantat	53
3.3.4	Periotest – Implantatstabilität	54
3.4	Radiologische Untersuchung – Knochenhöhe	55
3.5	Patientenfragebogen	58
3.5.1	Prothetische Versorgung	58
3.5.2	Behandlungsverlauf	59
3.6	Kasuistik	60
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>65</b>
4.1	Diskussion der Operationsmethode	65
4.2	Diskussion der Evaluationen und Ergebnisse	70
4.2.1	Komplikationen und Implantaterfolg	71
4.2.2	Klinische Untersuchungsparameter (Periimplantärer Zustand)	78
4.2.3	Radiologische Untersuchung	81
4.2.4	Patientenbewertung	85
4.2.5	Schlussfolgerung und klinischer Ausblick	86
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>88</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>91</b>
6.1	Abkürzungsverzeichnis	91
6.2	Abbildungsverzeichnis	92
6.3	Tabellenverzeichnis	93
6.4	Literaturtabelle	94
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>95</b>

## 1 Einleitung

### 1.1 Einführung in das Thema

Eine erfolgreiche Insertion von zahnärztlichen Implantaten in den Kieferknochen erfordert ein ausreichendes lokales Knochenangebot. Bei mangelhaftem Knochenangebot ist keine Osseointegration zu erwarten (Spiekermann 1994).

Die Defektdeckung bei Mangel an Knochenangebot ist in der heutigen oralen Chirurgie zum festen Bestandteil geworden, insbesondere bei späterer Implantation. Im stark atrophierten Kiefer ist eine erfolgsversprechende und risikoarme Anwendung enossaler Implantate oft nur in Kombination mit einer Augmentation des Kieferkamms möglich. Als Alternative zur früheren Knochentransplantation bei Knochenatrophie rückt die Kieferkammaugmentation mit Membranen nach dem Prinzip der gesteuerten Knochenregeneration (guided bone regeneration, GBR) zunehmend in den Vordergrund. Die GBR, die aus dem Konzept der gesteuerten Geweberegeneration (guided tissue regeneration, GTR) entwickelt wurde, wird zur Rekonstruktion von Knochendefekten im Zusammenhang mit dentalen Implantaten benutzt. Zielsetzung ist die Regeneration von knöchernen Defekten, so des Alveolarknochens mit vollständiger Osseointegration eines Titanimplantats. Die Membran als mechanische Barriere wird dicht am Knochen, ggf. auch über einem vorhandenen Implantat angebracht und sichert so einen freien Spaltraum über der knöchernen Defektzone für das Einwachsen von angrenzendem Knochengewebe (Prinzip des Spacemaking). Eine Besiedlung des Wundgebietes, des regenerativen Raums, während der Heilung durch Bindegewebs- und / oder Epithelzellen aus der unmittelbaren Umgebung wird somit verhindert. Das schneller proliferierende Bindegewebe verhindert sonst die Osteoblastenmigration und damit die Osteogenese (Dahlin et al. 1990, Nyman et al. 1990).

Die klinische Untersuchung an Tieren belegte am histologischen Bild die membrangeschützte Knochenregeneration (Schenk et al. 1994). Während anfänglich semipermeable, poröse ePTFE-Membranen als mechanische Barriere dienten (Dahlin et al. 1990, 1994, Schenk et al. 1994), wurden neue nicht resorbierbare, mikroporöse PTFE-Membranen mit hoher Dichte eingesetzt. Diese konnten nach Einheilung und Knochengewebebildung wieder entfernt werden (Bartee 1998). Gleichzeitig wurden bioresorbierbare Kollagenmembranen zur signifikanten Knochenregeneration verwendet. Diese wiesen eine gute Adaptation und den Vorteil eines einmaligen Eingriffes auf (Oh et al. 2003). Die verschiedenen Ausführungen

haben jedoch die gleichen Aufgaben zu bewältigen. Außer der Separation von Knochen und umgebendem Bindegewebe, der damit verbundenen Infektvermeidung aus der Mundhöhle und der Stabilisierung des Augmentats während der Einheilungsphase war der Aspekt des Spacemaking (Stabilisierung und Platzhaltefunktion) relevant. Das Spacemaking als Membranfaktor stellt die Grundlage für die Modifikation der mikromechanischen Bedingungen der knöchernen Regeneration dar. Es kann durch flexible Membranen mit Knochenersatzmaterial, durch starre Titanverstärkung der Membran oder durch formgebendes Metallgitter hergestellt werden (Engelke et al. 2004).

Das Prinzip des Spacemaking unter Verwendung von Titanbarrieren zur Knochenaugmentation wurde bereits in Tierversuchen genutzt (Lundgren AK et al. 1998). An zahnlosen menschlichen Kieferkämme zeigte der Einsatz von subperiostal gelegten starren, dichten Titanmembranen, die individuell angefertigt wurden, eine größtenteils erfolgreiche Osseointegration nach Bildung von Knochengewebe mit folgender Implantatinsertion (van Steenberghe et al. 2003). Einige Defektsituationen, v.a. Dehiszenzen, Fenestrationsen und vertikale Kieferkammaugmentationen stellen die übliche Membrananwendung nach dem Prinzip der GBR vor Grenzen und Problematiken dieser Methode. Die applizierte Membran wird nicht durch lokale Knochenwände gestützt („non-spacemaking defects“). Das Problem der ungenügenden Raumbildung unterhalb der Membran wird durch die starre Titanbarriere behoben.

Diese retrospektive Analyse befasst sich mit der Nachuntersuchung von lokalisierten Knochendefekten, bei denen starre Titanbarrieren als Augmentationshilfe für das Einbringen dentaler Implantate dienen.

Mit der Mikrofixation (Engelke et al. 2004) bietet sich eine Technik für den Einsatz der Titanbarriere, die Augmentationskammern stabil auf dem Kieferkamm zu fixieren. Somit entsteht ein mechanisch stabiler regenerativer Raum ähnlich dem Subantralraum beim Sinuslift (Engelke 1991, Engelke et al. 1997). Mit Füllmaterialien in partikulierter Form erfolgt die Auffüllung der mechanisch stabilen Kammer.

Ein mechanisch stabiler Raum kann auch durch minimalinvasiven Eingriff mit Konditionierung des Knochenlagers unter Sicht erzeugt werden. Bildgebende Verfahren (Odontoskopie) ermöglichen einen defektfernen Zugang zum Augmentationsgebiet (Engelke und Capobianco 2004). Das minimalinvasive Behandlungsprinzip beruht auf der endoskopisch assistierten Tunnelierung mit Periostschlitzung des zu augmentierenden

Gebietes. Dank des minimalinvasiven Eingriffs ergeben sich günstigere Voraussetzungen für die geschlossene Einheilung durch Verminderung der Infektionsmöglichkeiten (Engelke und Capobianco 2004). Der geschlossene Zugang mittels Tunnelpräparation vermag zudem bessere Heilungsergebnisse aufzuzeigen als die offene Technik (Engelke et al. 2002a).

### 1.2 Knochen

Sowohl bei der Augmentation des Knochens als auch bei der Implantation in den Kiefer ist die Kenntnis der grundlegenden Eigenschaften des Knochens und seiner Regenerationsfähigkeit für den Kliniker von großer Bedeutung.

#### 1.2.1 Anatomie, Histologie und Entstehung des Knochens

Knochen ist ein spezialisiertes Bindegewebe und zeichnet sich durch besondere Druckfestigkeit und Härte, verbunden mit hoher Bieigungs- und Zugfestigkeit, aus (Wetzel 1951). Außerdem besitzt es ein hohes Regenerationspotential.

Makroskopisch sind beim Knochen zwei nach ihrer Dichtigkeit differenzierbare Bereiche erkennbar, die „Substantia compacta“ und die „Substantia spongiosa“. Die Substantia compacta oder Kortikalis umgibt als äußere feste Schicht den Knochen, die Substantia spongiosa bildet im Inneren ein schwammartiges Balkenwerk (Trabekel), dessen Hohlräume mit Knochenmark ausgefüllt sind (Avery 2002). Der Anteil der Spongiosa und Kompakta variiert in den verschiedenen Knochenbereichen. So findet man in der Maxilla, dem Oberkieferknochen, einen höheren spongiösen Anteil als der Bereich des Pars alveolaris des Unterkiefers (Schroeder 1992). Der Anteil der Spongiosa nimmt sowohl im Oberkiefer (OK) als auch im Unterkiefer (UK) von anterior nach posterior zu (Devlin et al. 1998).

An seiner inneren und äußeren Oberfläche ist der Knochen von einer bindegewebigen Membran, dem Periost und Endost bedeckt. Während das Endost zum Knocheninneren gerichtet ist, stellt das gefäß- und nervenreiche Periost die äußere Faserschicht auf dem Knochen dar. Es besitzt außerdem osteogenes Potential durch die Sicherstellung osteogener Zellen, welche für die alleinige Regeneration ossärer Defektzonen jedoch ungenügend sind. In einer klinischen Studie von Dahlin et al. (1991b) zeigte sich nur geringe Knochenneubildung bei alleiniger Verwendung von Mukoperiostlappen als Abdeckung kleinerer bukkaler Knochendefekte im Bereich des Oberkiefers. Nach Dahlin et al. (1991b) sei das osteogene Potential des Periosts altersabhängig, somit bei Erwachsenen nur gering ausgeprägt. Eine

Studie von Weng et al. (2000) im Unterkiefer bekräftigte die These und gab als Grund zum einen die mit dem Alter zunehmend dünner werdende innere osteogene Schicht des Periosts an. Zum anderen führe die Elevation des Periostlappens während des chirurgischen Eingriffs zum Trauma, welches das osteogene Potential zusätzlich reduziere. Eine suffiziente Knochenregeneration / -neubildung wird also vorwiegend von den in die Defektmatrix einwandernden Osteoblasten getragen.

Histologisch lassen sich anhand der Anordnung kollagener Fasern im Osteoid zwei Arten von Knochengewebe unterscheiden: Geflecht- und Lamellenknochen. Geflechtknochen bildet die erste Form von Verknöcherung und tritt somit bei Knochenneubildung auf. Kollagenfasern und Knochenzellen erscheinen ungeordnet ohne besondere Verlaufsrichtung durchflochten (Merker 1978). Regelmäßige, parallel angeordnete Struktureinheiten kommen dagegen beim Lamellenknochen vor. Um ein Blutgefäß werden in kokardenförmigen Lamellen Kollagene mit dazwischen gelagerten Apatitkristallen gelegt (Lippert 2000). Der Geflechtknochen ist relativ zugfest und biegungselastisch, da der Mineralgehalt einen prozentual geringeren Anteil aufweist als im Lamellenknochen. Er kann aber den höheren mechanischen Belastungen, denen der Organismus ausgesetzt ist, nicht standhalten. Darum wird er bis auf wenige Ausnahmen dank des höheren Osteozytengehalts umgebaut und durch stabileren Lamellenknochen ersetzt. Von der Osteoidproduktion bis zur Mineralisation benötigt der Geflechtknochen nur drei Tage, während der Lamellenknochen für denselben Vorgang etwa zehn Tage benötigt (Schenk 1994).

Bei der Mineralisierung sind die Osteoblasten, die aus osteogenen Zellen des umgebenden Bindegewebes hervorgehen (pluripotente Bindegewebszellen), ringsum von Matrix umgeben. Dabei ist ihre Syntheseaktivität stark erniedrigt. Sie werden im Knochen eingeschlossen und dann als Osteozyten bezeichnet. Osteozyten liegen einzeln im Knochen in kleinen Lakunen vor. Sie stehen untereinander über kleine Zytoplasmafortsätze, die in feinen Knochenkanälchen liegen, in Verbindung (Lippert 2000, Schiebler und Schmidt 1991). Die Osteoklasten, vielkernige Riesenzellen, die zum mononukleären Phagozytensystem (Makrophagen) gehören, dienen der aktiven Knochenresorption (Junqueira et al. 2002). Durch Osteoklastenaktivität entstehen bei den Umbauvorgängen Resorptionshöhlen, sog. Howship-Lakunen, in denen die Osteoblasten konzentrische Knochenlamellen ablagern, bis der perivaskuläre Raum immer weiter eingeengt wird.

Knochen entsteht entweder direkt unmittelbar aus Mesenchym (desmale Ossifikation) oder indirekt unter Anlage eines zuvor gebildeten Knorpelmodells (chondrale Ossifikation). Die Bildung des chondralen Knochens aus dem Knorpel erfolgt entweder an dessen Oberfläche



(perichondrale Ossifikation) oder im Inneren (enchondrale Ossifikation). Auf beiden Wegen entsteht primär Geflechtknochen, der dann sekundär zu Lamellenknochen umgebaut wird (Merker 1978, Schiebler und Schmidt 1991). Die desmale Ossifikation ist die häufigste Art der Knochenbildung und auch der bei der Augmentation hauptsächlich stattfindende Prozess. Mesenchymzellen der bindegewebigen Deckknochenanlage differenzieren zu Osteoblasten und scheiden eine Matrix aus Mukoproteinen und Kollagenfasern ab. In dieses sog. Osteoid werden Kalziumphosphatkristalle, vor allem Hydroxylapatit, eingelagert. Durch diesen anorganischen Einbau der Matrix und die somit ausgelöste Verkalkung werden die Knochenzellen zu Osteozyten (Bucher und Wartenberg 1997, Krstić 1988). Es entstehen sogenannte Ossifikationspunkte, wobei in der Regel mehrere gleichzeitig auftreten. Der neu entstandene Knochen liegt in Form feiner Bälkchen vor. Nun verschmelzen die verschiedenen Ossifikationszentren einer Knochenanlage miteinander (Junqueira et al. 2002). Es entsteht eine zusammenhängende Knochenmasse mit ungeordnetem histologischen Aufbau. Er entspricht einem verkalkten faserreichem Bindegewebe (Geflechtknochen) (Schiebler und Schmidt 1991). Nach 15 Wochen ist die Geflechtknochenneubildung abgeschlossen (Neukam et al. 1989a). Bei der chondralen Ossifikation wird als Modell des späteren Knochens zunächst pränatal ein Skelett aus hyalinem Knorpel angelegt, das mit der Zeit durch Knochen ersetzt wird. Dies stellt vorwiegend die physiologische Knochenreifung während des Wachstums dar, ist hier aber von untergeordneter Bedeutung.

### 1.2.2 Allgemeine biologische und histologische Grundlagen der Knochenregeneration und des Knochenwachstums

Knochen ist ein vitales Gewebe und somit ständig physiologischen, aber auch pathologischen Umbauvorgängen ausgesetzt. Die Umbauvorgänge, die schon während der Knochenentwicklung einsetzen, halten im Wechsel lebenslang nach dem Prinzip der sekundären Ossifikation an. Knochenwachstum ist also grundsätzlich mit Knochenumbau verbunden. Aufgrund wechselnder statischer Verhältnisse wird die Substantia compacta ständig einem fortwährenden Umbau unterworfen, wobei vorhandene Osteone abgebaut und durch neu gebildete Lamellensysteme ersetzt werden. Man unterscheidet zwei Umbaumechanismen. Beim „Remodeling“ bleibt die äußere Form erhalten, Gewebe wird erneuert bzw. modifiziert, um sich äußeren funktionellen Beanspruchungen anzupassen (Krstić 1988). Das „Modeling“ hingegen definiert sich als eine Veränderung der Morphologie des Knochens durch Umbau der Substanz (Marx und Garg 1998).

Jede Knochenläsion im Kiefer, z. B. nach einer Zahnextraktion oder einem chirurgischen Eingriff, aktiviert den Mechanismus der **Knochenregeneration**. Der Defekt soll durch Neubildung von Knochengewebe verschlossen und die herkömmliche Morphologie und Funktion wiederhergestellt werden. Bei der Knochenregeneration unterscheidet man folgende Prozesse.

Unter Osteoinduktion versteht man die Bildung von neuem Knochengewebe durch Differenzierung lokaler, nicht spezialisierter Zellen des Bindegewebes in knochenbildende Zellen unter dem Einfluss von Induktionsfaktoren (Knochenproteinen). Die Knochenneubildung findet im benachbarten Weichgewebe neben dem Transplantatmaterial (dem eingebrachten Knochen) statt.

Die Osteokonduktion ist ein Prozess, bei welchem das Transplantat als Leitschiene für das Einwachsen knochenbildender Zellen sowie das Einsprossen von Gefäßen aus dem angrenzenden Knochenlager wirkt.

Die Definition der Osteosubstitution beschreibt einen schrittweise fortschreitenden Prozess der Resorption eines Transplantatmaterials mit sofort anschließendem Ersatz durch neu gebildeten Knochen.

Bei der Knochentransplantation wirkt die osteogene Potenz des Transplantats durch Osteoblasten aus der Spongiosa. Der kortikale Anteil agiert als Gerüst für die Knochenneubildung. Demineralisierte Anteile bewirken die Transformation von benachbarten mesenchymalen Zellen in knochenbildende, vermittelt durch Bone Morphogenetic Proteins (BMPs) und Wachstumsfaktoren (Whitson 1998), folgend dem Prinzip der Osteoinduktion und -konduktion.

Für die **Defektreparatur** im Knochen sind im Wesentlichen determinierte Osteoprogenitorzellen erforderlich, die durch Wachstumsfaktoren direkt zu Osteoblasten differenzieren können. Die Knochenzellen des umgebenden Gewebes wie Periost oder Bindegewebe, aber auch Thrombozyten und Osteoblasten selbst, geben Wachstumsfaktoren ab. Wachstumsfaktoren treten während der zellulären Phase der Knochenheilung auf. Wichtige Vertreter sind u.a. PDGF (platelet derived growth factor), IGF (insulin-like ~), FGF (fibroblast ~) oder TGF (transforming ~). Unter dem Einfluss von BMPs (bone morphogenetic proteins) werden direkt in ein Knochendefekt eingewanderte Knochenstammzellen zu Osteoblasten umgewandelt (Urist et al. 1968, 1983). BMPs sind knochenspezifische osteoinduktive Differenzierungsproteine, die von Osteoblasten synthetisiert werden. Sie besitzen die Fähigkeit zur Beeinflussung der Mitose und Synthese

von kollagenen und nicht-kollagenen Proteinen und somit letztendlich zur Steuerung der Osteogenese. Urist entdeckte diese als erster, indem er demineralisierten, lyophilisierten Knochen in ein subkutanes Lager implantierte und Knochenneubildung beobachten konnte (Urist et al. 1968). In tierexperimentellen Studien wurde die Nutzung von BMPs bei der Defektauffüllung um Implantate getestet. Die Ergebnisse zeigten einen deutlich höheren Knochen-Implantat-Kontakt als bei Implantaten in Knochendefekten ohne BMPs (Terheyden et al. 1999b, Nevins et al. 1996).

Es gibt aber auch limitierende Faktoren in der Knochenregeneration. In der Regel werden Defekte in der Größe einzelner Osteone (<0,5 mm) unter stabilen Bedingungen, also durch direkte Formation von Lamellenknochen (primäre Wundheilung) überbrückt, bei größeren Defekten ist ein verzögertes Ausfüllen der Frakturlinie durch die Bildung von Geflechtknochen zu verzeichnen (sekundäre Wundheilung) (Schenk 1994, Schenk und Willenegger 1977, Whitson 1998). Bei größeren Defekten entsteht über die Bildung eines Kallus intermediäres Bindegewebe (Whitson 1998). Voraussetzungen für die Defektheilung bei intraoralen Defekten (z. B. Extraktionsalveolen) sind der Erhalt einer ausreichenden Blutversorgung, das Abhalten des schneller proliferierenden Bindegewebes vor dem Einwachsen in den Knochendefekt sowie ein stabilisiertes Hämatom, das gleichzeitig die mechanische Stabilität des Wundgebietes gewährleistet. Über die Hämatombildung wird die Entzündungsreaktion eingeleitet, in deren Verlauf u. a. die für die Osteogenese wichtigen o. g. BMPs auftreten (Whitson 1998). Die Stabilisierung ist andererseits abhängig von der Intaktheit der Periostbedeckung, der Qualität des umgebenden Weichteillagers, der Lokalisation des Defektes, aber auch nutritive Faktoren wie Lebensalter, Nikotinabusus, parodontale Vorerkrankungen etc.

Nach dem 50. Lebensjahr überwiegt allmählich der physiologische Knochenabbau. Hinzu kommt im Alter mit der Einschränkung der Skelettbeanspruchung eine Abnahme der Spongiosastrukturen mit Verlust der Knochendichte. Die Vorgänge unterliegen den mechanischen, vorwiegend aber auch den hormonellen, altersbedingten Einflüssen und Umstellungen. Die Umbaurate des Knochens ist mit dem Alter verlangsamt, jedoch nicht beendet. Sie beträgt bei der Kompakta ca. 5% jährlich, während die der Spongiosa dreimal so groß ist (ca. 15% jährlich) (Whitson 1998). Sobald der Verlust der Zähne auftritt, werden auch die Zahnalveolen resorbiert (Berkovitz et al. 1978). Durch das Fehlen der kaufunktionellen Krafteinleitung über den Halteapparat der Zähne in den Alveolarfortsatz, bedingt durch den kompletten Zahnverlust, kommt es in der Folge zu einer

Inaktivitätsatrophie. Eine ungünstige Kieferrelation in sagittaler und vertikaler Richtung ist die Folge. Solche Resorptionsprozesse beginnen ebenfalls bereits 15 Wochen nach Zahnextraktion (Cawood und Stoelinga 2000) und sind somit auch altersunabhängige und in der zahnärztlichen Tätigkeit stark relevante Vorgänge. Im Unterkiefer erfolgen sie viermal so schnell wie im Oberkiefer (Cawood und Howell 1988).

Die genannten Aspekte zeigen in ihrer Gesamtheit, dass die Kenntnis und Einschätzung der individuellen Knochenmorphologie des jeweiligen Patienten für den Kliniker zur Planung und Durchführung einer Behandlung unerlässlich sind.

### 1.3 Knochenresorption und Augmentationen

Die Augmentation in der Zahnheilkunde umfaßt Maßnahmen zur Wiederherstellung von verloren gegangener Knochensubstanz bzw. für den allgemeinen Knochenaufbau.

Für den Erfolg von osseointegrierten Implantaten ist sowohl eine adäquate Knochenhöhe und –breite als auch eine adäquate Knochendichte erforderlich. Diese idealen Knochenzustände werden jedoch nicht von allen Patienten erfüllt. Alveolarknochenresorption sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Richtung kann nach Extraktionen (Extraktionsalveolen) und durch Zahnverlust (Inaktivitätsatrophie), verursacht durch Wegfall der kaufunktionellen Krafteinleitung, durch parodontale Erkrankungen, Resorptionsvorgänge oder durch Traumata verursacht werden (Wang und Carroll 2001, Becker et al. 1994, Bartee 1995). Vestibuläre Knochendefizite, besonders im anterioren Bereich des Oberkiefers sind nicht nur aus ästhetischen Gründen von großem Nachteil. Es würde bei Insertion enossaler Implantate somit eine ungünstige, nach palatinal versetzte Implantatpositionierung entstehen. Ineffiziente Implantatlager mit bukkalen Dehiszenzen v. a. bei dünnen bzw. frakturierten Knochenlamellen, besonders in der OK-Front, können bei exponierten Schraubenwindungen zu Irritationen der gingivalen Weichgewebe mit persistierenden periimplantären Entzündungen führen (Lekholm et al. 1999).

Durch Periimplantitis verursachte Knochendefekte können im Rahmen einer Augmentation nach bereits erfolgter Implantatinsertion wieder aufgebaut werden.

Für eine klinisch erfolgreiche Insertion enossaler Implantate wird die klinische Forderung nach einem Mindestknochenangebot (international) in der Vertikalen von 6 bis 10 mm im

UK, ab 10 mm im OK und in der Horizontalen von 4 bis 6 mm im OK und UK belegt (Neukam et al. 1989a, Schliephake et al. 1997, Neukam und Schultze-Mosgau 2004).

Zur Verbesserung der Knochensituation für die Implantation bei vermindertem Knochenangebot stehen viele operative Maßnahmen zur Verfügung.

## 1.3.1 Klassifizierung der Dimension des Implantatlagers

Basierend auf der Klassifizierung der Knochenresorption nach Lekholm und Zarb (1985) (Abb. 1) und Cawood und Howell (1988) (Abb. 2) wurde zur Klassifizierung der Dimension des Implantatlagers an der Göttinger Klinik das ASCI-System entwickelt (Engelke et al. 2000).

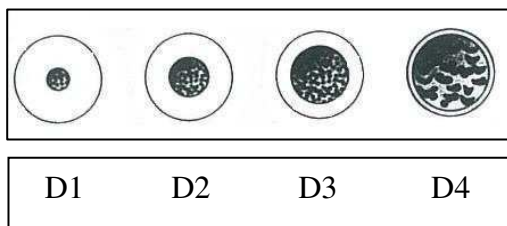


Abb. 1: Klassifizierung der Knochenqualität

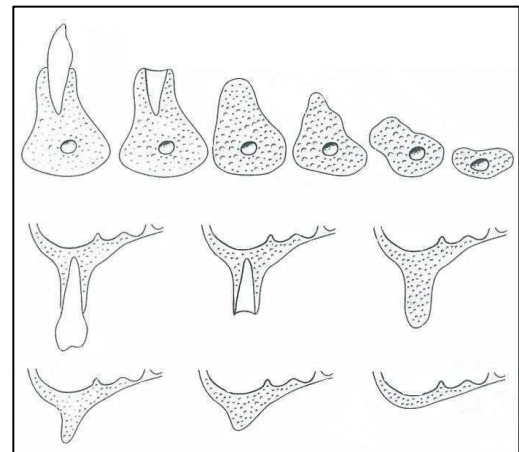


Abb. 2: Klassifizierung der Knochenresorption

Es bestimmt im Gegensatz zu den bekannten Klassifikationen nicht nur die Qualifizierung sondern auch die fehlende Quantifizierung des Knochenangebotes und gestattet somit eine systematische Beschreibung der Alveolarkammdimension. Anhand klinischer Untersuchungsbefunde und eines aktuellen Orthopantomogramms kann die Höhe und Breite des Alveolarkamms bestimmt werden.

1. Die vertikale Implantatlagerdimension über der knöchernen Basis respektive über dem Verlauf des N. alveolaris inferior wird entsprechend dem Zahnschema pro Zahnregion anhand eines Orthopantomogramms bestimmt und in 4 Kategorien eingeteilt:

- A abundante Höhe über 20 mm
- S suffiziente Höhe über 15 mm
- C kritische Höhe unter 15 mm
- I insuffiziente Höhe unter 10 mm

Die vertikale Kammdimension bezieht sich auf ein Implantatlager, das als Säule unterschiedlicher Höhe mit einer Grundfläche von 5x5 mm vorgestellt wird.

2. Die transversale Implantatlagerdimension wird 5 mm subkrestal klinisch bestimmt. Unterschreitet sie 5 mm, so wird unter 1) definierten Kategorien ein „i“ angefügt. (Somit bedeutet z.B. „Si“: Höhe über 15 mm, Breite subkrestal insuffizient)

Die nach dem Klassifizierungsschema ASCIi bestimmten Befunde werden in das Zahnschema in analoger Weise zur zahnärztlichen Befunderhebung eingetragen. Für die implantatprothetische Planung stellt der Befund die Grundlage weiterer diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen. Augmentationsmaßnahmen werden bei vertikaler Insuffizienz (Klasse C und I) als auch bei horizontaler Insuffizienz (Klasse i) indiziert. Es können auch kombinierte Verfahren zur vertikalen und transversalen Augmentation erforderlich sein.

### 1.4 Augmentationstechniken des Knochenlagers am Implantat

#### 1.4.1 Modalitäten des Knochenersatzes

Zur Augmentation von Kieferkämmen können in der zahnärztlichen Implantatchirurgie Transplantate und Knochenersatzmaterialien verwendet werden. Neben **autologem** Knochen (Autografts; dasselbe Individuum) kann **allogener** Knochen (Allografts; genetisch different, dieselbe Spezies), **xenogener** Knochen (von Individuen verschiedener Spezies stammend) oder **alloplastische** Materialien (Alloplasts; synthetisch hergestellte, biokompatible Transplantate) verwendet werden.

Das autologe Knochenransplantat stellt den Standard für die Augmentation eines lokalen Knochendefizits dar (Wiltfang et al. 2005, Schlegel et al. 2007). Es ist biokompatibel (beste Osteoinduktion, -konduktion und -substitution), formstabil, ermöglicht eine Revaskularisierung und zeigt das geringste Infektionsrisiko. Die Entnahme erfolgt intraoral als Knochenblock aus der Retromolarenregion (Nkenke et al. 2002b) oder als kortikospongiöser Block aus dem Kinn (Nkenke et al. 2001). Knochenspäne / Bonechips können direkt intraoperativ gesammelt und als Füllmaterial verwendet werden. Bei ausgedehnten Defekten ist eine extraorale, ortsferne Entnahme nötig, wie aus dem Beckenkamm oder der Tibia. Die Nachteile des autologen Knochens sind die quantitative Begrenzung, der zweite chirurgische Eingriff verbunden mit der postoperativen Donormorbidität in der Entnahmeregion (Cricchio und Lundgren 2003) sowie die über die Einheilphase hinaus reichende Resorptionsneigung (Wiltfang et al. 2005), die 50-60% erreichen kann (ten Bruggenkate et al. 1992).

Allogener Knochen bietet gegenüber autogenem Knochen eine höhere quantitative Verfügbarkeit und den Vorteil der Vermeidung von Donormorbiditäten nach Zweiteingriff, was eine Reduktion des Eingriffes bedeutet. In partikulierter Form nach Prozessierung (Gefriertrocknung und ggf. Demineralisierung) werden DFDBA (demineralisierter, entkalkter gefriergetrockneter Knochen) und FDBA (mineralisierter, gefriergetrockneter Knochen) (Mellonig 1992, Misch und Dietsch 1993) als Substitut von autogenem Knochen oder in Kombination mit diesem verwendet. Allogener Knochen birgt allerdings immer ein Infektionsrisiko für den Empfänger. Bei der Gefriertrocknung kann keine Inaktivierung von HIV sichergestellt werden (Mellonig et al. 1992). DFDBA und FDBA besitzen osteokonduktive Eigenschaften, bei der osteoinduktiven Potenz beider Allografts sind die Literaturangaben nicht einheitlich. Trotz per se erfolgreicher Anwendung im klinischen Gebrauch (DFDBA: Fugazzotto 1998, Doblin et al. 1996) wird autologem Knochen nach wie vor der Vorrang gewährt.

Xenogener Knochen ist tierischen (bovine Knochenfragmente) oder phylogenen (Korallen / Algen) Ursprungs mit guter Biokompatibilität. Xenogener Knochen wird ebenso wie Allografts durch Prozessierung des Knochens hergestellt, enthält somit nur die anorganische Knochenmatrix. Er wird deproteiniert, so dass es nicht zu einer Allergisierung des Empfängers kommen kann. Aus bovinem Knochen hergestellte Knochenersatzmaterialien (Bio-Oss<sup>®</sup>, Fa.Geistlich, Baden-Baden, D) stellt z. Z. ein sehr umfangreich wissenschaftlich dokumentiertes Knochenersatzmaterial dar, dessen Wirksamkeit in diversen experimentellen und klinischen Studien gezeigt wurde (Wenz und Koch 2004, Simion et al. 2007b).

Alloplastische Materialien, wie Kalziumphosphat- und Kalziumsulfatkeramiken, sind verfügbar als Hydroxylapatit (HAP), Tricalciumphosphat (TCP) und Glaskeramiken. Alloplasts werden synthetisch hergestellt und sind somit unbegrenzt verfügbar im Vergleich zu Autografts (Wiltfang et al. 2003). Auch der Zweiteingriff entfällt. Sie bieten gute osteokonduktive Eigenschaften und eine gute Biokompatibilität. Die osteogene und osteoinduktive Potenz fehlt ihnen jedoch ganz. Unterscheidungskriterium ist ungleiches Resorptionsverhalten.

*Hydroxylapatit* ist druckstabil und bietet gute Formstabilität, wird jedoch kaum bzw. langsam resorbiert (Taylor et al. 2002). In HAP-Blöcke eingeschraubte Titanimplantate, auf knöchernem Untergrund befestigt, zeigten in einer Studie von Schliephake und Neukam (1991) gute Ergebnisse betreffend Osseointegration sowie der knöchernen Einheilung.

*Tricalciumphosphat* liegt in zwei kristallinen Gitterformen vor ( $\alpha$ -TCP und  $\beta$ -TCP). Sie unterscheiden sich in ihren Resorptionszeiten. Während  $\beta$ -TCP (z.B. Cerasorb<sup>®</sup>, Fa. Curasan, Kleinostheim, D) in 7 Monaten fast vollständig (>80%) resorbiert wird, kann  $\alpha$ -TCP nur bis zu max. 70% in derselben Zeit aufweisen. Es handelt sich hierbei um keine echte Resorption, sondern eine Fragmentierung und Auflösung (Wiltfang et al. 2003). In einer Studie an Minischweinen stellten Buser et al. (1998) fest, dass TCP gegenüber anderen getesteten Materialien, wie HAP oder DFDBDA, einen signifikant höheren Knochengewinn nach 24 Wochen aufweisen konnte. Nachteil ist die fehlende Bindung an den Knochen, somit sind nur kleinere Augmentationen möglich. Durch die zeitlich bedingte Auflösung ist eine Augmentation im ersatzstarken Knochenlager indiziert, da die entstehenden Resorptionsdefekte durch neu gebildeten Knochen ersetzt werden (Jensen SS et al. 2006).

*Biogläser* (bioaktive Glaskeramiken) sind osteokonduktive Materialien auf Siliziumbasis. Sie werden zur Beschichtung von Implantaten genutzt (Schultze-Mosgau et al. 2000, Torricelli et al. 2001), da durch den Blutkontakt die Oberfläche durch Ausbildung einer Silikatschicht geändert wird. Das Resorptionsverhalten ist dem von HAP ähnlich, die Osteokonduktion leider gering (Norton und Wilson 2002). Biogläser finden kaum klinische Anwendung.

In der Knochenregeneration spielen Wachstumsfaktoren und osteoinduktive Proteine eine wichtige Rolle (s. Kapitel 1.2.2). Sie werden zusammen mit autologen Knochentransplantaten oder in knöchern umgrenzten Defekten eingesetzt.

Die periimplantäre Knochenregeneration kann mit Hilfe der Wachstumsfaktoren wie PDGF und IGF-I beschleunigt werden. Die Proliferation von Knochenzellen wird stimuliert und die Differenzierung der Osteoblasten beschleunigt. Die Apposition der Knochenmatrix an ein Implantat kann bei der Kombination von beiden Wachstumsfaktoren erhöht und die Knochenregeneration um Titanimplantate gefördert werden (Lynch et al. 1991). Dank des signifikant gewonnenen Knochens im periimplantären Raum kann eine schnellere Integration im Sinne einer sekundären Stabilität herbeigeführt werden.

Neben diesen adjuvant anwendbaren Wachstumsfaktoren spielen die osteoinduktiven Proteine eine immer zunehmendere Rolle. Die BMPs (Bone Morphogenetic Proteins), bereits in Kapitel 1.2.2 vorgestellt, sind morphogene Faktoren, die eine knöcherne Differenzierung von Stammzellen bewirken. Sie sind normalerweise in Knochen und Knochenprodukten enthalten, werden auch rekombinant hergestellt. BMPs gelangen durch Diffusion aus der Knochenmatrix ins Implantatlager, wo sie dort pluripotente, mesenchymale Zellen in knorpel-



und knochenbildende Vorläuferzellen differenzieren (Kübler et al. 1999). Als Beimischung zu xenogenen oder alloplastischen Trägermaterialien, die nur eine osteokonduktive Eigenschaft besitzen, können die BMPs im Sinne einer Osteoinduktion neuen Knochen bilden (Ripamonti 1993) und bei der GBR-Technik (Kapitel 1.5) die Osseointegration verbessern und beschleunigen (Terheyden et al. 1999a, Sigurdsson et al. 2001).

Aufgrund der nahezu unbegrenzten Verfügbarkeit der rekombinanten BMPs wird das Einsatzgebiet in der rekonstruktiven Chirurgie in dieser Hinsicht zukünftig sicherlich erweitert und beeinträchtigt (Kübler 1997). Die klinische Anwendbarkeit der osteoinduktiven Substanzen wurde auf zahnärztlichem Gebiet bisher jedoch nur im Rahmen klinischer Studien erforscht. Die Routineanwendung im Praxisalltag hat sich noch nicht durchgesetzt.

### 1.4.2 OP-Techniken mit autologem Knochen

#### Interne Augmentationen – Inlay

Zur Verbesserung des vertikalen Knochenangebotes und zur Schaffung eines suffizienten Implantatlagers wird im Oberkiefer-Seitenzahnbereich (posteriore Maxilla) die Sinusbodenaugmentation (Sinuslift) durchgeführt. Durch die subantrale Augmentation wird das Kieferhöhlenlumen ohne Eröffnung verkleinert und somit das Knochenangebot in der Vertikalen für die Implantation vergrößert. Autogener Knochen oder Knochenersatzmaterial wird dabei in den Zwischenraum zwischen dem knöchernen Kieferhöhlenboden und elevierter Kieferhöhlenschleimhaut eingelagert. Der Zugang erfolgt lateral über ein faziales Kieferhöhlenwandfenster oder krestal (s. Kapitel 1.4.4). Die Erfolgsraten von Implantaten nach lateralem Sinuslift betragen nach dreijähriger kaufunktioneller Belastung zwischen 89-97% (Blomqvist et al 1998, Fugazzotto und De 2002, Geurs et al. 2001, Raghoobar et al. 2001).

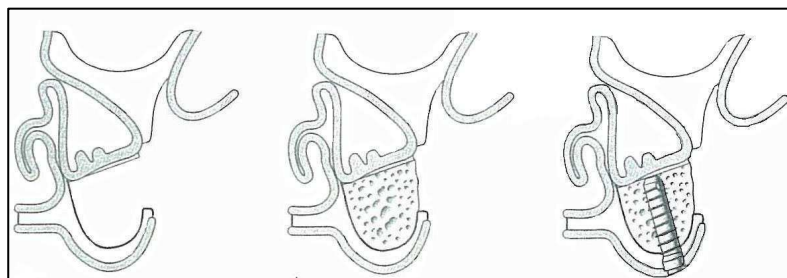


Abb. 3: Laterale Sinusbodenaugmentation mit Einlagerung von Augmentationsmaterial ohne und mit Implantation

## Vertikale und horizontale Augmentationen – Onlay

Bei kleinen lokalen Knochendefekten können kortikospongiöse intraoral gewonnene Knochenblöcke möglichst defektpassend transplantiert werden. Größere Kieferabschnitte werden mit kortikalen Transplantaten extraoral aus dem Beckenkamm oder Tibia augmentiert. Sie werden entweder membrangestützt (s. Kapitel 1.5) oder membranlos mit Mikroschrauben auf ihrer Unterlage fixiert. Bei vertikaler Augmentation kann die Fixierung des Transplantats gleichzeitig bei simultaner Implantation mit Titanimplantaten, die bis in den ortsständigen Knochen hineinragen, erfolgen. Diese Form der Augmentation birgt jedoch zwei Nachteile. Zum einen besteht das Risiko der Knochenresorption. Es sollten daher 2 mm mehr an Knochen als benötigt eingeplant werden. Zum anderen kann es zu Teilverlusten der Transplantate kommen, bis zu 12,5% konnten in einer Studie beschrieben werden (Schliephake und Berding 1998).

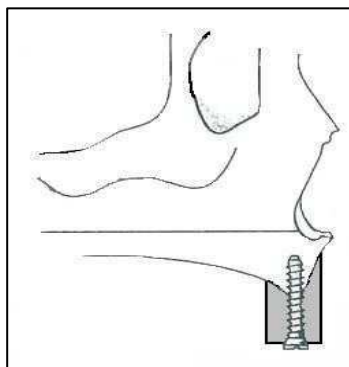


Abb. 4: Auflagerungsplastik

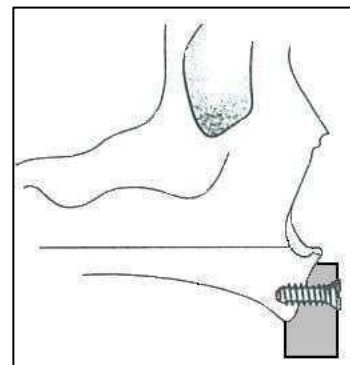


Abb. 5: Anlagerungsplastik

## Interpositionsplastiken

Die Technik mit Interponaten ist beim total atrophierten zahnlosen Oberkiefer bzw. Unterkiefer indiziert und wird in der Mund-Kiefer-Gesichts-Chirurgie angewendet.

Im OK erfolgt die sog. Le-Fort-I-Osteotomie mit Knocheninterposition (Oberkiefervorverlagerung). Der Oberkiefer wird dabei gesamt abgelöst und ein Transplantat (aus dem Beckenkamm) zwischengelagert. Eine Retrognathie des Oberkiefers, verursacht durch Inaktivitätsatrophie nach totalem Zahnverlust, kann gleichzeitig ausgeglichen werden. Die Implantaterfolgsrate bei einzeitiger Implantation nach

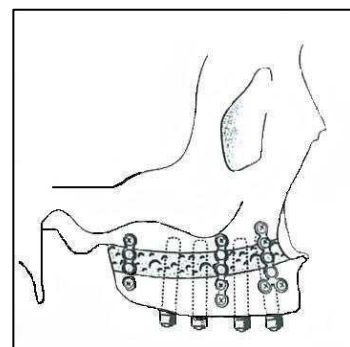


Abb. 6: Le-Fort-I-Osteotomie

5jähriger kaufunktioneller Belastung beträgt 60-89% (Nyström et al. 1997), im Vergleich zu zweizeitiger Implantation nach selbigem Zeitraum mit 85-95% (Kahnberg et al. 1999, Stoelinga et al. 2000).

Im Unterkiefer erfolgt nach horizontaler Spaltung das Prinzip der Sandwich-Osteotomie mit Knocheninterposition (Unterkieferrückverlagerung). Mit Implantaten wird das Ganze stabilisiert, v.a. in regio interforaminalis im zahnlosen Unterkiefer.

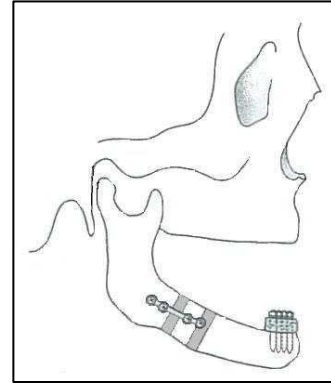


Abb. 7: Sandwich-Osteotomie

Die vertikale Interpositionsplastik (Alveolarextensionsplastik) wird im Oberkiefer nach dem Prinzip des Bone splitting durchgeführt. Bei diesem Vorgehen wird der Alveolarfortsatz durch Längsspaltung verbreitert, um die *transversale* Insuffizienz zu kompensieren. Diese Technik bietet eine Alternative zu lateralen Augmentation. Die Indikation erfolgt beim schmalen Knochenfirst, vertikal ausreichend, jedoch sagittal insuffizient. Diese Knochensituation kann man v.a. in der OK-Front beobachten.

Nach Spaltung wird der obere Teil angehoben und die dadurch erreichte Erhöhung des Alveolarfortsatzes durch das Einklemmen von autogenen Knochentransplantaten oder alloplastischem Knochenersatzmaterial gesichert. Die Spalträume werden mit Knochenspänen aufgefüllt. Eine ausreichende Stabilität wird durch die Rückstelltendenz der Knochenlamellen oder bei Sofortimplantation durch den Implantatkörper gewährleistet (Nentwig 1986).

Im Oberkiefer ist die Durchführung problemlos dank der spongiösen Knochenstruktur. Im Unterkiefer erweist sich das Aufbiegen als schwierig durch den hohen Kortikalisanteil. Es kann zu Infrakturen kommen. Als Alternative bietet sich die Technik der Umkehrplastik (Zylinder-Inversionsplastik). Diese Technik ist nur im Unterkiefer bei *transversaler* Insuffizienz möglich. Die lamelläre Spaltung des Alveolarfortsatzes und dessen folgende Extension durch Verlängerung der bukkalen Lamelle gewährleistet eine Raumschaffung (Prinzip des Spacemaking). Nach Insertion des enossalen Implantats wird die verlagerte Lamelle mit einer Mikroplatte stabil fixiert. In Analogie zur Technik der GBR (s. Kapitel 1.5) bietet diese Form einen regenerativen, separierten Raum für das Einwachsen von Knochengewebe (Engelke 1991).

## 1.4.3 Praxisreife operative Alternativen zur klassischen Knochentransplantation

### Kondensationstechniken

Die Kondensationstechnik lässt sich im Oberkiefer aufgrund der dünneren Kompakta anwenden. Die Spongiosa ist dehnbar im Gegensatz zur Kortikalis im Unterkiefer. Das Prinzip dieser Technik beruht auf Mikrofrakturen, die durch Verdichtung der Spongiosa zur deren neuen Ausformung führen. Die Implantatinsertion erfolgt durch Klemmpassung. Die Spongiosa wird mittels konischer Instrumente nach aufsteigender Größe kondensiert. Somit wird auch die knöcherne Anlagerungsfläche an der Implantatoberfläche gegenüber der konventionellen Technik vergrößert.

Die bereits in Kapitel 1.4.3 beschriebene Technik des Sinuslift kann auch über einen krestalen Zugang erfolgen (Summers 1996). Im angehobenen Raum kann durch den Implantatstollen Augmentationsmaterial (Knochenersatzmaterial) eingefüllt werden.

Dank minimalinvasiver Technik (Wiltfang et al. 2000, Engelke et al. 2003) ist ein vermindertes Trauma gewährleistet. Über punktförmige transorale Perforationen der fazialen Kieferhöhlenwand kann mit Hilfe eines Endoskops eine bessere Kontrolle und Übersicht erlangt werden (s. Kapitel 1.6). Die Erfolgsquote beim ortsständigen Restknochenangebot von über 5 mm betrug 96% nach 3 Jahren Belastung, im Vergleich zu 85% bei unter 4 mm nach dreijähriger Belastung (Engelke und Deckwer 1997, Rosen et al. 1999). Trotz der

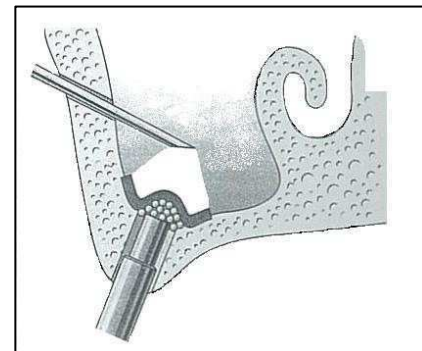


Abb. 8: Sinuslift mit krestalem Zugang und endoskopischer Kontrolle

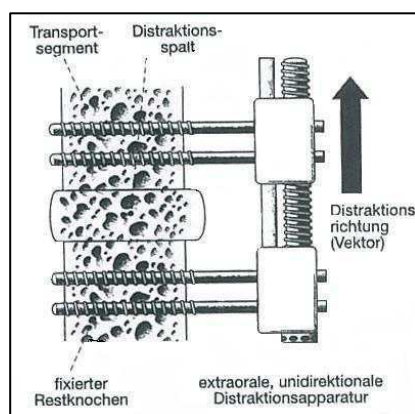
Vorteile der minimalinvasiven Technik muss der erhöhte zeitliche und technische Aufwand berücksichtigt werden, der v.a. nur für erfahrene Operateure im Umgang mit dem Endoskop geeignet ist.

Auch das Prinzip des Bone splitting (s. Kapitel 1.4.3) kann auf diese Weise modifiziert werden. Im Bereich der Implantatkavität wird der Knochen nicht weggefräst, sondern mittels spezieller Instrumente nach aufsteigender Größe verdrängend-schneidend präpariert, somit kondensiert. Diese Technik wird Bone spreading genannt. Eine Studie beschreibt die 90%ige Erfolgsquote der Implantate nach dreijähriger kaufunktioneller Belastung gegenüber 79,8% bei konventioneller Technik (Nkenke et al. 2002a). Das geht auf die Tatsache zurück, dass

nach 5 Monaten die verdichtete Spongiosa fester ist als bei augmentativen Verfahren. Somit wird die Primärstabilität deutlich erhöht (Schultze-Mosgau et al. 2001).

### Distraktionsosteogenese

Das Prinzip der Distraktionsosteogenese beruht auf mechanischer Verlängerung des Knochens in vertikaler Richtung im Osteotomiespalt. Neuer Knochen entsteht zwischen den Flächen von Knochensegmenten, die schrittweise durch mechanische Zugkräfte voneinander getrennt werden. Dabei wird zwischen ortständigem Knochen und mobilen osteotomierten Knochensegment ein Distraktor fest eingesetzt. Mit Hilfe einer Stellschraube wird der Abstand stetig vergrößert. Diese Technik ist ein Beispiel für die Steuerbarkeit der Wundheilung mit mechanischen Mitteln und eine Alternative zur Auflagerungsplastik. Hierbei ist ein durchschnittlicher Knochenhöhengewinn von 8-12 mm zu erwarten (Block et al. 1998, Gaggl et al. 2000a und 2000b), sowie eine Implantaterfolg nach 3-5-jähriger Belastung von 90,5-95% (Jensen OT et al. 2002, Rachmiel et al. 2001). Vorteile sind der Verzicht auf Knochenentnahme und somit des Risikos der Entnahmemorbidität sowie gleichzeitig der Zugewinn an Weichgewebe. Die Gefahr des Rezidivs wird aufgrund fehlender Weichteilspannung im Vergleich zu anderen Augmentationstechniken somit vermindert. Nachteile sind die Gefahr der Nekrose durch übermäßige Denudierung des Periosts vom Transportsegment sowie die verlängerte Behandlungsdauer. Die Möglichkeit



einer Sofortimplantation ist dank der „Distraktionsimplantate“ gegeben. Diese bestehen aus zwei über eine zentral gelegene Stellschraube verbundene Teile. Der apikale Anteil befindet sich dabei im ortständigen Knochen, der zervikale im osteotomierten, mobilen Knochenstück (Gaggl et al. 2000a und 2000b).

Abb. 9: Distraktionsosteogenese

### 1.5 GBR (Guided Bone Regeneration)

Die GBR (Guided Bone Regeneration, Gesteuerte Knochenregeneration) ist eine chirurgische Maßnahme zur Augmentation des knöchernen Implantatlagers bei der Rekonstruktion von

lokalisierten Knochendefekten. Sie beruht auf dem Prinzip einer Barriere (Membran), die über dem Defekt platziert, die Osteogenese indirekt fördert.

Der Grundgedanke der GBR ist es, den Einfluss des Bindegewebes auf den Heilungsprozess zu unterdrücken und die Knochenneubildung vom Transplantatlager her zu steuern. Durch den Einsatz mechanischer Barrieren über dem Defekt in Form von resorbierbaren und nicht resorbierbaren Membranen und Folien soll ein verfrühtes Einwachsen des schneller wachsenden Bindegewebes in den entstandenen Hohlraum verhindert werden. Die

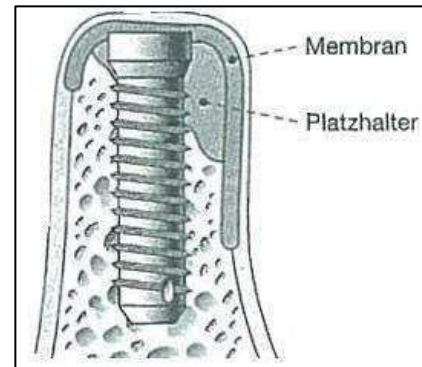


Abb. 10: Prinzip der GBR

epithelialen Zellen und das fibroblastische Gewebe werden an der Proliferation gehemmt und fördern somit die Osteoblasten aus dem Knochenmark zur Regeneration des Hohlraumes mit Knochengewebe. Die Regenerationsfähigkeit des Knochens wird dabei genutzt, um Knochenneubildung direkt anzuregen. Die Membranmethode erweist sich in erster Linie als nützliche Hilfe bei Knochendefekten mit geringerer Osteogenese-Aktivität. Frische Defekte, wie frische Extraktionsalveolen, soll der Regenerationsprozess üblicherweise automatisch ablaufen (Dahlin et al. 1994).

Die Indikation zur GBR sind v. a. Korrekturen von Knochendefekten in Form von Dehiszenzen und Fenestrationsen, aber auch Abdeckungen von frischen Extraktionsalveolen im Rahmen der präimplantären Chirurgie („socket preservation“) oder nach Implantatinserterion (Sofort- oder verzögerte Sofortimplantation). Zur Therapie von entzündlich verursachten Defekten bei einer Periimplantitis wird diese Methode ebenfalls indiziert. Der zirkumferentielle Knochenabbau um das bereits inkorporierte Implantat soll wieder aufgefüllt werden.

Bei der klinischen Durchführung wird nach erfolgter Anästhesie und Desinfektion des OP-Gebietes konventionell die laterale Inzisionstechnik angewandt. Das Weichgewebe im zu augmentierenden Gebiet wird von der Knochenoberfläche entfernt und ein Mukoperiostlappen gebildet (Buser et al. 1993). Der oberste Anteil der Kompakta wird entfernt, dieser ist nur periosternährt. Die gleichzeitige Knochenperforation ermöglicht sofortigen Bluteinstrom in den regenerativen Raum und somit auch erhöhte Knochendichte nach der Testphase durch einströmende Blut- und Knochenzellen (Slotte und Lundgren 2002, Yamada et al. 2003). Gleichzeitig erfolgt das Sammeln von Knochenmehl zur späteren Verdichtung. Je nach Füllmaterial wird entweder der zuvor entnommene Knochenblock mit

Schrauben an gewünschter Position befestigt und die Spalten mit Knochenspänen aufgefüllt, oder es erfolgt die Auffüllung des Hohlraumes mit Knochenersatzmaterial und ggf. Bohrmehl. Die Membran wird passend über dem Defekt fixiert, so dass kein Kontakt zwischen Augmentationsmaterial und Weichgewebe entsteht. Eine stabile Abstützung sollte gewährleistet sein, sonst könnte das augmentierte Areal unter dem Druck der Membran kollabieren. Ein dichter Nahtverschluss beendet den operativen Eingriff. Die geeignete Heilungsperiode zum Erreichen der vollständigen Knochenregeneration beträgt unabhängig vom Membrantyp etwa 3-9 Monate.

Die Knochenregeneration in membrangeschützten Knochendefekten folgt dem Muster der normalen Knochenentwicklung und des Knochenwachstums. Dies wurde in histologischen Studien nachgewiesen. Der Hohlraum unterhalb der Membran wird zunächst vom Blutkoagel gefüllt, der später vom Granulationsgewebe mit Blutgefäßen und Zellen aus dem eröffneten Knochenmark ersetzt wird. Die primäre Spongiosa füllt den Defekt aus, nachdem die Stimulation der Knochenheilung durch das Operationstrauma erfolgt ist. Es folgt der normale Reifungsprozess vom trabekulären Geflechtknochen über Kortikalisierung und Remodelling zu reifem Knochen. Die äußere Kortikalis bildet sich nach 3-4 Monaten aus primärer Spongiosa (Dahlin et al. 1990, Schenk et al. 1994). Unter dieser Schicht kommt es zur Organisation des Markraumes (Dahlin et al. 1988, Schenk et al. 1994). Die Heilungsperiode ist dabei zum einen abhängig von der Defektgröße (Dahlin et al. 1988, 1989, Schenk et al. 1994), zum anderen aber auch von der Regenerationsfähigkeit des Knochenlagers und weiterhin von der Art der Positionierung der Membran (Becker et al. 1990). Dabei erscheint der Knochengewinn in der Maxilla größer im Vergleich zu dem der Mandibula. Aufgrund der spongiöseren Struktur im Oberkieferknochen entsteht eine vermehrte Blutung bei der Konditionierung und somit eine vermehrte Freisetzung von knocheninduzierten Faktoren (Zitzmann et al. 1999).

Das Prinzip der gesteuerten Knochenregeneration (GBR) hat sich aus dem Prinzip der gesteuerten Geweberegeneration (GTR) entwickelt, welche mit dem Ziel einer parodontalen Regeneration eingesetzt wird. Diese Technik der Augmentation mit Membranen fand ihren Ursprung in der Parodontalchirurgie und wird seit Beginn der 80er Jahre genutzt, anfänglich zur Regeneration entzündlicher parodontaler Defekte (Nyman et al. 1982). In Tierstudien von Nyman et al. (1980) und Karring et al. (1980) wurden die biologischen Prinzipien der GTR experimentell getestet. Neben einer Knochenneubildung wurde auch die Ausbildung eines neuen bindegewebigen Attachments am Zahn erwünscht. Unter der bereits o.g. Bezeichnung

„guided tissue regeneration“ (GTR) ist dieser Vorgang bekannt geworden (Gottlow et al. 1984, 1986). Es folgten tierexperimentelle Studien zu Membranbarrieren für die Regeneration von Knochendefekten (Dahlin et al. 1988, 1989, 1990, Becker et al. 1990). Ziel war es, das Einwachsen des umgebenden Bindegewebes vom Knochendefekt mechanisch abzuhalten. Dahlin et al. (1988) dokumentierten in einer experimentellen Studie an Ratten eine signifikant höhere Defektauffüllung von membranbedeckten Knochendefekten, im Gegensatz zu Knochendefekten, die mit einem Mukoperiostlappen bedeckt wurden. In diesem Rahmen wurden so dann sowohl Knochendefekte behandelt als auch gleichzeitig Augmentationsversuche durchgeführt (Kostopoulos und Karring 1994, Lioubavina et al. 1999). Nahezu zeitgleich wurden klinische Untersuchungen von Barrieremembranen in Kombination mit dentalen Implantaten an Menschen durchgeführt (Dahlin et al. 1989, Lazzara 1989, Nyman et al. 1990, Becker und Becker 1990, Buser et al. 1990).

### 1.5.1 Membranen

Es stehen heutzutage verschiedene Membranen zur Verfügung, die sich in Material und Einsatzspektrum unterscheiden. Alle sollten folgende Eigenschaften aufweisen:

Biokompatibilität (Gewebeverträglichkeit)

gesicherte Barrierefunktion durch Zellausschluss (Verhinderung des Eindringens von Fibroblasten in den Knochendefekt und somit keine Bildung von Bindegewebe im Wundgebiet)

Deckfunktion von Füllmaterial

Platzhalterfunktion / Spacemaker (Der gebildete Hohlraum soll mit neu entstehendem Knochen aufgefüllt werden.)

Formstabilität (Verhinderung eines Kollapses in den Knochendefekt unter dem Druck des Weichgewebes)

leichte klinische Handhabbarkeit

bei resorbierbaren Membranen: Auflösung der Membran nach erfolgter GTR / GBR (Gewebeintegration)

Risiko einer Entzündung / vorzeitige Membranexposition gering wie möglich



Es stehen unterschiedliche Membranmaterialien zur Verfügung. In zwei Hauptgruppen unterteilt, unterscheidet man zwischen permanenten (nicht-resorbierbaren) und resorbierbaren Membranen (Hutmacher et al. 1996).

- permanent synthetisch: PTFE (Polytetrafluorethylen), ePTFE (expandiertes Polytetrafluorethylen), titanverstärkte Folien; Titangitter; Titankammern
- resorbierbar synthetisch: synthetisch hergestellte Polymere: PDS, PLA, PGA (Polyactidsäure); aliphatische Polyester
- resorbierbar biologisch: Kollagene; früher Periost

Die meisten dokumentierten Untersuchungen befassen sich mit der Anwendung von nicht-resorbierbaren synthetischen Membranen aus ePTFE (Dahlin et al. 1988, 1990, 1994, Seibert und Nyman 1990, Schenk et al. 1994, Bartee 1998), auch in Kombination mit dentalen Implantaten (Becker und Becker 1990, Becker et al. 1990, Nyman et al. 1990). Der Vorteil liegt in der mikroporösen Struktur, die dank ihrer Dichte den zellulären Einwuchs, aber nicht die Diffusion verhindert. Dank der Membran kann eine ausgeprägte Knochenneubildung erreicht werden. Studien untersuchten den Knochengewinn bei der Anwendung von ePTFE-Membranen mittels GBR-Technik. Alleinige Durchführung führte bis zu 4 mm Knochengewinn (Simion et al. 1994), bei der Nutzung mit autologem Knochen als Füllmaterial bis zu 7 mm (Tinti et al. 1996). Dieses Material neigt jedoch in der Mundhöhle zur Ausbildung von Weichteildehiszenzen, die zu einem Infekt und einer Gefährdung der gesamten Augmentation führen können. Studien beschreiben diesen Nachteil mit 10-40% Prävalenz (Machtei 2001, Strietzel 2001). Die Neigung zur Akkumulation der bakteriellen Plaque, verursacht durch die zur Mundhöhle exponierte Membran, kommt of durch die poröse Mikrostruktur der Membran zustande (Selvig et al. 1990). Eine Ursache für die Dehiszenz kann eine falsche Schnittführung sein. Die Membran darf nie unmittelbar unter der Inzision liegen, somit sind modifizierte Schnittführungen erforderlich. Eine zusätzliche Fixierung ist notwendig, da die Membranen starr und hydrophob sind. Die Liegedauer kann individuell variiert werden, ein zweiter chirurgischer Eingriff zur Entnahme ist jedoch unerlässlich. Ein weiterer Nachteil ist deren geringe Eigenstabilität, die einen Kollaps in den Defekt hinein zur Folge haben kann (Dahlin et al. 1991a). Dies hat eine Reduzierung des erschaffenen Raumes zur Folge (Buser et al. 1990, 1993). Dank der Mikrofixationstechnik mit Hilfe von Minischrauben (Buser et al. 1990, 1993) kann die Membran stabilisiert werden

(Engelke et al. 1997). Lundgren AK et al. (1998) verhinderten in einer tierexperimentellen Studie durch die mechanische Verstärkung der Membranen mit Titanfolien deren Kollaps und erreichten damit eine vergrößerte Knochenneubildung. Die Verstärkung und somit die Starrheit wird durch Titan (Simion et al. 1994, Jovanovic und Nevins 1995) erreicht, um das Prinzip des Spacemaking zu sichern. Titan bietet als Werkstoff gute biomechanische Eigenschaften. Die dichte Titanmembran weist beste osteokonduktive Eigenschaften und kann ein großes Gewebsvolumen protegieren (van Steenberghe et al. 2003). Die Titanaugmentationskammer wird vor dem Eingriff individuell am Gipsmodell angefertigt. Die Herstellung solcher individualisierter Obturatoren ist auch anhand von CT-Scannern möglich (van Steenberghe et al. 2003). In einer experimentellen Studie an Kaninchen zeigten Yamada et al. (2003), dass starre gelöcherte Barrieren in Form von halbkugelförmigen Titanhüten einen niedrigeren Knochenbildungswert nach 3 Monaten als Barrieren ohne Löcher aufwiesen. Dies konnte histologisch durch den höheren Bildungswert an Bindegewebe nachgewiesen werden (Yamada et al. 2003).

Um einen zweiten chirurgischen Eingriff zu ersparen, wurden resorbierbare Membranen entwickelt, die durch autolytische Mechanismen im Gewebe aufgelöst werden.

Die resorbierbaren synthetischen Membrantypen bestehen aus synthetischen Polymeren und Hydroxysäuren. Diese Säuren werden bei dem spontanen hydrolytischen Zerfall freigesetzt und können u. U. die Knochenbildung hemmen. Verschiedene Studien zeigten jedoch die erfolgreiche Einsetzbarkeit dieser Membranform (Schliephake et al. 1994, 1995). Im direkten Vergleich zwischen resorbierbaren (Polyactid) und nicht-resorbierbaren Membranen (ePTFE) zeigten die Polyactid-Membranen einen geringeren Knochengewinn. Es ließen sich Entzündungszeichen im Rahmen der Auflösungs- und Resorptionsprozesse feststellen (Schliephake und Kracht 1997, Hürzeler et al. 1997a).

Als Alternative dazu existieren auch resorbierbare biologische Membranen. Die Kollagenmembranen sind bovinen Ursprungs und unterliegen im menschlichen Körper dem Abbau durch das Enzym Kollagenase (Tawil und Mawla 2001). Im Gegensatz zu synthetischen Membranen sind sie hydrophil und werden bei Kontakt mit Wasser weich und flexibel. Daraus ergibt sich ein Vorteil, der zur spaltfreien Anlagerung an Knochen und an die Verbindung mit dem Blutkoagulum führt. Eine zusätzliche Fixierung ist nicht obligatorisch. Die sichere und effiziente Anwendung von resorbierbaren Kollagenmembranen in der GBR wurden in mehreren Studien belegt. Zitzmann et al. 1997 zeigten in einer klinischen Vergleichsstudie zwischen beiden Membrantypen (Kollagenmembran und ePTFE-Membran),

dass eine zuverlässige Knochenregeneration im Defekt bei Verwendung von autogenen und alloplastischen Materialien in Kombination mit beiden Barrieremembranen gewährleistet wird. Zu ähnlichen Ergebnissen, die histologisch belegt wurden, kamen auch Hürzeler et al. (1998) in einer experimentellen Studie an Affen, bei der Defekte an exponierten Implantaten mittels bioresorbierbaren Membranen gefüllt wurden. Die Behandlung mit Kollagenmembranen mittels der GBR-Technik in einer experimentellen Studie an Hunden zeigte eine signifikante Erhöhung der Knochenregeneration im Gegensatz zur Vergleichsgruppe ohne Membranbehandlung. Dies konnte jedoch erst für die spätere Heilungsphase (Liegedauer 16 Wochen) nachgewiesen werden (Oh et al. 2003).

Als nachteilig erweist sich aber die mangelhafte Stabilität der Kollagenmembranen. Somit werden diese in Verbindung mit Stützmaterialien angewendet. Weitere Nachteile von Kollagenmembranen spiegeln sich in ihrer tierischen Herkunft wider. Das Risiko der Krankheitsübertragung steht im Vordergrund, aber auch das einer Allergieentwicklung. Des Weiteren sind die Resorptionszeit bzw. Liegedauer nicht individuell steuerbar und bestimmbar.

### 1.5.2 Füllmaterialien

Die Membrantechnik wird klinisch in Verbindung mit Knochentransplantaten und/oder Knochenersatzmaterialien zumeist zur Augmentation lokalisierter, begrenzter Kieferkammdefekte vor dem Inserieren von Implantaten eingesetzt (Wang und Carroll 2001). Diese werden zur Unterstützung der Membran verwendet (Buser et al. 1993, 1998). Die zusätzliche Verwendung von Füll- und Stützmaterialien ist von der Größe und Form des Defekts abhängig. Bei größeren Defekten sollte Knochenersatzmaterial als Füll- und Stützhilfe mit eingebracht werden (Buser et al. 1992, Dahlin et al. 1988). Bei günstiger kleiner Defektmorphologie kann eine fast vollständige Knochenregeneration erwartet werden (Jovanovic et al. 1992, Becker et al. 1994). Eine Vielzahl an klinischen Untersuchungen belegen die Verwendung von Füll- und Stützmaterialien bei der GBR-Technik (Buser et al. 1990, Nevins und Mellonig 1992, 1994, Wachtel et al. 1991, Gelb 1993, Shanaman 1994).

Zur Auffüllung des Defektes und Stützung der Membran kommen verschiedene Materialien in Betracht. Neben den autologen Transplantaten (Autografts) werden genetisch differente, humane allogene Transplantate (Allografts) und synthetische, biokompatible Transplantate (Alloplasts) verwendet.

Um ein lokoregionäres Knochendefizit zu kompensieren, stellt das autologe Knochentransplantat den derzeitigen Standard dar (Wiltfang et al. 2005, Schlegel et al. 2007). Autogener Knochen enthält vitale Zellen, wird somit problemlos ersetzt, ermöglicht eine Revaskularisierung der implantierten Knochenpartikel und ruft keine immunologischen Reaktionen hervor. Er dient nicht nur zur Unterstützung der Membran (Haltefunktion), sondern besitzt auch beste osteokonduktive Eigenschaften (Buser et al. 1993, 1995, 1996a, Becker et al. 1994). Gerade in den ersten vier Wochen erzielt die Osteokonduktion bessere Ergebnisse als im Verhältnis zu anderen Knochenersatzmaterialien (Buser et al. 1998). Nachteile sind das begrenzte quantitative Angebot intraoral. Bei größeren Defekten ist eine extraorale Entnahme im Zweiteingriff nötig. Die mit der Transplantation verbundene postoperative Donormorbidität in der Entnahmeregion (Cricchio et al. 2003) sowie die als unangenehm empfundene Entnahme, sind ebenfalls als Nachteile zu verzeichnen. Der größte Nachteil ist die auftretende Resorptionsneigung des autologen Knochens (Wiltfang et al. 2005). Allogener Knochen, der ebenfalls vitale Zellen enthält, die jedoch genetisch different sind, birgt immer ein Infektionsrisiko für den Empfänger (Becker et al. 1994).

Knochenersatzmaterialien stellen eine Alternative zum autologen Knochentransplantat dar. Aufgrund der Nachteile der Autografts wurden diese entwickelt. Definiert werden Knochenersatzmaterialien als jede weitere Prozessierung des Knochens im Sinne von Demineralisation, Gefriertrocknung etc. (verarbeitete Knochenfragmente). Sie besitzen osteoinduktive Eigenschaften und die Funktion als Stabilisatoren. Sie benötigen teilweise jedoch eine lange Regenerationszeit durch die schrittweise appositionelle Besiedlung der Knochenersatzmaterialien mit Knochenzellen. Bei ungünstigen Defektformen oder mechanischer Unruhe kann die knöcherne Regeneration nur die basalen Partikel des Knochenersatzmaterials umfassen. Die übrigen Anteile werden bindegewebig eingebaut und führen so zu einer unvollständigen Knochenregeneration. Als Alternative kann auf Knochenersatzmaterialien mit partikuliertem autogenen Knochen (zu 30-50% Volumenanteil) zurückgegriffen werden.

Eine genauere Beschreibung erfolgt im Kapitel 1.4.1 Modalitäten des Knochenersatzes.

### 1.5.3 Zeitpunkt der Implantation

Die Technik der gesteuerten Knochenregeneration wird in unterschiedlichen Verfahrensweisen angewendet. Bei der Kombination aus Augmentation und Implantation wird zwischen **einzeitigem** (simultanem) Verfahren und **zweizeitigem** (zeitlich gestaffeltem) Verfahren unterschieden.

Bei der einzeitigen Technik erfolgt die Implantation in derselben OP-Sitzung wie die Augmentation. Eine erfolgreiche Anwendung der Membrantechnik konnte bei der Behandlung von knöchernen Dehiszenzen und Fenestrationsen am Implantat, bei (verzögerter) Sofortimplantation und periimplantären Knocheneinbrüchen demonstriert werden (Neukam und Schultze-Mosgau 2004). Diese Technik bietet eine geringere operative Belastung für den Patienten, da keine Zweitoperation nötig ist (Nyström et al. 1993, Neukam et al. 1989b, Schliephake et al. 1994). Somit wird zusätzlich die Rehabilitationsdauer verkürzt. Ein weiterer Vorteil liegt in der Verringerung der Resorption bei Extraktionsalveolen, welche normalerweise innerhalb des ersten Jahres am stärksten auftritt. Falls ein Transplantat zum Einsatz kommt, wird dieses durch das Implantat auf dem Lagerknochen fixiert, dabei wird dessen Stabilität erhöht. Voraussetzungen bei der einzeitigen Technik sind aber ein genügendes apikales Restknochenangebot sowie die Gewährleistung eines sicheren Wundverschlusses.

Beim zweizeitigen Verfahren erfolgt die Implantation zeitverzögert nach erfolgter Augmentation (Montag 1987, Kraut et al. 1989). Diese Therapieform ist bei größerem Defektvolumen, bei transversaler Kieferkammatrophy und bei der Notwendigkeit vertikaler Augmentationen angezeigt (Buser et al. 1993, Dahlin et al. 1995). Der allgemeine zeitliche Abstand beträgt drei bis sechs Monate (Breine und Brånemark 1980, Snauwaert et al. 2000). Im Ober- und Unterkiefer werden aufgrund der unterschiedlichen Knochenqualität unterschiedlich lange Einheilzeiten gefordert (UK ca. 3-4 Monate, OK ca. 6 Monate). Knöcherne Einheilungsvorgänge kommen nach diesen Zeiträumen zum Abschluss. Diese Forderung für eine erfolgreiche Osseointegration von Implantaten führt auf Brånemark et al. (1977) zurück. Der Begriff der Osseointegration wird als direkter funktioneller und struktureller Verbund zwischen dem organisierten, lebenden Knochengewebe und der Oberfläche eines belasteten Implantats definiert.

Bei der zeitversetzten Implantation ist das Implantat nach regenerativem Aufbau von mehr Knochen (-gewebe) umgeben (Lundgren S et al. 1999). Somit wird eine bessere Primärstabilität gewährleistet und es kommt zu weniger Resorptionen (Schultze-Mosgau et al. 2001). Die spätere Insertion der Implantate wird vereinfacht, da ausreichendes Knochenangebot vorhanden ist. Diese zeitlich verzögerte Methode wird von mehreren Autoren präferiert. Sie ist sicherer als die simultane Form, v. a. wenn keine Primärstabilität gewährleistet werden kann oder wenn keine prothetisch günstige Positionierung der Implantate gegeben ist. Falls der Raum zwischen dem Knochen und dem Implantat zu groß ist, sollte ebenfalls diese Methode gewählt werden (Buser et al. 1993, 1995).

### 1.6 Minimalinvasive Verfahren zur Knochenregeneration

Die Endoskopie wird in der Zahnmedizin in vielerlei Hinsicht zu Diagnose- und Behandlungszwecken genutzt. Die endoskopischen Verfahren werden in zahnmedizinischen Disziplinen auch als Odontoskopie bezeichnet. In der zahnärztlichen Chirurgie dient sie der Durchführung und Qualitätskontrolle von implantatchirurgischen Maßnahmen. Das dentoalveoläre System und dessen Strukturen können vor, während und nach chirurgischen Eingriffen visualisiert werden.

Das Odontoskop ist ein starres Endoskop mit einem speziellen Arbeitsschaft. Die Stütz- und Reinigungsfunktion sowie ein digitales Dokumentationssystem charakterisieren es. Mit Hilfe der Stützzimmersionstechnik kann die Knochenstruktur einer Knochenkavität, z. B. einer Extraktionsalveole beurteilt werden (interne Osteoskopie). Die Implantatinsertion wird beim Ersteingriff unterstützt. Bei der Implantatfreilegung erfolgt die Inspektion und Auswertung des Knocheniveaus am Implantat unterhalb der Schleimhaut. Hinzu kann die Passung von Komponenten der Suprastruktur direkt gesichtet werden.

Die Odontoskopie hat gegenüber intraoralen Kameras den Vorteil, dass die Stützfunktion einen konstanten Arbeitsabstand gewährleistet und die Reinigungsfunktion auch bei Verschmutzung ein klares Bild verschafft. Es entsteht eine präzise Darstellung der Bilder dank der hohen Auflösung.

Endoskopische Verfahren sind grundsätzlich zu unterscheiden in diagnostische, endoskopisch kontrollierte und endoskopisch assistierte Therapieverfahren. Endoskopische Kontrollen können intraoperativ oder in einer zweiten Sitzung erfolgen. Das endoskopisch assistierte Verfahren ist anspruchsvoller und erfordert klinische Erfahrung im Umgang mit einem

Endoskop. Vorausgesetzt wird der stetige Gebrauch während des Eingriffs. Die endoskopische Sicht stellt die Voraussetzung für die Führung von Instrumenten dar, um eine minimalinvasive Technik anzuwenden.

Die odontoskopische Kontrolle und Diagnostik können u. a. bei der Zahntfernung, bei einer odontoskopisch kontrollierten Wurzelspitzenresektion (WSR) oder wie bereits erwähnt bei der Implantatinsertion und –freilegung erfolgen. Auch Augmentationen des Sinusbodens (Sinuslift) können sowohl in kontrollierter als auch in assistierter Technik angewandt werden. Bei den odontoskopisch assistierten Verfahren wird das OP-Feld nicht direkt durch offene Schnittführung zugänglich sondern ohne Lappenbildung *indirekt* sichtbar gemacht, z. B. durch Tunnelierung von Weichgeweben oder Punktion einer Körperhöhle. Somit wird das OP-Feld durch Unterminierung dargestellt. Der eigentliche Zugang erfolgt minimalinvasiv auf knöcherner Unterlage, defektfern.

Ziele des minimalinvasiven Eingriffs gegenüber konventioneller Eröffnung des Operationsfeldes sind die Reduktion des chirurgischen Traumas und der Deperiostierung sowie das Ausbleiben der Kieferkammdarstellung und der Lappenbildung. Durch Schleimhaut-Stanzung oder eine minimale Inzision erreicht man den Zugang. Die Heilung erfolgt ungeöffnet subgingival (Hahn 2000, Campelo und Camara 2001, Rocci et al. 2003).

Die Vorteile des odontoskopisch assistierten Verfahrens sind der Erhalt wichtiger ästhetischer Strukturen und der Erhalt der Blutversorgung im OP-Gebiet. Die geringere Öffnung des Operationsfeldes zur keimbesiedelten Mundhöhle gewährleistet postoperativ weniger Infektionsmöglichkeiten sowie eine geschlossene Einheilung von Augmentationsmaterial und Implantaten (Engelke und Capobianco 2004). Der geschlossene Zugang mittels Tunnelpräparation deutet auf bessere Heilungsergebnisse als die offene Technik hin (Engelke et al. 2002a). Die odontoskopisch assistierten Verfahren werden in der zahnärztlichen Chirurgie zur Alveolarkammaugmentation, zur Sinusbodenaugmentation (Sinuslift) sowie zur Periimplantitisbehandlung genutzt.

Die Alveolarkammaugmentation beinhaltet die Erzeugung eines regenerativen Raumes, der auf dem Knochen gelegen ist. Bei der Augmentation mittels GBR-Technik kann der zu augmentierende Raum im Sinne eines minimalinvasiven Eingriffs unter Sicht erzeugt werden. Beim zahnlosen Kieferabschnitt erfolgt die Inzision mesial des geplanten Tunnels. Von hier ausgehend erfolgt eine nach distal gerichtete parakrestale Tunnelierung, die ggf. mit einer koronaren Verschiebeplastik unter basaler Periostschlitzung ausgeführt wird. Der defektferne

---

Zugang wird durch das bildgebende Verfahren (Odontoskopie) kontrolliert (Engelke und Capobianco 2004). Der Eingriff wird hierdurch beim Einbringen der Barriere und ggf. Augmentationsmaterial assistiert.

Bei der Sinusbodenaugmentation können die Zugänge im Oberkiefer transantral (*Antroskopie*), *krestal* (Transalveoläre Osteoskopie) als auch lateral (*Subantroskopie*) gewählt werden. Die *Antroskopie* erfolgt durch Punktion der Kieferhöhle in der Mitte der Fossa canina. Die Kieferhöhle wird durch bildgebende Verfahren endoskopisch inspiziert (Wiltfang et al. 2000, Nkenke et al. 2002c). Dieses Verfahren ist jedoch anspruchsvoll und technisch aufwendig, außerdem erfordert es den Einsatz zweier Chirurgen. Der *krestale* Zugang wird nur in Einzelfällen durchgeführt und bildet noch kein Routineverfahren. Die *subantroskopisch* laterobasale Sinusbodenaugmentation (SALSA-Technik) hingegen wird seit 1996 erfolgreich an der Göttinger Universitätsklinik nach Engelke durchgeführt (Engelke und Deckwer 1997, Engelke et al. 2003). Es ist die häufigste Form der angewandten Technik und stellt gegenwärtig das Routineverfahren dar. Das Prinzip dieser „Schlüssellochtechnik“ beruht auf der mikrochirurgischen Präparation des Zuganges zur Kieferhöhle unter odontoskopischer Sicht und somit dem Verzicht auf primäre Sinuskopie der freien Kieferhöhle. Der Subantralraum wird tunneliert und endoskopisch untersucht. Nach Elevation der Schleimhaut erfolgt die odontoskopisch assistierte Augmentation mit partikuliertem Material durch Anhebung der Schneiderschen Membran (Innenauskleidung der Kieferhöhle). Das Vorgehen kann einzeitig (primär) mit gleichzeitiger Implantation erfolgen oder zweizeitig (sekundär) mit Augmentation und zeitversetzter Implantatinsertion. Die zweite Variante wird bei stärkeren Atrophiegraden angewandt. Bei geschlossener Implantation ohne Lappenpräparation wird zusätzlich die korrekte Lage der Verschlusschrauben via Odontoskop kontrolliert. Auch bei stark atrophierten Oberkiefern kann durch den Erhalt der knöchernen Wandstrukturen eine Augmentation unter optimalen Regenerationsbedingungen erfolgen (Engelke et al. 2003). Die Ergebnisse aktueller Studien beziehen sich bei einzeitiger Technik auf einen Knochengewinn bis zu 14 mm, beim zweizeitigen Vorgehen bis zu 12 mm. Dabei lag die Überlebensrate der gesetzten Implantate in den augmentierten Knochen bei 97,3% bei primärem Verfahren gegenüber 84,6% beim sekundären Vorgehen (Engelke et al. 2003, Mardinger et al. 2007, Wallace und Froum 2003).

Bei der Periimplantitisbehandlung wird das Odontoskop zunächst zur diagnostischen Sicherung der Erkrankung eingesetzt. Somit lassen sich v. a. die Nachteile offener Präparationen vermeiden. Die entsprechenden Folgen in Form von Dehiscenzen und narbigen Retraktionen, die nach Zahnfleischrandschnitten entstehen können, werden umgangen. Bei



der paraalveolären Tunneltechnik kann die Implantatoberfläche durch unterminierende Anwendung ohne Berührung des marginalen Bereiches erreicht werden. Der subperiostale regenerative Raum wird durch basale Periostschlitzung gewonnen und optimiert somit die Voraussetzung für die Geweberegeneration. Nach Darstellung der Implantatoberfläche und der interimplantären Räume erfolgt die Kürretage zur Reinigung der Implantatoberfläche. Anschließend bildet die tunnelierte Gingiva eine koronare Verschiebeplastik. Nach der Augmentation im Tunnel wird der Zugang mit Einzelknopfnähten verschlossen. Bei größeren periimplantären Knochendefekten ist ein Stützverband für das Augmentationsmaterial in Form einer Membran oder Titankammer erforderlich.

### 1.7 Periimplantitis

Die periimplantäre Mukosa ist für den Langzeiterfolg von Implantaten wichtig. Im gesunden Zustand schützt sie als natürliche Barriere vor Penetration oraler Mikroorganismen in tiefere periimplantäre Bereiche. Plaqueansammlungen an Implantaten bei schlechter Mundhygiene führen zu entzündlichen Veränderungen des periimplantären Weichgewebes, zunächst ohne knöcherne Beteiligung (Ericsson et al. 1992, Pontoriero et al. 1994). Analog zur Klassifikation der Parodontalerkrankungen spricht man hierbei von einer periimplantären Mukositis, vergleichbar mit einer Gingivitis bei natürlichen Zähnen. Laut aktueller Literatur ist diese Form der Erkrankung zwischen 8-44% frequentiert (Roos-Jansåker et al. 2003). Bei Auftreten eines entzündlich bedingten progressiven Knochenverlustes, begleitet von pathologischen Sondierungstiefen, Taschensekretion und von zervikal ausgehenden periimplantären Radioluszenzen, wird diese Form der Erkrankung als Periimplantitis (European Federation of Periodontology, Ittingen, 1993) definiert (Spiekermann 1994). Die Prävalenz dieser Erkrankung liegt bei 5-8% bei verschiedenen Implantatsystemen (Berglundh et al. 2002).

Während man bei einem natürlichen Zahn mit parodontaler Schädigung eine zunehmende Lockerung feststellen kann, zeigt das Implantat zuerst bei einem progredienten Knochenabbau keine klinische Mobilität (Failing Implant). Aufgrund heterogener anatomischer Verhältnisse verläuft die bakteriell verursachte Entzündung am Implantat schneller als am natürlichen Zahn. Das fehlende Desmodont ermöglicht ein rasches Fortleiten der Entzündungsreaktion bis zum Alveolarkochen, was die Ausbildung einer lokalen Osteomyelitis ermöglicht (Ericsson et al. 1992). Eine fortschreitende Knochendestruktion bis zum Apex führt zur Mobilität des Implantats und letztendlich zum Implantatverlust. Bis zu diesem Stadium stehen

mehrere therapeutische Möglichkeiten zur Verfügung, wobei es jedoch noch keine systematischen Richtlinien zur Therapie periimplantärer Erkrankungen gibt.

Die diagnostischen Parameter zur Diagnostizierung der Erkrankung gleichen denen bei parodontalen pathologischen Veränderungen. Die Plaqueakkumulation sowie der Gingiva-Index und die Blutung auf Sondierung geben Auskunft über den Zustand der periimplantären Gingiva. Taschentiefen werden mit Sonden gemessen. Der Periotest<sup>®</sup> (Fa. Gulden Bensheim, Deutschland) dient der klinischen Beurteilung der Implantatstabilität. Hierzu wird das Messverfahren in Kapitel 2, Material und Methodik (2.5.3. Postoperative Maßnahmen) erläutert. Mikrobiologische Parameter und die Suppuration (Sekretion) geben Aufschluss über das Vorliegen einer akuten Entzündung. Letztendlich gibt das radiologische Verfahren Auskunft über das Ausmaß des destruktiven periimplantären Knochenverlustes.

Der Schwerpunkt einer therapeutischen Behandlung liegt in der mechanischen Belagfernung und Desinfektion der Implantatoberflächen sowie der antimikrobiellen Therapie. Durch gründliche mechanische Reinigung mit antiseptischen Maßnahmen wird die Dekontamination des entzündeten Areals unterstützt. Begleitend wird antibiotische Therapie angewendet. Pulverstrahlgeräte sollten aufgrund der Emphysengefahr vermieden werden. Die lokale Applikation von 0,1-0,2%iger Chlorhexidinlösung ist ein etabliertes antiseptisches Verfahren. Wirksamer scheint jedoch die Anwendung von Laserstrahlen, die dank technischer Verbesserungen immer mehr in den Vordergrund rückt (Haas et al. 1997, Renvert et al. 2008). Die in vivo kontaminierte Oberfläche der zuvor sterilen Implantate kann durch die laserassistierte Oberflächendekontamination gereinigt werden (Deppe et al. 1999, 2000). Die Indikation für chirurgische Maßnahmen wird gestellt, wenn nach mechanischer Reinigungs- und antimikrobieller Therapie ein Rezidiv auftritt und ein Fortschreiten der entzündlichen Knochendestruktion röntgenologisch festzustellen ist (Buser und Maeglin 1994). Zahlreiche klinische Studien stellen positive Ergebnisse der chirurgischen Behandlung von regenerativen Maßnahmen bei Periimplantitis vor (Hürzeler et al. 1997b, Schüpbach et al. 1994, Behneke et al. 1997). Schüpbach et al. (1994) deuten jedoch darauf hin, dass trotz des sichtbaren radiologischen Knochengewinns und der verbesserten klinischen Situation, histologisch keine komplette Reosseintegration nachgewiesen werden konnte. Somit ist die Zuverlässigkeit und klinische Anwendbarkeit dieser Methode allein nicht immer ausreichend. Augmentative Maßnahmen zur Regeneration von periimplantären Knochendefiziten werden begleitend eingesetzt (Hürzeler et al. 1997b, Spiekermann 1994).

### 1.8 Ziel der Arbeit

Ziel der vorliegenden retrospektiven Analyse von konsekutiven Augmentationsfällen ist die Bewertung der oralen Rehabilitation von Patienten, die nach dem Prinzip der gesteuerten Knochenregeneration mit Hilfe von nicht-resorbierbaren starren Titanbarrieren und endossalen Implantaten in der Abteilung der Zahnärztlichen Chirurgie der Universitätsklinik Göttingen versorgt wurden. Im Rahmen der Nachuntersuchung zwei Jahre postOP soll anhand klinischer und röntgenologischer Daten soll hinsichtlich folgender Parameter evaluiert werden, ob die Verwendung von Titanaugmentationskammern eine Empfehlung als Routinebehandlung erlaubt.

1. Überlebensrate und Erfolgsquote der inserierten Implantate
2. Beurteilung der Implantatstabilität während des Beobachtungszeitraumes durch Bestimmung des Periotest-Wertes
3. Messung des Knochenaufbaus nach Augmentation im Zusammenhang mit der Liegedauer der Obturatoren
4. Messung der periimplantären Knochenhöhe im Zeitverlauf
5. Zustand der periimplantären Gingiva
6. Beurteilung der prothetischen Versorgung
7. Erfolg des augmentierten Knochenlagers hinsichtlich Implantatfähigkeit
8. Darstellung von eventuellen Komplikationen und deren Häufigkeit während der Behandlung und der Nachsorge
9. Misserfolg im Sinne vorzeitiger Membranexpositionen und deren eventuelle Ursachen

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Patientenkollektiv

Die retrospektive Nachuntersuchung von 43 operierten Patienten nimmt Bezug auf die ca. zwei Jahre zuvor stattfindende Behandlung, bei der 62 Knochen- und Alveolarfortsatzdefekte nach dem Prinzip der GBR rekonstruiert wurden.

Das Patientenkollektiv betrug 43 Patienten (Altersmedian 54,7 Jahre, Minimum: 22 Jahre, Maximum: 69 Jahre). Darunter waren 31 Frauen (Altersmedian 53,3 Jahre, Minimum: 28 Jahre, Maximum: 69 Jahre) und 13 Männer (Altersmedian 57,8 Jahre, Minimum: 22 Jahre, Maximum: 69 Jahre).

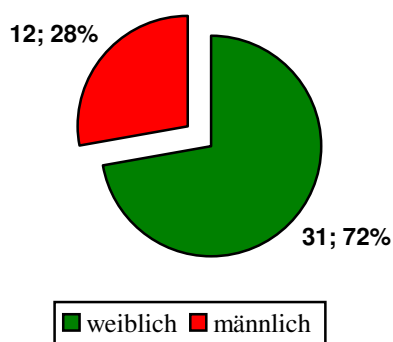


Abb. 11: Geschlechterverteilung

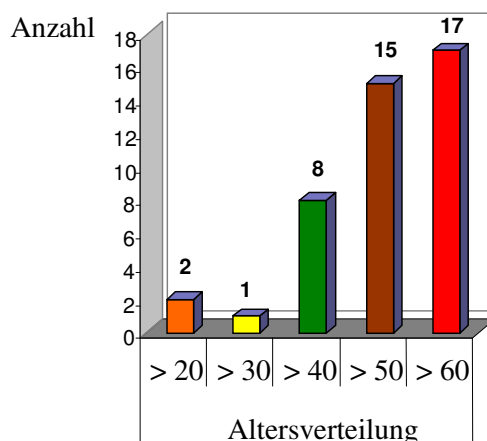


Abb. 12: Altersverteilung

### 2.2 Indikationsstellung

Die Notwendigkeit einer Augmentation ist unzureichendes Knochenangebot, das für eine Implantation erforderlich ist. Es wurde nach folgenden zwei Indikationsgruppen unterschieden (n= 62 Obturatoren):

#### Vertikale und transversale Atrophie des Knochenlagers

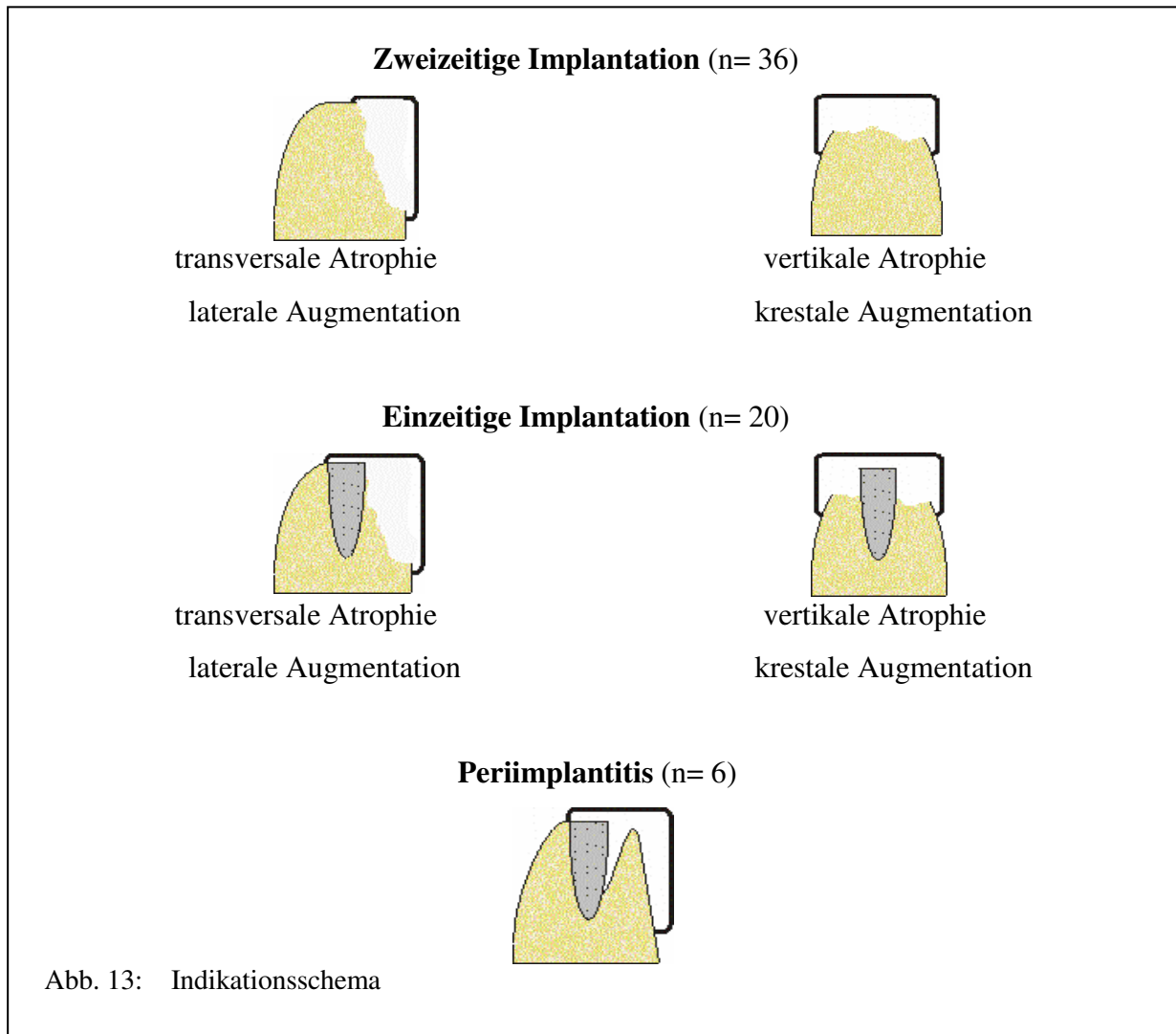
**zweizeitige Implantation** (präimplantäre Augmentation)

**einzeitige Implantation** und Augmentation

Mit der zweizeitigen Implantationsmethode wurden 36 Obturatoren präimplantär gesetzt. Die Simultanimplantation des Obturators und des Implantats erfolgte in 20 Fällen.

**Periimplantitis**

Als Rescue-Technik im Falle der Periimplantitis wurde der Obturator über dem bereits vorhandenen Implantat in sechs Fällen implantiert.



2.3 Operationsverfahren

2.3.1 Präoperative Diagnostik – klinisch und radiologisch

Die präoperative Diagnostik umfasste die allgemeine und spezielle Anamnese, eine eingehende klinische Untersuchung, die neben der allgemeinen Inspektion, eine bidigitale Palpation des Kieferkammes und eine Schleimhautbeurteilung sowie die folglich aufgeführten klinischen Befunde (s. 2.5.3) beinhaltet. Während der am Universitätsklinikum Göttingen durchgeführten Implantatsprechstunde (Göttinger Untersuchungsprotokoll) wurde die

chirurgische Planung zur bevorstehenden Implantation mit knochenaufbauenden Maßnahmen bestimmt. Zur Diagnostik des Knochenangebotes durch bildgebende Verfahren und für die Beurteilung der Alveolarkammhöhe mit Messreferenz wurde in der Voruntersuchung eine Panoramaschichtaufnahme (Orthopos C und Orthoralix 9200, Fa. Siemens, Bensheim, D) herangezogen. Zur diagnostischen Feststellung der Implantierbarkeit wurde die radiologische Bildgebung mit Hilfe von 5 mm großen, kugel- oder zylinderförmigen Referenzkörpern die in Kunststoffschablonen platziert wurden (Duderstädter Dental Labor, Duderstadt, Deutschland), durchgeführt. Der Ausgangsbefund, somit die am Orthopantomogramm gemessene vertikale Knochenhöhe, wurde in ASCIi-Klassen (Engelke et al. 2000) gegliedert. Die Anzahl der erforderlichen Implantate sowie deren Länge und Durchmesser wurden durch das verfügbare Knochenangebot bestimmt und somit auch ggf. die erforderlichen begleitenden Augmentationsmaßnahmen geplant. Weiterhin wurden auf der Panoramaschichtaufnahme der Verlauf des N. alveolaris inferior sowie die Foramina mentale und die Ausweitung der Nebenhöhlen lokalisiert. Die klinischen und radiologischen Befunde wurden im Göttinger Planungsprotokoll zusammengefasst.

Die Patienten wurden über das operative Vorgehen, die Nutzen und Risiken sowie eventuelle Komplikationen während und nach der Operation aufgeklärt. Hierzu wurde den Patienten ein Informationsblatt (im Anhang) ausgehändigt. Erforderliche Prämedikationen wurden für den jeweiligen Patienten festgelegt.

Als Indikationseinschränkungen sowohl für die Augmentation als auch für die Implantation galten dieselben allgemeinmedizinisch bedingten und lokal auf das Operationsgebiet beschränkten Parameter wie für andere operative Eingriffe in der Zahnheilkunde. Ausschlusskriterien waren Drogenabusus, Nikotinabusus (bei über 10 Zigaretten am Tag), psychogene Prothesenintoleranz, entzündliche Prozesse in der Mundhöhle, unbehandelte Parodontopathien und folglich mangelnde Mundhygiene sowie fehlende Compliance seitens des Patienten. Die Allgemeinanamnese der Patienten wies keine Kontraindikationen für eine membrangestützte Knochenregeneration und Implantation auf.

### 2.3.2 Operationsbericht

Bei allen drei Indikationsgruppen war der Verlauf der Operation gleich. Alle chirurgischen Eingriffe wurden im Operationssaal der ZMK des Göttinger Universitätsklinikums von einem einheitlichen Operateur durchgeführt. Unter Lokalanästhesie (Ultracain DS forte, Fa. Hoechst,

Frankfurt a.M., D) erfolgte die krestale Inzision über transversal zum Kieferkamm gerichteten Schnitten. Es kamen zwei Arten des Zuganges zum Augmentationsgebiet in Betracht:

- a) offen
- b) geschlossen (minimalinvasive Tunnelierung)

Bei der offenen Methode wurde konventionell das Operationsfeld durch einen krestalen Schnitt und Periostschlitzung eröffnet. Nach dem Entlastungsschnitt folgte die Abpräparation und Mobilisierung des vestibulär gestielten Mukoperiostlappens mit Darstellung des krestalen Alveolarknochens mit endoskopischer Kontrolle.

Während der geschlossenen Methode, die in 28 von 62 Fällen angewendet wurde, wurde eine krestale Tunnelierung unter odontoskopischer Kontrolle (Fa. Karl Storz, Tuttlingen, D) durchgeführt. Dabei wurde minimalinvasiv ein geschlossener augmentatferner Zugang mittels mesial des geplanten Tunnels gelegter Inzision erzeugt. Durch die nach distal gerichtete (para)krestale Tunnelierung wurde der zu augmentierende Raum unter Sicht erzeugt und der präparierte Tunnel kontrolliert. Eine koronare Verschiebeplastik unter basaler Periostschlitzung wurde gebildet.

Im Zusammenhang mit der Indikationsstellung erfolgte der Zeitpunkt der Insertion dentaler Implantate.

Bei einer Indikationsgruppe erfolgte die **zweizeitige Implantation**. Nach der augmentativen Aufbaumaßnahme mittels Obturatoren wurden zeitversetzt nach deren Explantation 29 dentale Implantate gesetzt. 13 davon wurden direkt mit der Explantation des Obturators gesetzt. Die übrigen 16 wurden in einem Zeitraum von drei bis 48 Wochen, im Durchschnitt 23,1 Wochen nach operativer Entnahme der Obturatoren implantiert.

Bei der Indikationsgruppe mit der **einzeitigen Implantation** wurde simultan mit der Augmentation implantiert. Während der offenen Zugangsmethode wurde bei der Implantatinsertion eine Bohrschablone oder die getragene Prothese für die Positionierung und Achsenrichtung der Implantate zur Hilfe genommen. Unabhängig von der Zugangsmethode wurden unter der bekannten Vorgehensweise der chirurgischen OP-Durchführung je nach verwendetem Implantatsystem die Implantate in den Knochen eingebracht.

Bei der **Periimplantitis**-Gruppe waren die Implantate bereits vorhanden. Nach Durchführung der mechanischen Reinigung und Desinfektion der Implantatoberflächen wurde unter Verwendung von Laserstrahlen die Behandlung fortgeführt.

Im Anschluss wurde (bei dem Augmentationsgruppen) die Kompakta perforiert und die Spongiosa eröffnet, um der Konditionierung des Augmentatlagers zur Vaskularisierung zu dienen. Nach Einbringen und Anpassung der Titanaugmentationskammer wurde der Hohlraum unterhalb des Obturators mit Eigenblut und mit Augmentationsmaterial gefüllt. Abhängig von der Defektmorphologie, die in der präoperativen Diagnostik erfasst wurde, wurde der Obturator individuell hergestellt und somit vertikal, transversal oder sowohl als auch gesetzt. Mit Mikroschrauben aus Titan wurde er anschließend krestal fixiert. Mit Einzelknopfnähten erfolgte der Verschluss der Zugänge. Beim offenen Zugang wurde dabei der mobilisierte Mukoperiostlappen vorher spannungsfrei über den Obturator adaptiert.

13 Patienten wurden mit mehreren Obturatoren versorgt, davon 9 mit zwei Obturatoren, drei Patienten mit drei Obturatoren und eine Patientin mit vier Obturatoren.

Sieben Obturatoren deckten einen Knochendefekt für gleichzeitig mehrere Implantate ab. Dabei waren sechs Obturatoren für zwei Implantate und ein Obturator für drei Implantate vorgesehen.

Hinsichtlich der Indikationen dominierte der Einsatz von Titankammern im Seitenzahnbereich (n= 51), davon 60,8% im UK-Seitenzahnbereich (n= 31). Bei den Implantationsgruppen wurde in 28 Fällen die GBR im Rahmen der verkürzten Zahnreihe, bei 17 Behandlungen der unterbrochenen Zahnreihe (Zahnlücke) und bei 9 Versorgungen des zahnlosen Kiefers angewendet. Direkt am Parodont wurden 34 Augmentationsorte gelegt, 23 Obturatoren grenzten nicht an ein Parodont an. Bei der Periimplantitisgruppe wurden 5 Implantate in Stegkonstruktionen und eins unter einer Einzelkrone behandelt.

Nach dem Eingriff folgte in der Regel die Aufnahme einer Panoramaschichtaufnahme zur Kontrolle. Die Wunde wurde mit einem Wundverband (CoePak Automix<sup>®</sup>, Fa. GC Europe, Leuven, Belgien) versorgt. Bestehende Teilprothesen wurden soweit ausgeschliffen, dass ein direkter Kontakt mit der Wundoberfläche vermieden wurde. Bei herausnehmbaren Zahnersatz, insbesondere bei totalen Prothesen wurde eine weiche Unterfütterung (RelinoSoft<sup>®</sup>, Fa. Kaniedenta, Herford, D). Der Interimsersatz wurde nach der Nahtentfernung eingesetzt.

Als Begleitmedikation wurden neben der (peri- oder) postoperativen Antibiose (Amoxicillin 1000 N1 ggf. Clindamycin 600 N1) regelmäßige postoperative Mundspüllösungen mit 0,1%iger Chlorhexidin-Lösung (Chlorhexamed<sup>®</sup> 0,1%, Fa. Blendax, Mainz, Deutschland) zur Hemmung der Plaquebildung und Keimreduktion der Mundhöhle und somit besserer



Wundheilung verordnet. Die postoperative Gabe von Analgetika entspricht dem üblichen Gebrauch nach oralchirurgischen Eingriffen.

Eine konsequente antimikrobielle Begleittherapie wird für die Periimplantitisbehandlung empfohlen. Die postoperative Gabe von Antibiotika sowie Chlorhexidinspülungen über die gesamte Membranliegedauer sind durch die ungünstigen Wundverhältnisse bei kontaminierter Implantatoberfläche gerechtfertigt.

Die Patienten wurden wie auch schon vor dem Eingriff auf die Hygieneunterweisung aufmerksam gemacht: Verzicht auf Alkohol, Nikotin, Koffein, körperliche Anstrengung, Milchprodukte für mindestens 2 Tage.

Die Nahtentfernung erfolgte in der Regel nach 7 bis 10 Tagen.

### 2.3.3 Explantation

Im Zweiteingriff wurde über krestale Schnittführung unter endoskopischer Kontrolle der Obturator entnommen. Von 62 gesetzten Obturatoren wurden 60 explantiert. Im Schnitt betrug die Liegedauer 19,3 Wochen (zwischen 2,5 und 82 Wochen), bei 32 Fällen über 3 Monate, in 28 Fällen unter 3 Monaten.

Indikation	Ø	Min	Max	n lange Liegedauer	n kurze Liegedauer
Zweizeitige Implantation	19,5	3,0	54,0	20	15
Einzeitige Implantation	21,6	2,5	82,0	10	19
Periimplantitis	16,8	3,0	43,0	2	4

Tab. 1: Liegedauer

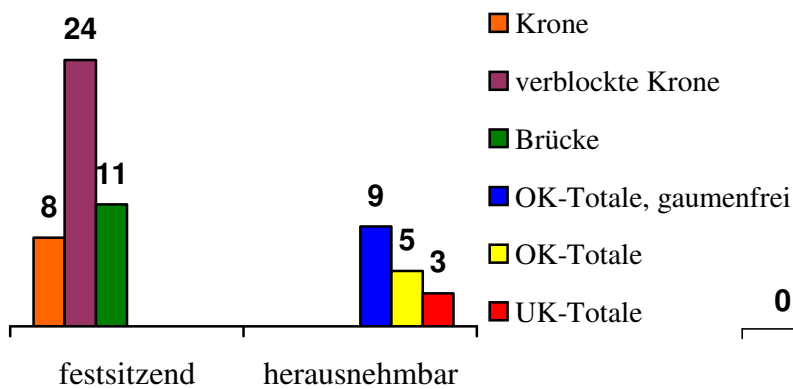
### 2.3.4 Prothetische Versorgung

Die prothetische Versorgung wurde nach einer Weichteilheilung von ca. 4-6 Wochen begonnen. Die Anfertigung erfolgte im Hause (prothetische Abteilung und zahntechnisches Labor der Zahnklinik an der Georg-August-Universität), in Einzelfällen beim Hauszahnarzt (Weiterbehandlung nach Überweisung). Die jeweilige Versorgung wurde bereits im Vorfeld gemeinsam mit Chirurgen und Prothetikern besprochen und von der Anzahl und Positionierung der Implantate beeinflusst.

Abb. 14 gibt Aufschluss über Verteilung der prothetischen Versorgung im Patientenkollektiv, die dank der in den augmentierten Bereich inserierten Implantate durchgeführt werden konnte.

### Implantationsgruppen

Prothetisch versorgte Implantate (n= 54)



### Periimplantitis

behandelte Implantate mit Suprakonstruktion (n= 6)

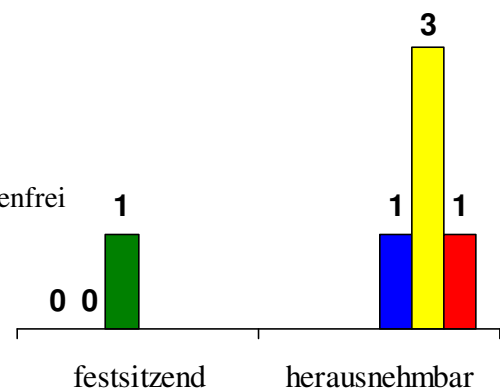


Abb. 14: Verteilung der prothetischen Versorgung

## 2.4 Material

### 2.4.1 Obturator

Der Knochendefekt wurde mit einer Titanbarriere, dem Obturator, abgedeckt. Die schalenförmigen, schildartigen, konkav gestalteten Hohlformen wurden aus Titan, nach Engelke hergestellt. Diese wurden im zahntechnischen Labor (Fa. DDL - Duderstädter Dental Labor, Duderstadt, D) individuell für jeden Patienten auf dem radierten Meistermodell aus Gips arbiträr vor der Behandlung angefertigt.



Abb. 15: Obturator

### 2.4.2 Schrauben

Perforationen im Obturator dienten dem Schraubeinsatz, um eine Fixation der Augmentationshilfe am Kieferkamm zu ermöglichen. Mit selbstschneidenden Mikroschrauben aus Titan (Fa. MedArtis, Basel, Schweiz; Fa. Karl Leibinger Medizintechnik,

Freiburg, D; Fa. Stryker-Leibinger, Freiburg, D) wurden die Obturatoren am Kieferkamm befestigt [Med Artis (Größen 6, 8, 10, 13; Ø 1,5 und 1,7); Leibinger (Größen 6, 8; Ø 1,7); Panfix (Größen 8, 10, 12) – alle Angaben in mm].

### 2.4.3 Augmentationsmaterial

Der entstandene Hohlraum unterhalb des eingesetzten Obturators am zu augmentierenden Kieferkamm wurde mit Augmentationsmaterial aufgefüllt. In der vorliegenden OP-Reihe wurde Cerasorb® (Fa. Curasan, Kleinostheim, D), ein resorbierbares  $\beta$ -Tricalciumphosphat, in 40 Fällen, autologer Knochen (Bonescraper) bei 17 Augmentationen oder Umkehrplastik bei zwei Fällen benutzt. Im Oberkiefer wurde in 12 Fällen der Obturator zusätzlich zum Sinuslift als Augmentationsform eingesetzt.

### 2.4.4 Implantatsysteme

#### Zweizeitige und einzeitige Implantation

Bei den insgesamt 56 mit Hilfe der Augmentationsmethode gesetzten Implantate, handelte es sich um zwei verwendete Systeme. Es waren zylinderförmige Schraubenimplantate (mit Innensechskant) aus Reintitan. Es wurden 38 Titanimplantate der Marke Semados® (Fa. Bego, Bremen, D) und 18 Titanimplantate der Marke Xive® (Fa. Friadent, Mannheim, D) eingesetzt. Ein zusätzliches Implantat wurde durch den Hauszahnarzt gesetzt, hierzu fehlen die Daten.

#### Semados (n= 38)

		Länge					
		8,5	10	11,5	13	15	18
Durchmesser	3,25	-	6	-	3	4	-
	3,75	7	3	1	4	6	-
	4,5	1	-	-	1	-	1

#### Xive (n= 18)

		Länge				
		9,5	11	13	15	18
Durchmesser	3,4	-	-	2	3	2
	3,8	-	1	3	3	-
	4,5	3	-	1	-	-

Tab. 2: Anzahl und Art gesetzter Implantate

#### Periimplantitis

In sieben Fällen befanden sich die Implantate in situ. Lediglich der periimplantäre Knochendefekt wurde behandelt.

### 2.4.5 Endoskop (Odontoskop)

Im Falle eines minimalinvasiven Eingriffs sowie zur intraoperativen Analyse des Knochenlagers und der Kontrolle des inserierten Implantats wurde ein Endoskop (Fa. Karl Storz, Tuttlingen, D) eingesetzt. Ausgestattet ist das Endoskop mit einer Hopkins Vorausblickoptik (Durchmesser 1,9 mm, Länge 10 cm) mit eingebautem Fiberglas-Lichtkabel (Durchmesser 3,5 mm, Länge 3 m) und einem Spülschaft. Der Beobachtungswinkel beträgt 30° und 70°. Zur optischen Analyse und gleichzeitigen Vergrößerung für den Behandler ist ein Bildschirm (Karl Storz Endovision Telecam SL Farbsystem PAL) angeschlossen.



Abb. 16 a-d: Endoskop (Odontoskop)

## 2.5 Evaluationen

### 2.5.1 Kollektiv und Untersuchungszeitraum

Die operativen Eingriffe zur Augmentation mit Titanobturatoren wurden in der Abteilung der Zahnärztlichen Chirurgie der Universitätsklinik Göttingen durchgeführt.

Nach erfolgter präoperativer und unmittelbar postoperativer Untersuchung folgten Nachuntersuchungen im Rahmen des Recalls, in einem angestrebten Zeitraum von zwei Jahren postoperativ. Bestandteil der letzten Nachuntersuchung war die Erhebung klinischer Parameter, Auswertung radiologischer Befunde sowie die Evaluation der Patientenzufriedenheit. Die Zustimmung seitens der Ethikkommission wurde eingeholt.

Für die letzte Befunderhebung konnten 24 der 43 operierten Patienten gewonnen werden. Die übrigen Patienten mit Ausnahme von zwei konnten aktuell telefonisch evaluiert werden, von allen Patienten jedoch wurde das aktuellste Röntgenbild zur Auswertung hinzugezogen.

	Gesamtkollektiv	KLINISCH untersuchtes Kollektiv	STATISTISCH untersuchtes Kollektiv
Patienten	43	24	19
Obturatoren	62	34	28
Implantate	62	38	24

Tab. 3: Kollektiv der Nachuntersuchung zwei Jahre postOP

### 2.5.2 Komplikationen und Implantaterfolg

Aufgetretene Komplikationen im Verlauf der Operation und der Nachsorge wurden dokumentiert und deskriptiv evaluiert. Der Heilungsverlauf der inserierten Obturatoren wurde innerhalb des Patientenkollektivs untergliedert und in Zusammenhang mit der Liegedauer und der Expositionsart (reizlos oder symptomatisch) des Obturators gebracht.

Die orale Rehabilitation des Patienten stellt die allgemeine Zielsetzung dar. Das Ziel, einen intakten ossären Kieferkamm zu erreichen, um ein stabiles belastungsfähiges Implantatlager zu ermöglichen, konnte innerhalb des Indikationsschemas kategorisiert werden:

bei der Gruppe mit **zweizeitiger Implantation**: Implantatfähigkeit des Knochenlagers?

bei der Gruppe mit **einzeitiger Implantation**: Implantat in situ?

bei der Gruppe mit **Periimplantitis**: Ausheilung des erkrankten periimplantären Lagers?

Zur Beurteilung von Implantaterfolg bzw. Misserfolg wurden die Parameter der Erfolgskriterien nach Albrektsson et al. (1986), erweitert durch Snauwaert et al. (2000) und Jahn und d’Hoedt (1992) hinzugezogen. Sie dienen lediglich als Rahmen und Leitschiene für die deskriptive Beschreibung des Kollektivs und der Ergebnisse. Es wird keine statistische Signifikanz abgeleitet.

#### Erfolgskriterien :

1. Implantat in situ und prothetisch versorgt (Langzeiterfolg/Überlebensquote)
2. individuell unverblocktes Implantat ist klinisch fest; Periotest-Wert < +08
3. Röntgen: keine periimplantäre Transluzenz
4. vertikaler Knochenabbau kleiner als 0,2 mm pro Jahr nach dem ersten Jahr der Liegedauer
5. keine Implantatfraktur

6. keine bleibenden und/oder irreversiblen Zeichen oder Symptome wie Schmerz, Infektion, Neuropathie, Parästhesie oder Verletzung des Mandibularkanals
7. positive Patientenwertung

### 2.5.3 Klinische Untersuchungsparameter

Die klinische Nachuntersuchung bei 24 von 43 operierten Patienten umfasste die anamnestische Befragung, einen intraoralen Befund (Parameter zur Beurteilung parodontaler Verhältnisse am Implantat), als auch die subjektive Beurteilung der Ergebnisse. Es wurde von allen Patienten ein Orthopantomogramm im Rahmen einer Verlaufskontrolle erstellt. Lediglich eine Patientin ließ keine Röntgenbilder im Rahmen dieser Nachuntersuchung von sich anfertigen. In diesem Fall wurde das aktuellste Orthopantomogramm für die Auswertungen herangezogen.

#### 1. Anamnese und Inspektion

Die anamnestische Befragung bezog sich auf die vor dem Eingriff erstellte allgemeine Anamnese, welche auch die Patientenaufklärung beinhaltet.

Bei der Inspektion der Mundhöhle wurde das Augmentatlager hinsichtlich Form, Stabilität und Schleimhautbedeckung untersucht. Auf mögliche pathologische Veränderungen der Mundhöhle oder Infekte im Bereich des Transplantatlagers wurde besonders geachtet.

#### 2. Sulcus – Blutungs – Index (SBI)

Der modifizierte Sulcus – Blutungs – Index (SBI) dient als dichotomer Index (Ja / Nein – Entscheidung) der Beurteilung des Entzündungsgrades der Gingiva. Hierbei wird der Sulcus mit einer Parodontalsonde horizontal ausgestrichen. Man bezieht dabei alle vier Quadranten mit ein, jedoch den 1. und 3. vestibulär, den 2. und 4. Quadranten oral. Bei Spontanblutung im Interdentalraum wird die Stelle als positiv vermerkt. Die Anzahl der positiven Blutungsmesspunkte wird durch die Anzahl der aller Approximalraummesspunkte geteilt und mit dem Wert von 100 multipliziert. Die Bewertung wird wie folgt klassifiziert:

- |           |   |   |
|-----------|---|---|
| > 50 %    | = | starke und generalisierte Entzündung des Parodontiums |
| 21 – 50 % | = | mittelschwere Entzündung des Parodontiums             |

---

10 – 20 %	=	schwächere Entzündung des Parodontiums
< 10 %	=	klinische Normalität des Parodontiums

### 3. BOP – Bleeding-on-probing

Der Gingiva – Index BOP (Bleeding-on-probing) erfasst die Blutung auf Sondierung beim an der augmentierten Kieferregion gesetzten Implantat. Hierzu wird die Tasche am Implantat mit einer Parodontalsonde unter Anwendung leichten Druckes (max. 0,2 N) sondiert. Falls es hierbei zu Spontanblutung kommt, wird der Test als positiv, andernfalls als negativ eingestuft. Die Sondierung erfolgt von vier Seiten des Implantats, somit mesial, distal, vestibulär und oral.

### 4. ST – Sondierungstiefe am Implantat

Zur Erhebung der Sondierungstiefe wird eine Parodontalsonde aus Kunststoff mit Millimeter – Skalierung mit gleichmäßigem Druck (0,2 N) in die Zahnfleischtasche (bei pathologischer Gingiva) bzw. in den Sulkus (bei gesunder Gingiva) am Implantat eingeführt. Der Abstand zwischen Gingivarand und Taschenboden wird an der Sondenskala in mm abgelesen. Die Sondierung erfolgt von vier Seiten des Implantats, somit von mesial, distal, vestibulär und oral parallel zur Implantatachse. Für die statistische Auswertung wird der höchste Wert bezogen.

### 5. Periotest<sup>®</sup> - Osseointegration des Implantats

Um die Stabilität des Implantats im Alveolarknochen darzustellen wird das Verfahren mit dem Periotest<sup>®</sup> (Fa. Gulden, Bensheim, D) verwendet. Der Periotest<sup>®</sup> ist ein Messgerät zur Beurteilung der Osseointegration von dentalen Implantaten. Das Gerät zeigt die Dämpfungseigenschaft des Parodontiums sowie indirekt die Implantatbeweglichkeit als Periotest-Wert optisch und akustisch an. Der Skalenbereich erstreckt sich von -08 (geringe Beweglichkeit) bis +50 (hohe Beweglichkeit). Für die Messung wird das Handstück in waagerechter Haltung und im rechten Winkel zur Mitte an das Implantat gehalten. Durch kurze Perkussionsstöße am Implantat wird die Messung durchgeführt.

Die Zuordnung der ermittelten Periotest-Werte entspricht wie folgt den klinischen Zahnlockerungsgraden (Deutsche Gesellschaft für Parodontologie):

		nach Lindhe (1986)	nach Schulte (1986)
Grad 0			<b>-08 bis +09</b>
Grad I	gerade fühlbar	Mobilität bis 1 mm in horizontaler Richtung	<b>+10 bis +19</b>
Grad II	sichtbar	Mobilität > 1mm in horizontaler Richtung	<b>+20 bis +29</b>
Grad III	beweglich auf Lippen- und Zungendruck und / oder in axialer Richtung	zusätzlich Mobilität in vertikaler Richtung	<b>+30 bis +50</b>

Tab. 4: Einteilung der Periotest-Werte

### 6. Fotodokumentation

Zur Dokumentation des klinischen Bildes der Mundhöhle mit der Implantatsituation sowie der prothetischen Versorgung extra- oder intraoral wurden digitale Fotografien erstellt.

#### 2.5.4 Radiologische Untersuchung

Für die Beurteilung der Alveolarkammhöhe sowie später der Kontrolle dentaler Implantate wurden präoperativ (zur diagnostischen Feststellung der Implantierbarkeit), postoperativ (Obturatorexplantation / Implantatinsertion) sowie im Rahmen der Nachuntersuchung Röntgenbilder angefertigt. Dazu eignet sich die **Orthopantomogramm (OPAN)** - Aufnahme.

Die Aufnahmen wurden mit Systemen für Rotations-Panorama-Röntgenaufnahmen gemacht. Die verwendeten Systeme sind Orthopos C und Orthoralix 9200 (Fa. Siemens, Bensheim, D). Der für die röntgenologische Analyse verwendete Film ist ein Kodak T-MAT G/RA Dental Film (Fa. Carestream Health, Stuttgart, D). Der Film hat eine Größe von 15x30 cm. Die Patientenpositionierung im Gerät erfolgte mittels Einbisses bzw. bei zahnlosen Patienten mit Kinnstütze. Entwickelt wurden die Aufnahmen mit dem Entwickler 3M XP 505.



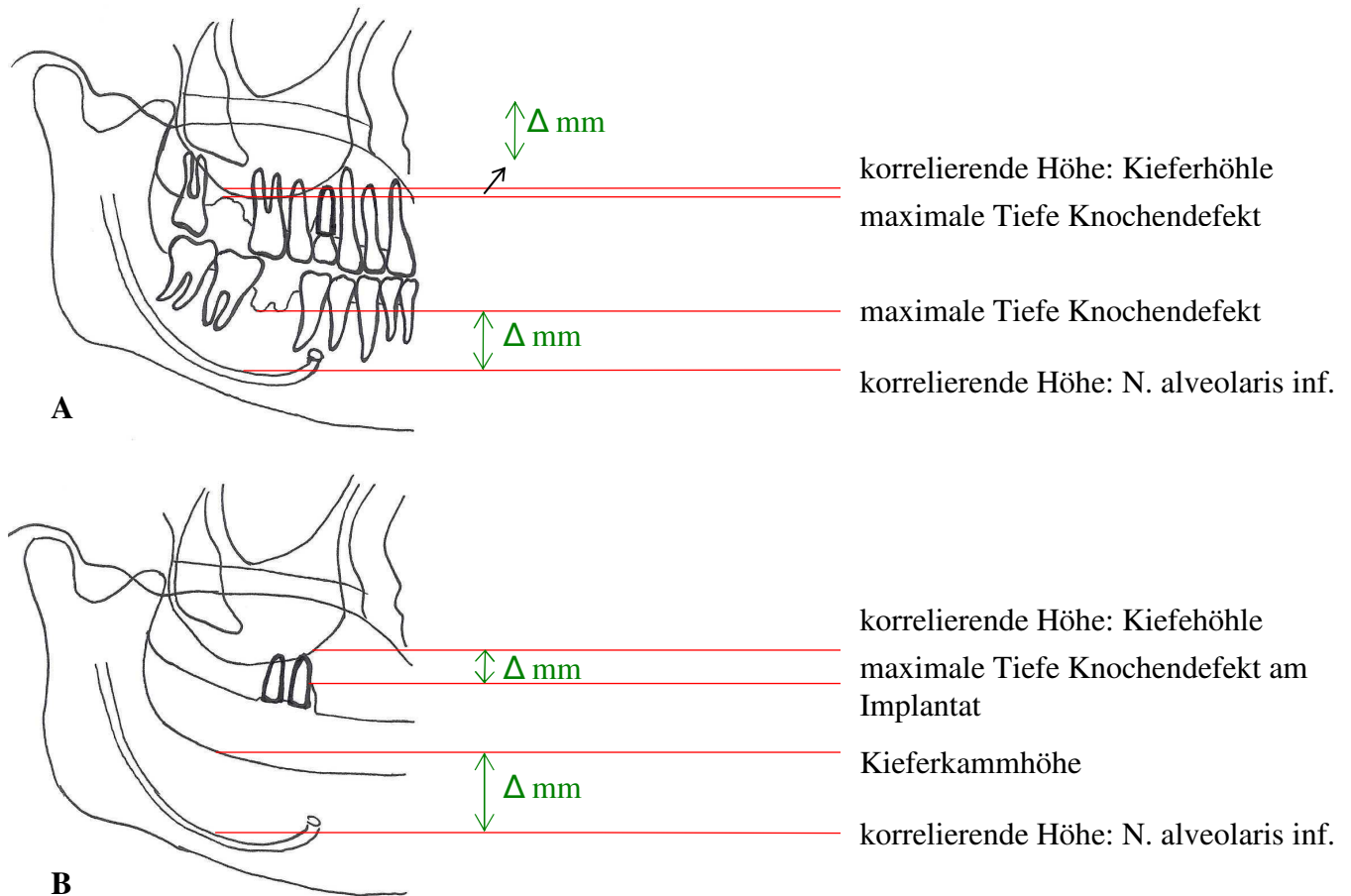


Abb. 17: Schema der OPAN-Vermessung

- A** Beispiel bezahnt
- B** Beispiel unbezahnt

Die Auswertung erfolgte auf einem herkömmlichen OPAN-Röntgenbetrachter mit Hilfe eines Lineals mit Millimeter-Skala. Es wurden Fixpunkte am OPAN festgelegt, die für jeden Patienten exakt definiert und reproduzierbar waren. Unter Bezugnahme des Limbus alveolaris in den Interdentalräumen bei bezahnten Patienten wurden die Fixpunkte reproduziert. Bei Unbezahnten wurde in Bezug auf Spina nasalis anterior, distokaudalsten Punkt der Kieferhöhle, Crista zygomaticoalveolaris sowie Tuber maxillaris eine möglichst genaue Lokalisation der Fixpunkte angestrebt. Die Vermessung erfolgte im rechten Winkel von der Kieferbasis ausgehend zur Kauebene. Bei bezahnten Patienten, die unterschiedlichen Grad an Resorption an derselben Stelle durch vorhandene Extraktionsalveolen aufwiesen, wurde die Spitze derjenigen Knochenlamelle als Bezug genommen, die den höchsten Grad an Resorption aufwies, somit die tiefste sichtbare Stelle. Die Angaben in Millimetern wurden den ASCli-Klassen zugeordnet. Bei Implantaten wurden als Referenzpunkte die Obergrenze

des Implantatkörpers und der tiefste Punkt des Knochenabbaus herangezogen. Mesial und distal der Implantatschulter wurde die Knochenhöhe gemessen. Die tiefste Stelle wurde in die Auswertung einbezogen. Die tatsächliche Implantatlänge war aus den Akten und OP-Berichten bekannt. Aus diesen Daten und der Vermessung der sichtbaren Referenzkörper im OPAN konnte der Verzerrungsfaktor ermittelt werden. Bei vorherigen Vergleichsaufnahmen wurde ein mittlerer Vergrößerungsfaktor von 1,25 für beide Geräte festgestellt und als Korrekturfaktor bei der Auswertung berücksichtigt (Nülsen 1999). Alle Aufnahmen entstanden an denselben Geräten und wurden von einer und derselben Person ausgewertet. Die Genauigkeit der Ablesung betrug 0,5 mm.

### 2.5.5 Patientenfragebogen

41 Patienten konnten (24 bei der klinischen Nachuntersuchung und 17 durch eine telefonische Auskunft) zu folgenden Kriterien befragt werden. Zwei Patienten wurden nicht erreicht.

#### 1 Prothetische Versorgung

Die Art der Suprakonstruktion und die Funktion des Zahnersatzes sowie die ästhetische Rehabilitation wurden untersucht und fotografisch dokumentiert. Die Beurteilung der Patienten bezüglich der Zufriedenheit wurde evaluiert.

#### 2 Subjektives Empfinden

Die subjektive Beurteilung der Zufriedenheit jedes einzelnen Patienten bezüglich des Behandlungsverlaufs wurde festgehalten.

### 2.6 Statistische Untersuchung / Datenanalyse

Aufgrund der geringen Fallzahl wird die Auswertung über die deskriptive Statistik beleuchtet. Anhand der klinischen und radiologischen Ergebnisse werden Einzelfälle näher erläutert, teils in der Kasuistik vorgestellt und in Zusammenhang gebracht. Die grafische Darstellung der Ergebnisse (Box-Whisker-Test) wurde mit einer etablierten statistischen Auswertungssoftware (Statistika 8<sup>®</sup>, Fa. StatSoft (Europe), Hamburg, D) durchgeführt. Auf weitere Auswertungstests, wie die grafische Darstellung der Überlebensquote der Implantate in Form der Kaplan-Meier-Kurve, wurde in Übereinkunft mit der Statistischen Abteilung der Universität Göttingen verzichtet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Kollektiv und Untersuchungszeitraum

Das in der Studie beobachtete Gesamtkollektiv beläuft sich auf 43 Patienten mit insgesamt 62 Obturatoren und 63 Implantaten (57 im Rahmen der Augmentation gesetzte Implantate und sechs Implantate in situ aus der Periimplantitis-Gruppe), in einem Untersuchungszeitraum von durchschnittlich 23,5 Monaten postoperativ.

Für die direkte klinische Nachuntersuchung ließen sich 24 Patienten (55,8%) rekrutieren (Untersuchungszeitraum im Durchschnitt 24,3 Monate), was einer Anzahl von 34 Obturatoren (54,8%) und 38 Implantaten (60,3%), davon 34 gesetzte Implantate und vier Implantate in situ aus der Periimplantitis-Gruppe, entspricht.

Die verbleibenden 19 Patienten (28 Obturatoren, 24 Implantate) wurden aufgrund der dokumentierten Aktenlage ausgewertet.

Die Fallzahlen teilen sich innerhalb des Indikationsschemas wie folgt:

n=	Patienten	Obturatoren	Implantate
Zweizeitige Implantation	20*	36	30
Einzeitige Implantation	18*	20	26
Gruppe Implantation GESAMT	38 - 1*	56	56
Periimplantitis	6	6	6
GESAMT	43	62	62

Tab. 5: Fallzahlen innerhalb des Indikationsschemas

\* Aufgrund einer operativen Mehrfachversorgung einer Patientin (drei inserierte Obturatoren) ist diese in der Auswertung sowohl in der Gruppe der Zweizeitigen Implantation (zwei Obturatoren), als auch in der Gruppe der Einzeitigen Implantation (ein Obturator) eingegliedert.

Es wurden bei drei Patienten (fünf Obturatoren) keine Implantate (auf eigenen Wunsch) gesetzt.

Bei 13 Patienten wurden mehrere Obturatoren gesetzt: neun Patienten mit zwei Obturatoren, drei mit drei Obturatoren und eine Patientin mit vier Titankammern.

Sieben Obturatoren dienten als Augmentationskammern für mehrere Implantate: sechs für zwei Implantate und ein Obturator für drei Implantate.

### 3.2 Komplikationen und Implantaterfolg

Komplikationen während der Behandlungsdauer (Zeitraum der Liegedauer des Obturators) und nach abgeschlossener Augmentationsphase (nach Insertion der Implantate) wurden deskriptiv evaluiert.

Der Heilungsverlauf der gesetzten Titanobturatoren wurde in drei Gruppen unterteilt:

- A komplikationsloser Verlauf ohne jegliche Membranexposition
- B geringfügige Membranexposition (Dehiszenz) ohne klinisch relevante Lagerinfektion
- C Membranexposition mit Infektion und frühzeitiger Membranentfernung

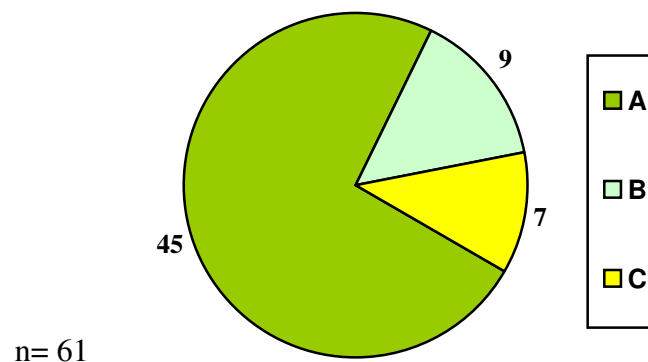


Abb. 18: Heilungsverlauf

Zu der größten Gruppe, dem komplikationsfreien Verlauf (A), zählten 45 Titanobturatoren, wobei 40 von insgesamt 55 aus der Implantationsgruppe (23 von 35 bei der Zweizeitigen und 17 von 20 bei der Einzeitigen Implantation) und fünf von sechs aus der Periimplantitis-Gruppe stammen. Ergänzend muss erwähnt werden, dass ein Obturator aus der Gruppe der Zweizeitigen Implantation nicht entfernt wurde, da die Patientin eine weitere Behandlung verweigert hatte.

Geringfügige Membranexposition ohne klinisch relevante Lagerinfektion (B) konnte bei sieben Obturatoren aus der Gruppe der Zweizeitigen Implantation und zwei Obturatoren aus der Gruppe der Einzeitigen Implantation beobachtet werden. Hierin fand sich kein Obturator aus der Periimplantitis-Gruppe.

In Abhängigkeit vom Auftreten der Membranexposition mit folgender Infektion (C) wurden sieben Titanobturatoren als Resultat dessen vorzeitig entfernt (failure rate 7 von 62 = 11,3%). Fünf Titanmembranen zählten zu der Gruppe der Zweizeitigen Implantation, drei davon (bei zwei Patienten) konnten anschließend aufgrund nicht ausreichender Augmentation nicht mit Implantaten versorgt werden (Liegedauer 4 und 7,5 Wochen). Bei einer Patientin wurden trotz der frühzeitigen Explantation beider Titanobturatoren nach je 7,5 Wochen Liegedauer ca. 42 Wochen später Implantate gesetzt, die während der Nachuntersuchung 2 Jahre postoperativ in situ waren.

Aus der Gruppe der Einzeitigen Implantation konnte ein Obturator verzeichnet werden, der frühzeitig (nach ca. 4 Wochen) explantiert werden musste. Dies führte auch zum simultanen Verlust des Implantats.

Trotz des infektiösen Heilungsverlaufs eines Obturators bei der Periimplantitis-Gruppe und der vorzeitigen Entfernung nach 3 Wochen, war das Implantat bei der Nachuntersuchung 2 Jahre postoperativ in situ.

Der Verlust von Implantaten, die in den augmentierten Knochen gesetzt worden waren, trat in drei Fällen auf. In der Periimplantitis-Gruppe wurde kein Verlust verzeichnet.

Somit beträgt die Überlebensquote, die als deskriptive Summation beschrieben wird, 94,6% der gesetzten Implantate und einer Überlebensquote von 95,2% aller während dieser Studie untersuchten Implantate, die Periimplantitis-Gruppe eingeschlossen.

Der bereits oben erwähnte Frühverlust (nach ca. 4 Wochen) des Implantats aus der Gruppe der Einzeitigen Implantation ging mit der infektiösen Membranexposition und deren vorzeitiger Entfernung einher. Bei einem weiteren Patienten derselben Gruppe kam es zum symptom- und infektionsfreien Spätverlust nach 64,5 Wochen Liegedauer, davon 53 Wochen nach Entfernung des Obturators (Überlebensquote der Gruppe Einzeitige Implantation, n= 26: 92,3%).

Bei der Gruppe der Zweizeitigen Implantation trat ein Frühverlust eines Implantats nach 3 Monaten Liegedauer auf. Es erfolgte eine sofortige Reimplantation. Dieses Implantat war während der Nachuntersuchung 2 Jahre postoperativ erfolgreich in situ (Überlebensquote der Gruppe Zweizeitige Implantation, n= 30: 96,7%).

Das Ziel, einen intakten ossären Kieferkamm zu erreichen, um ein stabiles Implantationslager zu ermöglichen, konnte innerhalb der drei Indikationsgruppen kategorisiert werden:

Die Implantationsfähigkeit des Knochenlagers zu erreichen war bei der Zweizeitigen Implantation das primäre Ziel. In zwei Fällen konnte dies nicht erreicht werden. Ein Implantatlager war aufgrund der vorzeitigen infektiösen Obturatorexposition nicht nutzbar (s. o.). Ein anderes konnte trotz des komplikationslosen Verlaufs nicht genutzt werden, da keine ausreichende Augmentation stattgefunden hatte.

Der bereits oben zweimal erwähnte Fall aus der Gruppe der Einzeitigen Implantation konnte sein Ziel der stabilen Verankerung des Implantats nicht erreichen, da das Implantatlager durch die bedingte infektiöse Membranexposition zu deren vorzeitiger Entfernung und dem Frühverlust des Implantats geführt hat.

Das Ziel der Ausheilung eines entzündeten Knochendefektes durch vorangegangene Periimplantitis konnte in der dritten Indikationsgruppe in einem Fall nicht erreicht werden. Trotz des Bestehens des Implantats während der letzten Nachuntersuchung heilte das Implantat nicht aus.

Es wurden fünf Drop-Outs gezählt. Es erfolgte keine Weiterbehandlung seitens der Patienten aufgrund fehlender Compliance in fünf Augmentationsfällen (drei Patienten, fünf Obturatoren). Da es sich in allen Fällen um zweizeitige Implantationen handelte, erfolgte auf Patientenwunsch keine Implantation nach erfolgter Augmentation.

### 3.3 Klinische Untersuchungsparameter (Periimplantärer Zustand)

#### 3.3.1 SBI – Sulcus-Blutungs-Index

Die Auswertung des modifizierten Sulcus-Blutungs-Index (SBI) bezieht sich auf die Anzahl der untersuchten Patienten (n= 24) unabhängig von der Anzahl gesetzter Implantate bzw. zuvor inserierter Obturatoren.

Bei der Gruppe der Zweizeitigen Implantation (n= 9\*) variierten die Werte zwischen 0 und 47% mit einem Mittelwert von 15,6%. Dabei entsprach die Zuordnung des gingivalen Entzündungsgrades zwischen klinischer Normalität (n= 4), schwacher (n= 2) bis zur mittlerer Entzündung (n= 3).

Die Auswertung der Gruppe der Einzeitigen Implantation (n= 12\*) ergab einen Mittelwert von 43,5% (Minimum 12%, Maximum 100%), was einer Verteilung zwischen schwachem Entzündungsgrad (n= 3), mittlerer (n= 5) und starker Gingivaentzündung (n= 4) entsprach.

[\* Durch die Doppelwertung einer Patientin mit zwei Indikationsgruppen, hervorgerufen durch Implantation dreier Obturatoren, ergibt sich eine Gesamtzahl von (n) 20 untersuchten Patienten.]

Die Gruppe der Periimplantitis (n= 4) teilte sich in je normalen Gingivazustand (n= 2) und starker Entzündung des Zahnfleisches (n= 2) auf, was im Mittel einem Wert von 33,1% (Minimum 0%, Maximum 100%) zugeordnet war.

Insgesamt trat also in sechs Fällen klinische Normalität (<10%), in fünf Fällen schwache (10-20%), in sieben Fällen mittlere (21-50%) und in sechs Fällen starke Gingivaentzündung (>50%) auf.

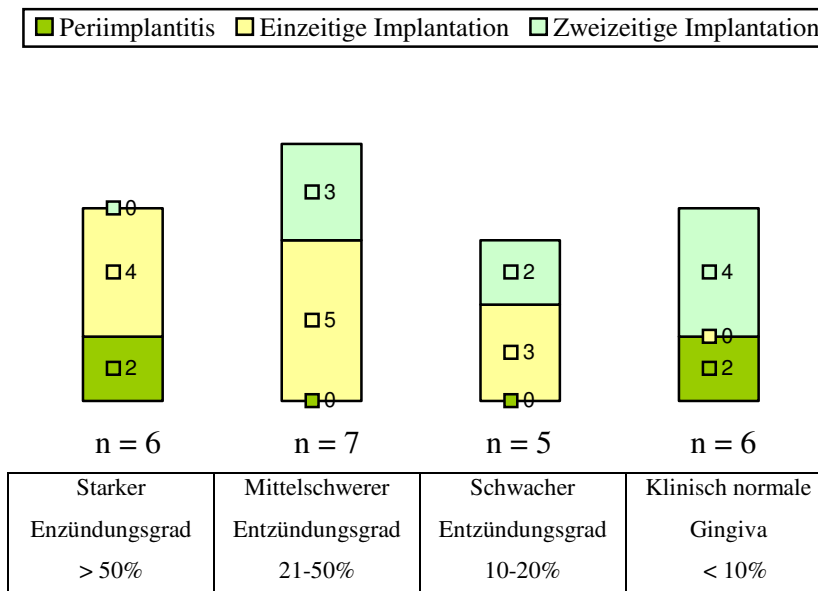


Abb. 19: Verteilung des SBI innerhalb der Indikationsgruppe

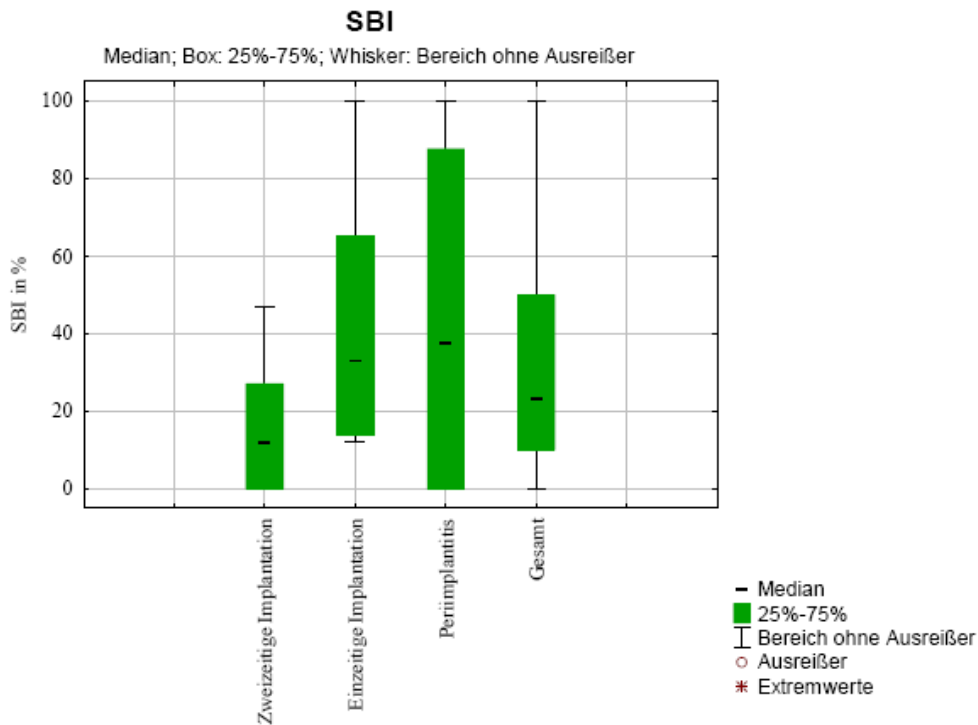


Abb. 20: SBI-Auswertung

### 3.3.2 BOP – Bleeding-on-probing

Aufgrund der Tatsache, dass einzelne Patienten zwei oder drei Obturatoren / Implantate gesetzt bekamen, wird die Auswertung des Bleeding-on-probing Indexes (BOP) auf die Gesamtzahl der untersuchten Implantate (n= 38) bezogen.

Insgesamt wurde der BOP 17 mal positiv (Blutung auf Sondierung) und 21 mal negativ (keine Blutung auf Sondierung) gemessen.

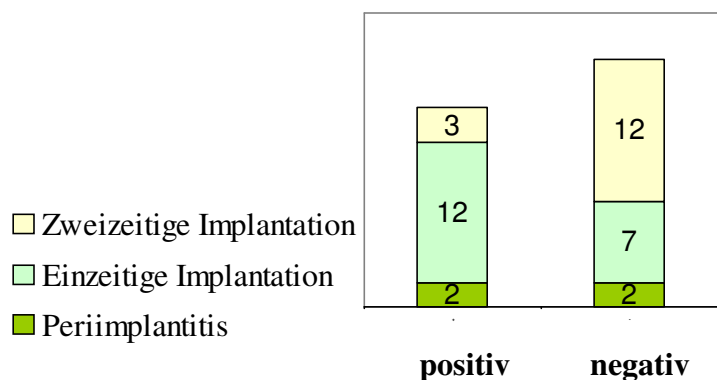


Abb. 21: Verteilung des BOP innerhalb der Indikationsgruppen



### 3.3.3 ST – Sondierungstiefe am Implantat

Die Messung der Sondierungstiefen erfolgt an allen vier anatomisch angrenzenden Seiten des am Augmentationsort inserierten Implantats. Die Angaben sind in mm.

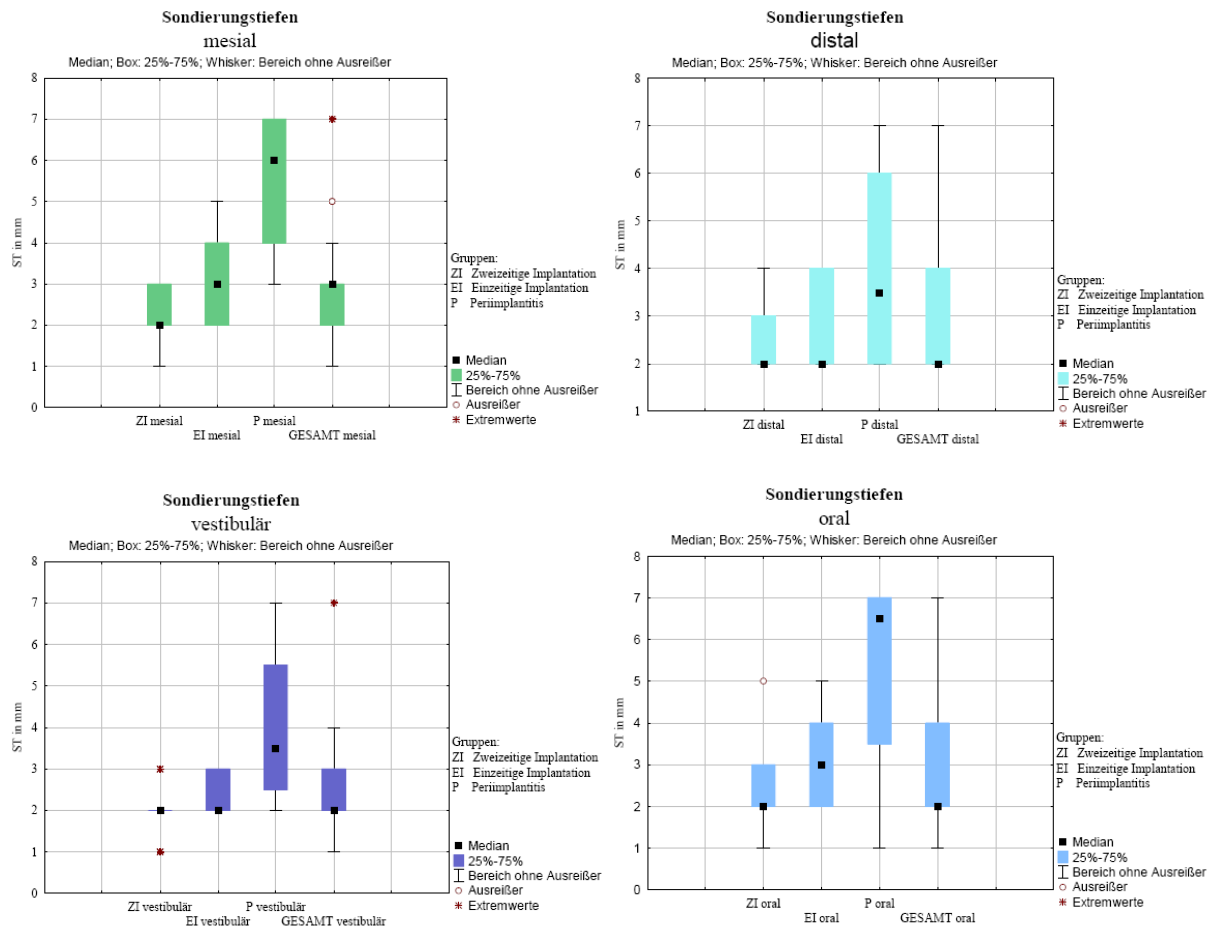


Abb.22: Auswertung der Sondierungstiefen

Gesamt divergierten die Mittelwerte zwischen 2,4 mm (vestibulär) und 3 mm (mesial), distal wurde im Mittel ein Wert von 2,8 mm und oral von 2,9 mm gemessen.

Die Sondierungstiefen betragen überall 1 mm bis maximal 7 mm, bis auf die distalen Messungen. Hierbei betrug der Minimalwert 2 mm.

Zwischen der Periimplantitis-Gruppe und den beiden Implantationsgruppen (Zwei- und Einzeitig) konnten Unterschiede festgestellt werden. Die Sondierungstiefen der Periimplantitis-Gruppe fielen im Schnitt tiefer aus: 2 bis 7 mm, Mittelwert zwischen 4,0 und 5,5 mm. (Implantationsgruppen: 1 bis 5 mm, Mittelwert zwischen 2,0 und 3,0 mm)

Der häufigste Wert bei der Periimplantitis-Gruppe war 7 mm (n= 6). Die übrigen Messwerte (n= 10) waren zwischen 1 mm und 6 mm gleichmäßig verteilt.

Bei den beiden anderen Indikationsgruppen war die gemessene Sondierungstiefe von 2 mm (n= 69) am häufigsten. 38-mal wurden 3 mm ermittelt, die übrigen 28 lagen bei 1 mm, 4 mm und 5 mm.

Somit ergibt sich ein Durchschnitt für die Periimplantitis-Gruppe von 4,7 mm, im Vergleich zu den Implantationsgruppen bei 2,6 mm.

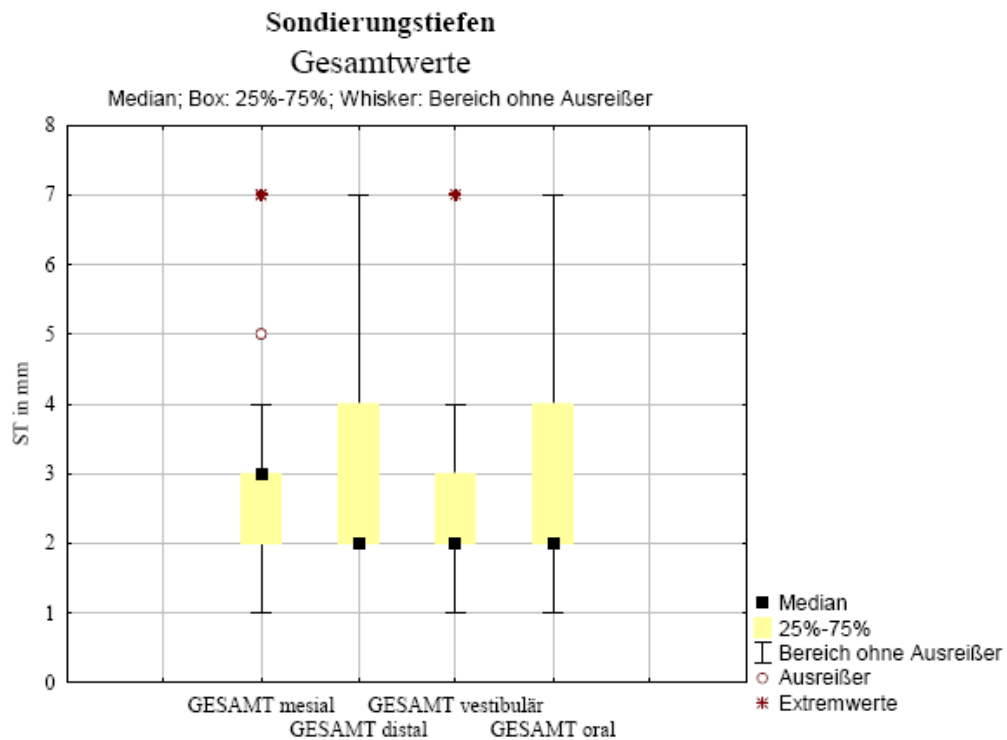


Abb. 23: Sondierungstiefen – Gesamtwerte der vier gemessenen Stellen im Vergleich

### 3.3.4 Periotest<sup>®</sup> – Implantatstabilität

Zur Verifizierung der Implantatstabilität erfolgte pro gesetztem Implantat die Durchführung eines Periotests mit der Klassifizierung nach Schulte (1986).

Die Stabilität der Implantationsgruppen wurde zwischen -08 und +06 gemessen. Die Varianz der gemessenen Werte entsprach mit Grad 0. Die Grade I - III kamen nicht vor. Die Beweglichkeit der Implantate entsprach somit einer physiologischen Zahnbeweglichkeit von Grad 0.

73,7% der Werte befanden sich im negativen Bereich, dies entsprach einer Anzahl von 28 Implantaten (positiver Bereich n= 10).

Der häufigste Wert war -02, der durchschnittliche PT-Wert betrug -1,9 (entspricht -02) mit einer Varianz von -08 und +06. Innerhalb der Indikationsgruppen variierten die Werte bei der Zweizeitigen Implantation zwischen -08 und +06, bei der Einzeitigen Implantation zwischen -08 und +05, sowie bei der Periimplantitis-Gruppe zwischen -01 und +02.

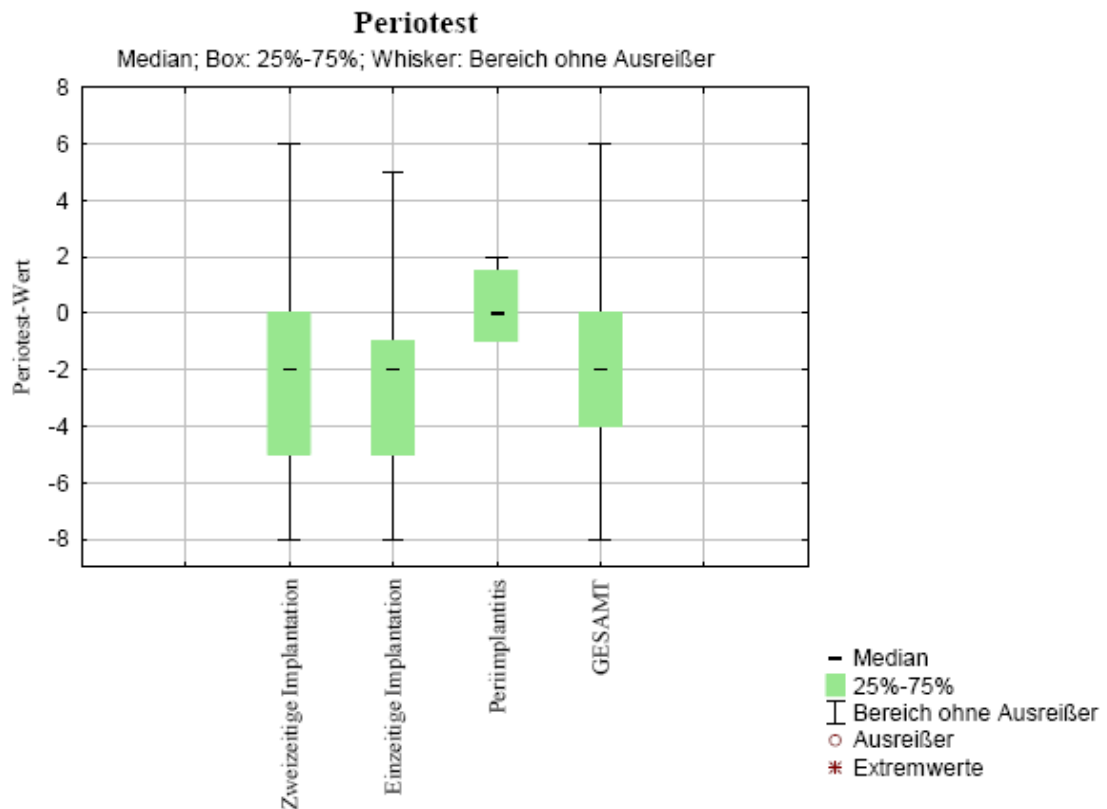


Abb. 24: Periotest-Verteilung

Die Mittelwerte konnten zwischen -1,8 (Zweizeitige Implantation), -2,5 (Einzeitige Implantation) und +0,3 (Periimplantitis) ermittelt werden. Das Gesamtmittel entsprach somit -1,9 (entspricht aufgerundet -02).

In Abb. 20 erfolgt die Aufschlüsselung der erhobenen Werte zum Aufzeigen der Varianz (Streubreite) der PT-Werte je Implantat.

### 3.4 Radiologische Untersuchung – Knochenhöhe

Zur Beurteilung des klinischen Verlaufs auf knöcherner Ebene wurde anhand der Panoramaschichtaufnahme die Knochenhöhe am Augmentationsort ermittelt und vermessen. Von allen Patienten wurde ein erster Vergleich zwischen Ausgangsbefund und direktem postoperativen Bild hergestellt. Bei der Gruppe der Zweizeitigen Implantation war dies der

Zeitpunkt der Implantatinsertion, wohingegen die Obturatorexposition bei der Einzeitigen Implantation sowie der Periimplantitis-Gruppe die postoperative Situation darstellte.

Ein weiterer Vergleich erfolgte zwischen diesem Zeitpunkt und der Nachuntersuchung 2 Jahre postoperativ.

Beim bildgebenden radiologischen Vergleich konnte lediglich der vertikale Wert am Knochen ermittelt werden. Die Differenz der Werte vom röntgenologischen Ausgangswert zum jeweiligen röntgenologischen Untersuchungszeitpunkt konnte dann als Knochenaufbau bzw. Knochenresorption in mm definiert werden.

Die augmentierten Knochendefekte wiesen unterschiedliche Ausgangsbefunde auf, welche anhand der gemessenen Knochenhöhe in mm der jeweiligen ASCIi-Klasse zugeordnet wurden.

Bei vertikaler Insuffizienz (Klassen C und I), n= 14, konnte die Differenz nach der Augmentation im Röntgenbild direkt ersehen werden.

Die transversalen Defekte (Klassen A und S mit Zusatz i), n= 9, waren im zweidimensionalen Röntgenbild nicht zu erkennen. Nach durchgeführter Implantation war der Erfolg nur klinisch ersichtlich und anhand des Implantatdurchmessers bestimmbar.

Kombinierte Defekte, d. h. vertikale und transversale Insuffizienz (Klassen Ci und Ii), n= 36, zeigten sich radiologisch nur im vertikalen Ausmaß. Diese Defekte waren v. a. bei frischen Extraktionsalveolen im Seitenzahnbereich oder in der Front zu finden. Es handelte sich hierbei um Defekte mit buccalen Dehiszenzen, d. h. mit reduzierter oder fehlender buccaler Knochenlamelle. Die tiefste Stelle des Defektes wurde als Ausgangswert berücksichtigt.

Vertikale Defekte am Implantat bedingt durch eine periimplantäre Entzündung mit Knochenresorption als Folge wurden gesondert betrachtet (n= 6). Die tiefste Stelle der vertikalen Radioluszenz gemessen am Implantat gab den Knochenverlust an.

Die Resultate dieser Studie sind aufgrund der geringen Fallzahl statistisch nicht signifikant, dennoch findet eine wesentliche Beeinträchtigung der Ergebnisse statt. Für die einzelnen Indikationsgruppen werden deswegen unterschiedliche Werte angegeben. Beide Implantationsgruppen (Zweizeitig und Einzeitig) werden zusammengefasst betrachtet und der Periimplantitisgruppe (P= x) gegenüber gestellt.

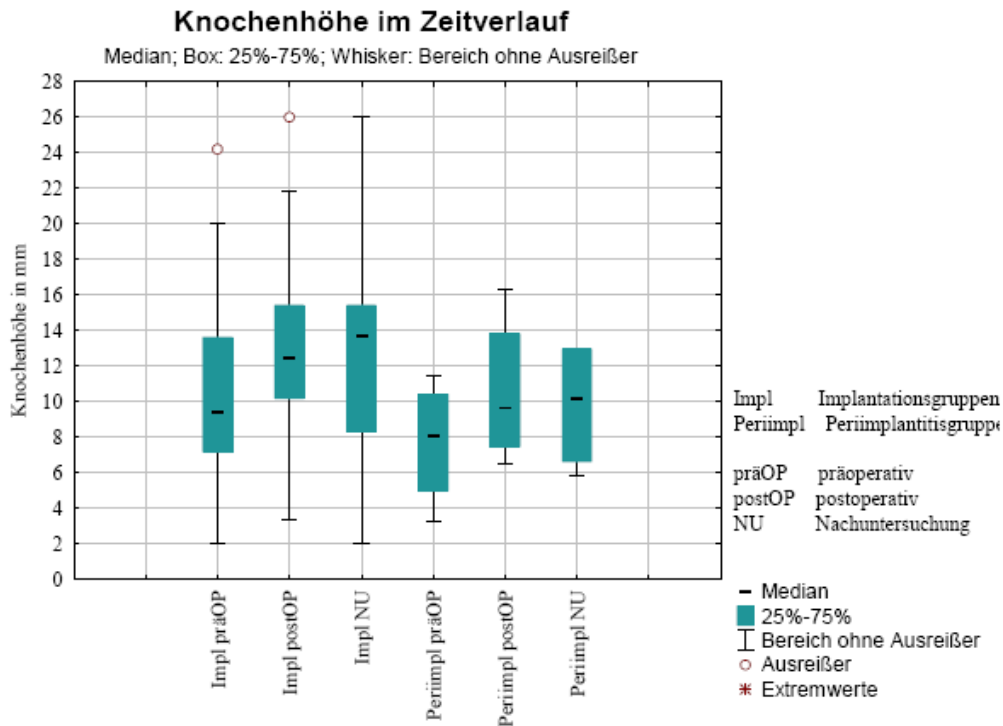


Abb. 25: Knochenhöhe im Verlauf der Behandlung

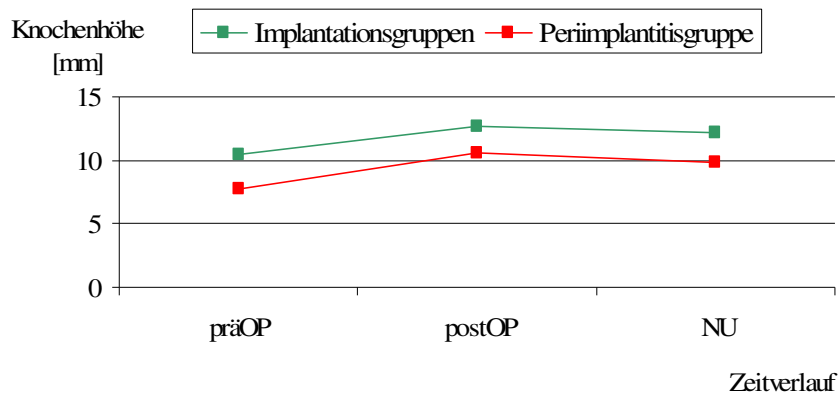


Abb. 26: Vergleich der Gruppen bei der Knochenhöhe im Verlauf der Behandlung

Die Patienten wiesen präoperativ eine mittlere Alveolarkammhöhe von 10,5 mm / P= 7,7 mm auf (min= 2,0 mm / P= 3,3 mm, max= 24,2 mm / P= 11,5 mm). Unmittelbar nach der Operation konnte eine durchschnittliche Alveolarkammhöhe von 12,7 mm / P= 10,6 mm nachgewiesen werden (min= 3,4 mm / P= 6,5 mm, max= 26,0 mm / P= 16,3 mm), somit ein Knochengewinn von 2,2 mm / P= 2,9 mm. In Prozent ausgedrückt, gab es einen Knochengewinn von 21% / P= 37,7%.

Zur Nachuntersuchung waren hiervon im Mittel noch 12,2 mm / P= 9,8 mm vorhanden. Die Augmentation lag hierbei im Schnitt 2 Jahre zurück. Das Minimum lag bei 2,0 mm / PG= 5,8 mm, das Maximum bei 26,0 mm / P= 13 mm.

Somit ergibt sich eine Resorption von 0,5 mm / P= 0,8 mm in 2 Jahren. Drückt man die Resorption in % aus, so entspricht dies einer Resorption von 3,9% / P= 7,5% in 2 Jahren.

Die insgesamt gewonnene Knochenhöhe ausgehend vom Ausgangsbefund bis zur Nachuntersuchung betrug durchschnittlich 1,7 mm (16,2%) bei der Implantationsgruppe nach 2 Jahren, bei der Periimplantitisgruppe (P) 2,1 mm (21,4%).

### 3.5 Patientenfragebogen

#### 3.5.1 Prothetische Versorgung

Von den 57 gesetzten Implantaten (Indikationsgruppen Einzeitige und Zweizeitige Implantation) werden 54 gezählt. Bei zwei Implantaten kam es zu Verlust (ein Früh-, ein Spätverlust), ein Implantat blieb auf Wunsch der Patientin vorerst prothetisch unversorgt. Ein Implantat kam zwar einen Monat nach Insertion zu Verlust, wurde aber sofort durch ein neues ersetzt. Dieses fand sich bei der Nachuntersuchung in situ und prothetisch versorgt.

Die sechs bereits vorhandenen Implantate sowie die bestehende prothetische Versorgung der Indikationsgruppe Periimplantitis werden in die Auflistung integriert.

Alle prothetischen Versorgungen der 24 direkt nachuntersuchten Patienten wiesen zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung eine in funktioneller und ästhetischer Hinsicht suffiziente Versorgung auf. Die herausnehmbaren Versorgungen zeigten eine gute Stabilität und druckstellenfreien Sitz auf.

37 Patienten von 41 Befragten konnten ihre Beurteilung abgeben. Zwei Patienten konnten nicht erreicht werden. Bei drei Patientinnen aus der Indikationsgruppe der Zweizeitigen Implantation wurde keine Implantation durchgeführt, somit auch keine folgende prothetische Versorgung. Eine Patientin aus derselben Gruppe wurde auf eigenen Wunsch trotz Implantat nicht prothetisch versorgt. Aus der Indikationsgruppe der Einzeitigen Implantation wurde eine Patientin beim Hauszahnarzt weiter behandelt.

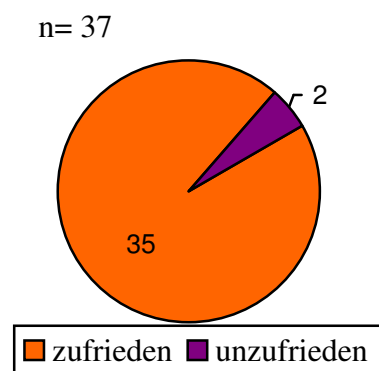
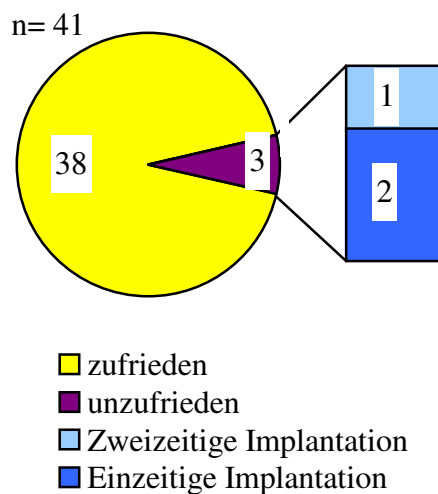


Abb. 27: Patientenbewertung bezüglich prothetischer Versorgung

In der Periimplantitis-Gruppe äußerten zwei untersuchte Patientinnen nicht mit der prothetischen Versorgung zufrieden zu sein. Jedoch waren die Implantate bereits vor dem augmentativen Eingriff in situ und die prothetische Versorgung seit Jahren eingegliedert. Aufgrund von periimplantär entzündlichen Defekten wurden sie in die Behandlung mittels Obturator aufgenommen. Eine Patientin klagte über ästhetischen Mangel in Form von freiliegenden Implantatwindungen, die schon vor dem Eingriff bestanden. Eine andere Patientin bemängelte den Halt ihrer Oberkiefer-Totalen. Die subjektive Beurteilung jedes einzelnen Patienten bezüglich der prothetischen Versorgung wird in Abb. 27 dargestellt.

### 3.5.2 Behandlungsverlauf

Die subjektive Beurteilung jedes einzelnen Patienten bezüglich des Behandlungsverlaufs wird in Abb. 28 dargestellt. Aus der Gruppe der Zweizeitigen Implantation beurteilte eine Patientin die Behandlung als nicht zufrieden, da diese nicht zum erwünschten Behandlungserfolg geführt hatte (keine Implantation seitens der Patientin= DropOut).



Zwei Patientinnen aus der Gruppe der einzeitigen Implantation werten die Behandlung als unzufrieden. Bei einer Patientin kam es nach vorzeitiger Obturatorentfernung bedingt durch eine Lagerinfektion auch zum Implantatverlust. Bei einer anderen Patientin führte die Behandlung trotz erfolgreich inserierter Implantate nach erfolgreicher Augmentation zu einer bakteriellen Entzündung (Sinusitis).

Abb. 28: Patientenbewertung bezüglich des Behandlungsverlaufs

3.6 Kasuistik

**Fall 1**

Ein 48-jähriger männlicher Patient stellte sich in der Göttinger Implantatsprechstunde vor, nachdem der überweisende Zahnarzt starke Mobilität am Implantat regio 36 festgestellt hatte. In Abb. 29 ist die radiologische Ausgangslage radiologisch erkennbar. Die Abb. 30 a + b zeigen die klinische Situation. Ein schüsselförmiger Knochendefekt mit Fenestration führte zur Kieferkammatrophy des Implantatlagers und somit zur Mobilität des Implantats. Eine Reimplantation war aufgrund der vertikalen und transversalen Insuffizienz kontraindiziert. Die eingezeichnete Linie in Abb. 29 verdeutlicht den Knochenverlauf.

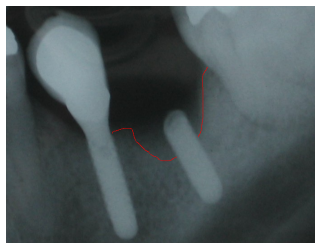


Abb. 29: Radiologische Ausgangssituation

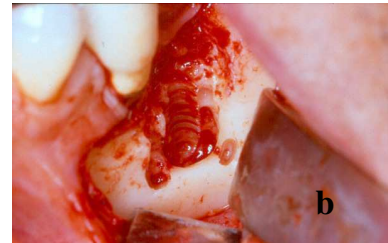
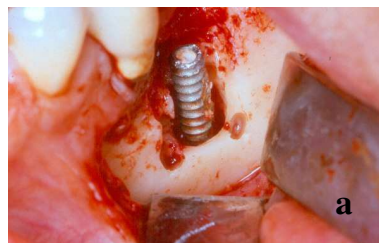


Abb. 30 a + b: Klinische Ausgangssituation

Die Operation erfolgte in Lokalanästhesie (Ultracain DS forte, Fa. Hoechst, Frankfurt a.M., D) über defektferne, transversal zum Kieferkamm gerichtete Schnitte distal der vorgesehenen Augmentatgrenzen. Unter ständiger odontoskopischer Kontrolle (Abb. 31) wurde die Kompakta zur Konditionierung des Augmentatlagers perforiert und mit Eigenblut, Cerasorb<sup>®</sup> (Fa. Curasan, Kleinostheim, D; 0,5 g fein) und Knochenspänen, die intraoperativ entnommen wurden, gefüllt. Die Titanbarriere wurde angepasst und mit einer Mikroschraube (Fa. MedArtis, Basel, Schweiz; Größe 6 mm, Ø 1,5 mm) am Kieferkamm fixiert (Abb. 32). Der Mukoperiostlappen wurde durch Periostinzisionen mobilisiert und spannungsfrei über der Augmentationskammer gelagert. Die Zugänge wurden mit Einzelknopfnähten verschlossen (Abb. 33).



Abb. 31: Odontoskopische Kontrolle

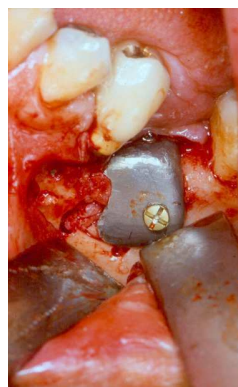


Abb. 32: Titanobturator in situ

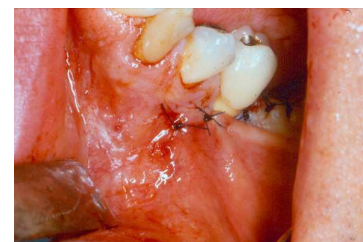


Abb. 33: Klinische Situation postOP



Sieben Tage später erfolgte die erste Kontrolle mit der Nahtentfernung (Abb. 34). Zwei weitere Verlaufskontrollen folgten. Nach 21 Wochen (> 5 Monate) Liegedauer mit komplikationslosem Heilungsverlauf wurde die Augmentationskammer über eine krestale Schnittführung entnommen. Darunter hatte sich ein formkongruenter Kieferkamm aus



Abb. 34: Radiologische Kontrolle mit Obturator

Hartgewebe entwickelt.

Im zweizeitigen Implantationsverfahren wurde drei Wochen später in den regenerierten Knochen an augmentierter Stelle unter odontoskopischer Kontrolle ein Xive<sup>®</sup>-Implantat (Fa. Friadent, Mannheim, D; Länge 13 mm, Ø 4,5 mm) inseriert und die Behandlung komplikationslos abgeschlossen (Abb. 35).

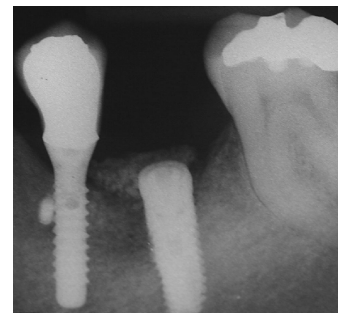


Abb. 35: Implantatinsertion

Es wurde ein vertikaler Gewinn an Hartgewebe von 2,8 mm erzielt. Der schüsselförmige Defekt wurde gesamt mit Knochen gefüllt. In der Horizontalen wurde eine Kieferkammbreite von > 5 mm erreicht (suffiziente transversale Knochendimension), das Implantat mit einem Durchmesser von 4,5 mm konnte problemlos eingebracht werden. Die Ausgangssituation eingestuft in die Klasse Ci (vertikal kritisch und transversal insuffizient) konnte nach der Augmentation in Klasse S (vertikal und transversal suffizient) hochgestuft werden.

Die Abb. 36 + 37 zeigen den Zustand klinisch und radiologisch bei der Nachuntersuchung 2 Jahre postOP.

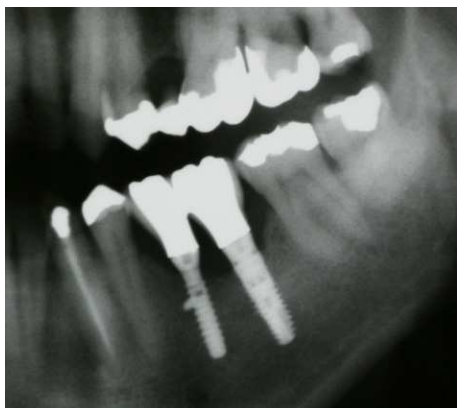


Abb. 36: Radiologische Nachuntersuchung 2 Jahre postOP



Abb. 37: Klinische Nachuntersuchung 2 Jahre postOP

Zu diesem Zeitpunkt befand sich das Implantat reizlos unter Funktion, prothetisch mit einer Einzelkrone suffizient versorgt. Der Knochen wurde um 1,7 mm resorbiert, somit konnte man mit einem vertikalen Gesamtknochenzuwachs im Vergleich zur Ausgangssituation von 1,1 mm rechnen. Das Implantat war klinisch fest (Periotest: -07), die Sondierungstiefen, sowie die Erhebung des SBI und des BOP deuteten auf klinisch gesunde periimplantäre Zustände (ST: 2 bis 3 mm, SBI: 13%, BOP negativ). Der Patient war sowohl mit der Gesamtbehandlung, dem Verlauf als auch mit der prothetischen Versorgung und somit mit der Gesamtlösung sehr zufrieden.

### Fall 2

Eine 69-jährige Patientin stellte sich in der Göttinger Implantatsprechstunde vor und äußerte den Wunsch nach einer gaumenfreien Versorgung beim zahnlosen Oberkiefer.

Die Abb. 38 und 39 zeigen das Ausgangsbild. Für die gaumenfreie Versorgung werden Implantate benötigt, die jedoch aufgrund vertikaler und transversaler Kieferkamminsuffizienz im Oberkiefer augmentativer Maßnahmen erfordern.



Abb. 38: Radiologische Ausgangssituation

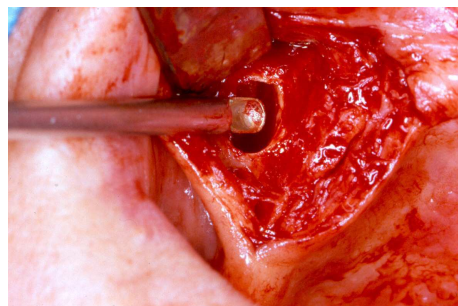


Abb. 39: Klinische Ausgangssituation und endoskopische Kontrolle

Es wurde beidseitig ein Sinuslift im Seitenzahnggebiet durchgeführt. Anschließend wurde der kombinierte Knochendefekt regio 013 mittels Obturator (Abb. 40) augmentiert, um eine Kieferkammbreite zu ermöglichen, die für eine Implantation ausreichend ist.

Unter Lokalanästhesie (Ultracain DS forte, Fa. Hoechst, Frankfurt a.M., D) erfolgte die krestale Inzision über transversal zum Kieferkamm gerichteten Schnitten. Wie in Fall 1 beschrieben, wurde unter odontoskopischer Kontrolle die Konditionierung des Augmentatlagers und die Auffüllung mit Eigenblut und Cerasorb<sup>®</sup> (Fa. Curasan, Kleinostheim, D; 0,5 g fein) durchgeführt. Nach Anpassung und Platzierung des Obturators erfolgte die Mikrofixation mittels einer Mikroschraube (Fa. MedArtis, Basel, Schweiz; Größe

10 mm, Ø 2 mm) – (Abb. 41 a - c). Vor dem Verschluss mit Einzelknopfnähten erfolgte die Mobilisierung des Mukoperiostlappens und dessen spannungsfreie Lagerung über der Augmentationskammer (Abb. 42).



Abb. 40

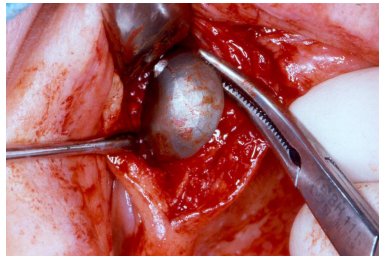


Abb. 41 a

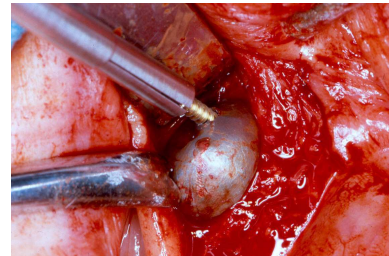


Abb. 41 b

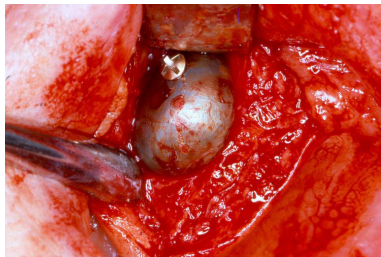


Abb. 41 c

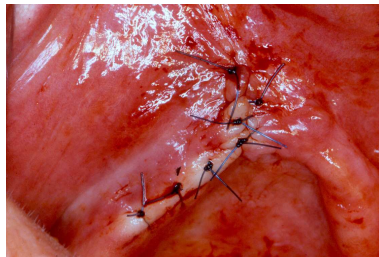


Abb. 42

- Abb. 40: Titanobturator
- Abb. 41 a – c: Obturatorinsertion und Mikrofixation
- Abb. 42: Klinische Situation postOP

Abb. 43 zeigt den Obturator im Röntgenbild. Die Nähte wurden zehn Tage später entfernt. Nach zehn Wochen Liegedauer mit komplikationslosem Heilungsverlauf wurde der Obturator explantiert (Abb. 44). Darunter hatte sich ein formkongruenter Kieferkamm aus Hartgewebe entwickelt (Abb. 45).



Abb. 43: Radiologische Kontrolle mit Obturator

Abb. 44:  
Obturatorimplantation

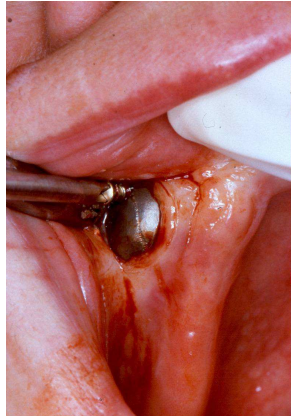
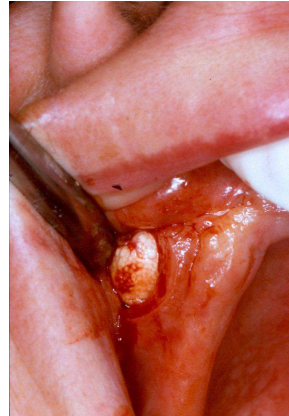


Abb. 45:  
Klinische Situation  
nach  
Obturatorimplantation



Im zweizeitigen Implantationsverfahren wurde in den regenerierten Knochen an augmentierter Stelle unter odontoskopischer Kontrolle ein Semados<sup>®</sup>-Implantat (Fa. Bego, Bremen, D; Länge 8 mm, Ø 3,75 mm) inseriert und die Behandlung komplikationslos abgeschlossen (Abb. 46). Es wurde eine transversale Auffüllung des Defektes erreicht, so dass das Implantat mit einem Durchmesser von 4,5 mm und 8 mm Länge problemlos eingebracht werden konnte. Die Ausgangssituation eingestuft in die Klasse Ii (vertikal insuffizient und transversal insuffizient) wurde nach der Augmentation in Klasse C (vertikal kritisch und transversal suffizient) hochgestuft.



Abb. 46: Implantatinsertion

Bei der Nachuntersuchung 2 Jahre postOP befand sich das Implantat in einer Stegkonstruktion unter einer gaumenfreien totalen Oberkiefer-Versorgung (Abb. 46 + 47). Der Knochen wurde nach zwei Jahren um 2 mm resorbiert. Das Implantat war klinisch fest (Periotest: +06), die Sondierungstiefen, sowie die Erhebung des SBI und des BOP deuteten auf klinisch gesunde periimplantäre Zustände (ST: 1 bis 4 mm, SBI: 33%, BOP negativ). Die Patientin war sowohl mit der Gesamtbehandlung, dem Verlauf als auch mit der prothetischen Versorgung und somit mit der Gesamtlösung sehr zufrieden.

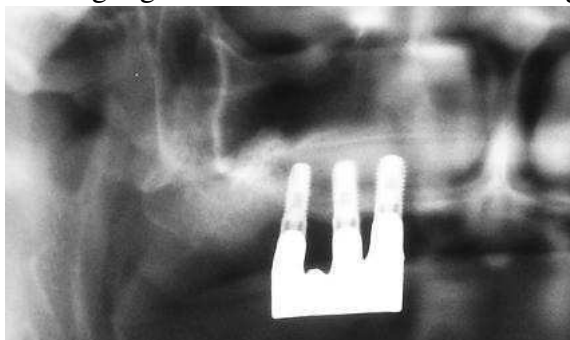


Abb. 47: Radiologische Nachuntersuchung  
2 Jahre postOP

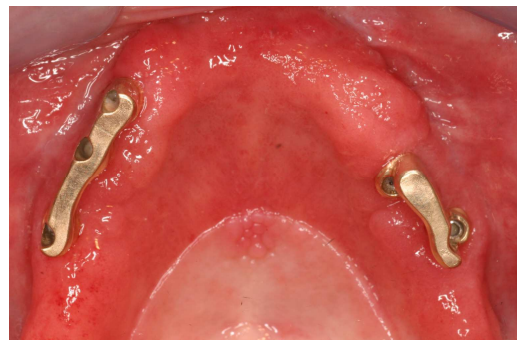


Abb. 48: Klinische Nachuntersuchung  
2 Jahre postOP

### 4 Diskussion

#### 4.1 Diskussion der Operationsmethode

Eine erfolgreiche Insertion von zahnärztlichen Implantaten in den Kieferknochen erfordert ein ausreichend dimensioniertes und stabiles Knochenlager. Viele verschiedene Augmentationstechniken wurden entwickelt und erprobt. Das Gebiet umfasst neben den unterschiedlichsten Techniken auch noch ein breites Materialspektrum.

Die Technik der guided bone regeneration (**GBR**, Gesteuerte Knochenregeneration) ist schon lange bewährt und erfolgsversprechend. Der Einsatz von Barrieren / Membranen im Rahmen der gesteuerten Knochenregeneration zur Schaffung eines suffizienten Implantatlagers gilt heute als etablierte evidenzgestützte Behandlungsmethode (Becker et al. 1994, 1995, Dahlin et al. 1991a, 1991b, 1995, Jovanovic et al. 1992, Kramer und Schliephake 1999) auch der Langzeiterfolg von Implantaten ist klinisch belegt (Simion et al. 2001, Nevins et al. 1998, Buser et al. 1996b). Im Vergleich zu anderen augmentativen Operationstechniken lassen sich bei der GBR-Technik gezielt kleinere lokale Knochendefekte bei einem Restknochenangebot augmentieren, die für ein bzw. zwei bis drei benachbarte Implantate das Implantationslager bilden sollen. Die besten Langzeitergebnisse zeigen sich bei dieser Methode im Vergleich mit anderen Augmentationstechniken (Aghaloo und Moy 2007). Daher werden Modifikationen bei der Wahl des Materials und der Durchführung zur Verbesserung und Optimierung dieser Operationsmethode gesucht.

Die vorliegende Studie konzentriert sich auf Knochendefekte, die mittels starrer Titanbarrieren augmentiert wurden. Im Rahmen der GBR-Technik dienen sie als Augmentationshilfe für das Einbringen dentaler Implantate oder im Rahmen der Periimplantitisbehandlung und somit oraler Rehabilitation der Patienten.

Die Ausdehnung des zwischen der Knochenoberfläche und Membran liegenden Hohlraumes bestimmt das spätere Augmentationsvolumen, da nur dieser Bereich die ungestörte Besiedlung mit Osteoprogenitorzellen zulässt. Die Erzeugung eines festen, mechanischen Raumes oberhalb des Knochniveaus nach dem Prinzip des Spacemaking mittels starrer Barrieren wurde bislang hauptsächlich in tierexperimentellen Studien bestätigt (Lundgren AK et al. 1999, 2000, Slotte und Lundgren 2002, Yamada et al. 2003). Nur wenige

---

klinische Studien wurden hierzu veröffentlicht. In einer dieser Operationsmethode ähnlichen Studie haben van Steenberghe et al. (2003) über Knochenregeneration mit festen okklusalen **Titanbarrieren** berichtet, die am zahnlosen Kiefer als Augmentationshilfe für spätere Implantationen erfolgreich eingesetzt wurden. Molly et al. (2006) aus derselben Studiengruppe griffen diese Methode ebenfalls erfolgreich auf. Die Titanbarrieren dieser Studie gewährleisteten durch ihre Starrheit und Formstabilität den erwähnten stabilen osteoproliferativen Raum (Spacemaker) verglichen mit anderen Membranformen. Durch die individuelle Herstellung am Gipsmodell kann die genaue Form des Alveolarknochens kongruent wiedergegeben werden, wie in dieser Studie festgestellt. Dank der festgelegten Formgebung kann sowohl eine vertikale als auch eine transversale bzw. kombinierte Augmentation mittels individueller Titankammern im Rahmen der GBR erfolgreich durchgeführt werden. Studien über Operationstechniken mit lateralen Auflagerungsplastiken mit oder ohne Membranen (Cordaro et al. 2002, von Arx und Buser 2006, Pelo et al. 2007) wurden bereits publiziert. Die Entnahme von autogenen Transplantaten jedoch und der somit zusätzliche operative Eingriff werden dank der Technik mit Titanobturatoren und der Verwendung von Füllmaterialien (alloplastisches  $\beta$ -TCP und autologe Knochenspäne) vermieden. Alleinige Anwendung von Knochenblöcken führt nämlich zu hohen Resorptionsraten, von bis zu 60% (de Koomen et al. 1979, ten Bruggenkate et al. 1992, Wiltfang et al. 2005).

Bei anderen Membranen, sowohl nicht-resorbierbaren als auch v. a. resorbierbaren, kommt es oft durch den Weichteildruck zu Verformungen oder zum Kollaps und somit zum unerwünschten Endergebnis. Um eine knöcherne Regeneration der versorgten Defekte zu erreichen, ist die postoperative Ruhe im Wundbereich unabdingbar. Diese wird durch die sichere Platzierung des individuell gestalteten Obturators, den starren Hohlraum dank der Titanform und die starre Fixierung mittels Mikroschrauben erreicht. Neuere Studien stellen die meist beschriebenen ePTFE-Membranen jetzt mit Titanverstärkung vor (Canullo und Malagnino 2008, Simion et al. 2007a, 2007b, Fugazzotto 2003, Fontana et al. 2008). Durch das Titangerüst wird der Kollaps verhindert. Die knöcherne Regeneration unter der Membran in dem leeren Hohlraum besitzt höchste osteogene Potenz. Stavropoulos et al. (2004) führten eine Studie an Ratten durch, indem sie an die Außenseite des Ramus mandibulae Teflonkapseln mit bovinem Knochen als Füllmaterial anbrachten. Als Kontrollen waren leere Kapseln eingesetzt. Nach einem Jahr wurde das augmentierte Knochengewebe histologisch ausgewertet. Gegenüber den aufgefüllten Kapseln zeigten die Kontrollseiten ohne Füllmaterial ein vierfach höheres Knochenvolumen. Der Raum unterhalb des Obturators lässt

Platz für das Blutkoagulum und somit zum ungehinderten Einstrom von Knochenzellen. Ebenso findet sich Platz für Augmentationsmaterial in Verbindung mit Implantaten, sprich autologe Knochenpartikel und / oder Knochenersatzmaterialien wie in dieser Studie. Durch die Verwendung osteokonduktiver Füllstoffe unter der Titankammer kommt es neben der Beschleunigung der Osteogenese, auch zur Steigerung der Osseointegration gesetzter Implantate. Das in überwiegenden Fällen dieser OP-Reihe benutzte  $\beta$ -Tricalciumphosphat wird synthetisch hergestellt und ist in unbegrenzter Zahl verfügbar (Wiltfang et al. 2003). Neben guten osteokonduktiven Eigenschaften, bieten es gute Biokompatibilität (Wiltfang et al. 2003). Hingegen stellt der autologe Knochen, hier in Form von intraoperativ gesammelten Knochenpänen, den Standard für die Augmentation eines lokalen Knochendefizits dar (Wiltfang et al. 2005, Schlegel et al. 2007). Er ist biokompatibel (beste Osteoinduktion, -konduktion und -substitution), ermöglicht eine Revaskularisierung und zeigt geringere Infektionsraten zu. Neuere Techniken tendieren zum Einsatz osteoinduktiver Füllmaterialien. Als Beimischung zu xenogenen oder alloplastischen Trägermaterialien, die nur eine osteokonduktive Eigenschaft besitzen, können BMPs (bone morphogenetic proteins) neuen Knochen bilden und bei der Technik der gesteuerten Knochenregeneration (GBR) die Osseointegration verbessern und beschleunigen (Terheyden et al. 1999a, Sigurdsson et al. 2001). Allerdings beschränkt sich die klinische Anwendbarkeit auf zahnärztlichem Gebiet erst noch auf klinische Studien, wird aber zukünftig sicherlich an Bedeutung gewinnen.

Ein Zweiteingriff zur Explantation des Obturators ist jedoch notwendig, der mit erneuten OP-Risiken für den Patienten verbunden ist. Der Verzicht auf den Zweiteingriff wäre in finanzieller als auch in zeitlicher Hinsicht ein Vorteil. Auch besteht die Gefahr der Traumatisierung des neu regenerierten Gewebes bei der Membranentfernung. Allerdings lässt sich dieser Schritt beim zweizeitigen Verfahren ebenso wenig umgehen. Resorbierbare Membranen heben den Nachteil des Zweiteingriffs auf, außerdem besitzen sie die Eigenschaft optimaler Gewebeintegration und beschleunigter Wundheilung (Hürzeler et al. 1996, Hutmacher et al. 1996). Diese Gewebeintegration ist Voraussetzung für die Resorption. Die Augmentationszeit ist aber durch die gegebene Resorption zeitlich nicht steuerbar. Der hier wichtige Aspekt des mechanisch stabilen Raumes kann auch nicht gewährleistet werden. Eine der häufigsten Komplikationen bei resorbierbaren Membranen ist die bereits oben erwähnte Tendenz zum Kollaps. Biologische Prozesse wie früh einsetzende Degradation und die damit

verbundene abnehmende Membranstabilität werden bei resorbierbaren Membranen mit negativen Ergebnissen beschrieben (Schliephake et al. 1997, Hürzeler et al. 1997a).

Bei der Anwendung der Titanobturatoren ist eine vorausgehende Planung und Herstellung unabdingbar. Die Herstellung von Titanobturatoren auf der Basis von Computertomogrammen (CT) (van Steenberghe et al. 2003) ist zwar genauer, allerdings noch nicht Gegenstand des klinischen Alltags. Die arbiträre Anfertigung auf einem radierten Meistermodell ist mit weniger Aufwand verbunden und zeigt in dieser Studie ebenfalls erfolgreiche Ergebnisse. Das Material des Obturators, Reintitan, zeichnet sich durch eine hohe Korrosionsbeständigkeit aus, zudem besitzt es eine gute Gewebeverträglichkeit. Die Oberfläche allerdings ist zukünftig verbesserungsfähig, da das Titan sehr grob ist und angehend modifiziert werden könnte.

Perforationen im Obturator dienen dem Schraubeinsatz und ermöglichen eine starre Fixation. Mit Hilfe der **Mikrofixationstechnik** (Engelke et al. 1997, 2004) kommt hier eine Methode hinzu, die zwar bisher erfolgreich an Knochentransplantaten (Fixierung von Knochenblöcken) genutzt worden ist, aber an Titankammern noch wenig gebräuchlich ist. Dank dieser Methode lassen sich die individuellen Titankammern stabil am Kieferkamm fixieren. Die primärstabile Einheilung der Augmentationskammern wird gewährleistet. Die Gefahr der Dislokation wird verhindert. Eine vielversprechende zukunftsorientierte Variante zu den selbstschneidenden Mikrotitanschrauben stellt die Verwendung bioresorbierbarer Fixationsmaterialien dar. Neueste Untersuchungen vergleichen bioresorbierbare Schrauben mit resorbierbaren Ultraschall-aktivierbaren Pins. Großer Vorteil ist die einfache Handhabung. Durch ihre Stabilität sind sie deutlich weniger frakturgefährdet (Pilling et al. 2007a, 2007b, Eckelt et al. 2007). Die erhebliche Zeiteinsparung beim Einbringen in Kombination mit Titanplatten ist ein weiterer Vorteil (Eckelt et al. 2007). Eine neue Methode nach Iglhaut (2009) scheint innovative Veränderungen zu bringen. Formstabile, resorbierbare Schalen für horizontale und / oder vertikale Knochenaugmentation werden mittels Ultraschallapplikation am Kieferkamm fixiert. Die dadurch verursachte Verflüssigung und dreidimensionale Infiltration der Pins in die Knochenstrukturen hinein bewirkt hohe Festigkeit und lässt auf den Gebrauch von Mikrotitanschrauben verzichten.

Wie diese Studie zeigt, eignet sich diese Augmentationsform als eine knochenaufbauende Maßnahme simultan oder vor einer Implantatinsertion bzw. bei der Therapie einer Periimplantitiserkrankung bei bereits vorhandenen Implantaten.



Das **zeitliche Vorgehen** bei einer Implantation liegt im methodischen Unterschied und wird in der Literatur viel diskutiert. So stehen sich die simultane Implantation mit gleichzeitiger Anwendung der Membrantechnik und das zweizeitige Verfahren (Implantation erst nach erfolgreicher Augmentation) als grundsätzliche Möglichkeiten gegenüber. Die Indikation richtet sich nach der Defektgröße und der Möglichkeit einer stabilen Implantatverankerung in prothetisch gewünschter Position.

Die zweizeitige Methode wird von mehreren Autoren präferiert, da ausreichendes Knochenangebot nach der Augmentation für die Implantation vorhanden ist. Der Knochen weist eine bessere Remodellation auf und gewährleistet somit die bessere Osseointegration der Implantate unabhängig vom Füllmaterial unterhalb der Membran (Fiorellini et al. 2007, Lundgren S et al. 1999, Buser et al. 1993, 1995, Schultze-Mosgau et al. 2001). Sie ist die sichere Wahl, wenn keine Primärstabilität gewährleistet werden kann oder wenn keine prothetisch günstige Positionierung der Implantate gegeben ist. In ästhetisch wichtigen Regionen ist ein stabiles und ausreichendes Weich- und Hartgewebsangebot eher bei dieser Methode zu erreichen.

Die Resorption beim einzeitigen Verfahren ist noch nicht vorhersehbar und somit droht Gefahr von freiliegenden Implantathälsen. Entgegen vieler Studien mit den Ergebnissen größerer Resorption beim einzeitigen Eingriff (Schultze-Mosgau et al. 2001, Keweloh 2000, Christensen et al. 2003), zeigte sich in dieser Untersuchung beim einzeitigen Verfahren eine Resorption nach zwei Jahren von durchschnittlich 0,2 mm (1,6%) zu 0,9 mm (7,2%) beim zweizeitigen Eingriff. Jedoch zeigen diese Werte keine statistische Signifikanz aufgrund der geringen Fallzahl (26 / 30). Die Überlebensrate der Implantate im Vergleich beider Implantationsverfahren ist in der Literatur nahezu ähnlich zu finden. Die meisten Untersuchungen dokumentieren eine Überlebensrate von über 90% (Simion et al. 1998, 2001, 2004, Fugazzotto 1997, 1998, Zitzmann et al. 2001, Nevins et al. 1998, Buser et al. 1996b, 2002). Die Zahl der untersuchten Implantate sowie der Zeitraum der (Langzeit-)Untersuchung divergiert in der Literatur. In dieser Studie kam es entsprechend zum Verlust eines Implantates aus der Gruppe der Zweizeitigen Implantation (n= 30), was einer Überlebensquote von 96,7% entspräche. Bei der Gruppe der Einzeitigen Implantation (n= 26) wurden zwei Verluste innerhalb der 2 Jahre verzeichnet (92,3%). Der deskriptive Ansatz dieser Studie zeigt dahingehend eine positive Korrelation zu den oben genannten Studien, da hier insgesamt nur drei Implantate verloren gegangen sind.

---

Bezüglich der Membrantechnik bei periimplantären Infektionen (**Periimplantitis**) liefern einige Publikationen vielversprechende Ergebnisse (Jovanovic et al. 1993, Hämmerle et al. 1995, Schüpbach et al. 1994, Baron et al. 2000). Es ist jedoch zu bedenken, dass eine Implantatkontamination vorliegt, wodurch die Ergebnisse aus anderen Defektmorphologien nicht einfach übertragen werden können. Entscheidend vor der membranapplizierten Technik ist die effektive Vorbehandlung kontaminierter Flächen mittels mechanischer Belagentfernung und Desinfektion der Implantatoberflächen sowie der antimikrobiellen Therapie. Eine begleitende laserassistierte Oberflächendekontamination sollte und wird auch hierbei angewendet (Deppe et al. 1999, 2000, Renvert et al. 2008). Der chirurgische Eingriff bei einer Periimplantitis ist unumgänglich, während die mechanische Reinigung mit antimikrobieller Begleittherapie allein bei einer Perimukositis noch als ausreichend angesehen werden (Renvert et al. 2008).

Ein bislang weniger verbreitetes, jedoch vielversprechendes Verfahren in der Augmentationstechnik stellt das hier in der Studie angewandte **minimalinvasive Vorgehen** mit Odontoskopie und Mikrofixation dar. Ein geschlossener augmentatferner Zugang lässt sich am besten mittels der Tunneltechnik erzeugen. Dieses als schonend beschriebene Verfahren mittels der „Flapless“-Technik (Becker et al. 2005, Engelke und Capobianco 2005, Jeong et al. 2008) bietet bessere Heilungschancen aufgrund geringerer lokaler Gewebetraumatisierung, optimaler Vaskularisierung und angemessener Weichgewebsabdeckung der Titankammer (Engelke et al. 2002a, Engelke und Capobianco 2004). In ästhetisch wichtigen Regionen, wie z. B. OK-Front, ist die postoperative Heilung, die entscheidend zum erfolgreichen Weichgewebsmanagement beiträgt, von großer Bedeutung. Mit der lappenfreien Technik dank Tunnelierung erreicht man auch in diesen Regionen ein zufriedenstellendes Ergebnis (Oh et al. 2007). Obwohl sich weiter der Vorteil einer visuellen intraoperativen Lagekontrolle bietet, zeigt diese Methode im hier vorliegenden Kollektiv keine Vorteile gegenüber der klassischen offenen Technik. Die beschriebene geringere Tendenz zu Dehiszenz kann in dieser Studie nicht direkt bestätigt werden. Die niedrigen Fallzahlen lassen hier allerdings keine abschließende Bewertung zu.

#### 4.2 Diskussion der Evaluationen und Ergebnisse

Die erhobenen klinischen und radiologischen Parameter spielen eine Rolle bei der Beurteilung des Implantaterfolges. Die Evaluation der Implantaterfolgsraten besteht darin, die

---

aufgestellten Erfolgskriterien zu erfüllen. Trifft ein Kriterium zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung nicht zu, so liegt ein Misserfolg vor. Die deskriptive Analyse durchleuchtet an einzelnen Fällen die Misserfolgsrate.

Erfolgskriterien :

1. Implantat in situ und prothetisch versorgt (Langzeiterfolg / Überlebensquote)
2. individuell unverblocktes Implantat ist klinisch fest; Periotest-Wert < +08
3. Röntgen: keine periimplantäre Transluzenz
4. vertikaler Knochenabbau kleiner als 0,2 mm pro Jahr nach dem ersten Jahr der Liegedauer
5. keine Implantatfraktur
6. keine bleibenden und/oder irreversiblen Zeichen oder Symptome wie Schmerz, Infektion, Neuropathie, Parästhesie oder Verletzung des Mandibularkanals
7. positive Patientenwertung

### 4.2.1 Komplikationen und Implantaterfolg

In dieser Studie kam es zum Verlust eines gesetzten Implantates aus der Gruppe der Zweizeitigen Implantation (n= 30), was einer Überlebensquote von 96,7% entspricht. Bei der Gruppe der Einzeitigen Implantation (n= 26) wurden zwei Verluste innerhalb der zwei Jahre verzeichnet (92,3%). Dies entspricht gesamt einer Überlebensquote von 94,6% der gesetzten Implantate und einer Überlebensquote von 95,2% aller während dieser Studie untersuchten Implantate, die Periimplantitis-Gruppe eingeschlossen.

In der Gruppe der Zweizeitigen Implantation kam es zu einem Frühverlust nach drei Monaten Liegedauer ohne funktionelle Belastung des Implantats mit sofortiger Reimplantation. Das neu gesetzte Implantat war während der klinischen und radiologischen Nachuntersuchung zwei Jahre postoperativ erfolgreich in situ unter funktioneller Belastung.

Aus der Gruppe der Einzeitigen Implantation wurden zwei Verluste, wie bereits oben erwähnt, verzeichnet. Ein Implantat musste nach vier Wochen Liegedauer zusammen mit dem Titanobturator aufgrund putrider Lagerinfektion vorzeitig entfernt werden (Frühverlust). Bei einem weiteren Patienten kam es zum spontanen symptomfreien Spätverlust nach über einem Jahr funktioneller Belastung (64,5 Wochen Liegedauer, 53 Wochen nach Entfernung des Obturators).

---

Die Überlebensquote der Implantate in dieser Studie, die als deskriptive Summation evaluiert wurde, korreliert mit anderen Autoren, die zwischen 76,8% und 100% in einem Zeitraum zwischen 6 Monaten und 7 Jahren angeben, wobei die Mehrheit bei über 90% in einem Untersuchungszeitraum von 5 Jahren liegt (Buser et al. 1996b, 2002, Becker et al. 1999, Fugazzotto 1997, 1998, 2005, Hämmerle et al. 2002, Nevins et al. 1998, Simion et al. 1998, 2001, 2004, von Arx et al. 1998, Zitzmann et al. 2001, Dahlin et al. 1995, Gelb 1993, Jovanovic et al. 1992, Degidi et al. 2003, van Steenberghe et al. 2003). Die Publikationen belaufen sich auf unterschiedliche Membranmaterialien mit unterschiedlichen Füllstoffen, einige werden näher beschrieben:

In einer Studie mit ePTFE-Membranen von Buser et al. (1996b) mit neun Patienten und 12 im zweizeitigen Verfahren inserierten Implantaten betrug die Überlebensrate der Implantate nach 5 Jahren 100%.

Eine weitere Studie an 40 Patienten mit 61 zweizeitig gesetzten Implantaten von Buser et al. (2002) zeigt dasselbe Ergebnis der Überlebensrate nach 5 Jahren. Allerdings war ein Implantat periimplantär entzündet, was die Erfolgsrate auf 98,3% senkt.

Becker et al. (1999) zeigten in einer Studie mit 84 Fällen, davon 40 Extraktionsalveolen und 40 buccalen Dehiszenzen eine Überlebensrate der 75 einzeitig gesetzten Implantate von 76,8-93,9% im Oberkiefer, sowie 83,8-93,8% im Unterkiefer im selben Zeitraum wie vorangegangene Studien. Die besseren Werte in beiden Kiefern sind der Gruppe mit den Extraktionsalveolen zuzuordnen.

Fugazzotto (1997, 1998, 2005) untersuchte in seinen Langzeitstudien (6 bis 133 Monate) zwischen 346 und 626 Implantaten (beide Implantationsverfahren), deren Implantatlager mittels ePTFE-Membranen und unterschiedlichen Füllstoffen augmentiert wurden. Hierbei betrug die Überlebensrate zwischen 97 und 98,6%, was an der hohen Anzahl an Implantaten ein erfolgreiches Statement abgibt.

Simion et al. (1998) arbeiteten mit titanverstärkten Membranen und unterschiedlichen Füllmaterialien (DFBDA / autologe Knochenspäne). Die Studien von Simion et al. (2001, 2004) hingegen konzentrierten sich wiederum auf konventionelle ePTFE-Membranen. Die Überlebensquote der in den regenerierten Knochen gesetzten Implantate knüpft an die vorangegangenen Studien an, in einem Zeitraum von einem bis fünf Jahren.

Dahlin et al. (1995) zeigten nach zwei Jahren Untersuchung eine Überlebensrate von 84,7% (35 Implantate im OK) und 95% (20 Implantate im UK).

Mikrotitangitter wurden bei der Studie mit 50 Implantaten und 18 Patienten im 7-jährigen Untersuchungszeitraum mit einer Überlebensrate von 100% beschrieben (Degidi et al. 2003).

---

Von Arx et al. (1998) erzielten ebenfalls unter Anwendung von Mikrotitangittern bei 18 Patienten und 27 inserierten Implantaten in einem Untersuchungszeitraum von 1-3 Jahren eine 100%ige Überlebensrate.

Van Steenberghe et al. (2003) erzielten bei der zweizeitigen Augmentation mittels am CT-Scanner angefertigten Titankammern eine Überlebensrate von 92,3% (36 von 39 inserierten Implantaten) nach 3-5 Jahren.

Die weiteren Autoren erzielten wie bereits oben erwähnt ähnliche Ergebnisse.

Es gibt eine Anzahl an möglichen Gründen für das Auftreten von Komplikationen und letztendlich von Misserfolgen der Augmentation, die näher beleuchtet werden. Eventuelle Komplikationen, die zu einem Implantatverlust führen, können in einer falschen Indikationsstellung, der Operationstechnik, Wahl der prothetischen Versorgung und mangelnder Mundhygiene ihren Ursprung haben und sich in Verlust der Osseointegration, Mobilität des Implantats, Knochenabbau, Infektionen und Nervschäden äußern. Misserfolge während der Einheilphase können durch unsachgemäßes Vorgehen während der Lagerpräparation mit thermischer Schädigung des Knochens oder mangelnder Primärstabilität oder Infektion des Implantatlagers während der Einheilung oder vorzeitiger mechanischer Belastung oder in einem strukturell schwachen bzw. avitalen Knochenlager ihre Gründe haben. Weitere Gründe für Misserfolge während der Phase funktioneller Belastung (= Verlust knöcherner Verankerung) können die falsche Wahl prothetischer Versorgung, eine progressive periimplantäre Infektion oder die mechanische Überbelastung des Implantat-Knochen-Kontaktes sein. In der Belastungsphase wird die periimplantäre Gewebsintegration des Implantats durch die funktionellen Kaukräfte, die über das Implantat auf den Kieferknochen einwirken, entscheidend beeinflusst. Nicht zu vernachlässigen ist dabei der Einfluss von der Gestaltung der Suprakonstruktion, sowie Dauer und Ausmaß der auf das Implantat einwirkenden Kräfte. Aus diesem Grund sollten regelmäßige Kontrollen der belasteten Implantate und ihrer Suprakonstruktionen durchgeführt werden. Die Intensität des Implantat-Knochen-Kontaktes lässt sich klinisch durch die Erhebung des Periotests und der Messung der Sondierungstiefen, sowie radiologisch durch die Bestimmung der periimplantären Knochenhöhe festlegen.

Die häufigste postoperative Komplikation in der Behandlung mit Membranen während der gesteuerten Knochenregeneration ist die frühzeitige Membranexposition. Durch die Ausbildung von Weichteildehiszenzen kommt es folglich zur bakteriellen Besiedlung des

---

Fremdkörpers, Ausbildung einer Perimembranitis, vorzeitiger Membranentfernung und ggf. Erhalt eines geringer dimensionierten bzw. nicht implantationsfähigen Augmentats (Strietzel 1996, 2000, Jovanovic et al. 1992, Günay und Young Kim 2005). In Abhängigkeit vom Zeitpunkt kann das Auftreten der Membranexposition den Augmentationserfolg gefährden (Becker et al. 1995, Nowzari und Slots 1995). Somit hat das membranassoziierte Auftreten einer Komplikation unmittelbaren Einfluss auf den Implantaterfolg und nicht die Membranapplikation selbst (Kramer und Schliephake 1999).

Der Anteil vorzeitiger Membranexpositionen unter Verwendung nicht-resorbierbarer Membranen liegt bei durchschnittlich 36% (Strietzel 2001). Die Zahlen divergieren zwischen 5 und 74%, wobei die niedrigste Expositionsrate auf die Anwendung von titanverstärkten Membranen (Titangitter) zurückzuführen ist (von Arx und Kurt 1999). Die Studie von van Steenberghe et al. (2003), die Titankammern bei Patienten einsetzten, zeigt eine Expositionsrate von 50% (5 von 10). Vier dieser exponierten Membranen mussten vorzeitig entfernt werden (failure rate 40%). Insgesamt war aber bei drei Fällen eine spätere erfolgreiche Implantation im zweizeitigen Verfahren möglich. Hingegen zeigen Publikationen über die Anwendung von resorbierbaren Membranen (Kollagen) deutlich geringere Expositionsraten 3-19% (Hürzeler et al. 1996, Zitzmann et al. 1997). Die Mehrheit der Studien wird über ePTFE-Membranen publiziert. Der Grund für die Exposition der Membran liegt in der Infektion des meist porösen Membranmaterials wie bei ePTFE-Membranen und der folgenden etablierenden Entzündung im umliegenden Gewebe (Nowzari und Slots 1995). Hochverdichtete Materialien sollten somit dieses Problem ausschließen, wie z. B. Titan. Im Rahmen dieser Studie zeigten sich 16 vorzeitige Membranexpositionen (Expositionsrate 25,8%), neun davon ohne infektiöse Anzeichen. Sieben weitere Titanobturatoren mit aufgetretener Dehiszenz mussten aufgrund nicht beherrschbarer Lagerinfektion vorzeitig entfernt werden (11,3%). Fünf Titanobturatoren waren der Gruppe der Zweizeitigen Implantation zuzuordnen und jeweils ein Obturator den beiden anderen Indikationsgruppen. Die beschriebenen Expositionen führten in dieser Studie aber nicht ausschließlich zur vorzeitigen Membranentfernung. Trotz der in der Literatur beschriebenen Empfehlung, freiliegende Membranen prophylaktisch zu entfernen, um einer möglichen Infektion vorzubeugen (Becker und Becker 1990, Buser et al. 1990, 1992, Jovanovic et al. 1992) konnten von neun (sieben aus der Gruppe der Zweizeitigen Implantation und zwei aus der Gruppe der Einzeitigen Implantation) aufgetretenen Dehiszenzen ohne Lagerinfektion durch

---

lokale antiseptische Maßnahmen wie Spülungen und Touchierungen mit Chlorhexidinpräparaten alle Obturatoren in situ belassen werden.

Membranexpositionen bergen durch die offene Lagerung eine Infektionsgefahr (Wang und Carroll 2001). In der von Wang und Carroll (2001) beschriebenen Studie fand weniger Knochenregeneration um Implantate bei exponierten zu nicht exponierten Membranen statt (41,6% zu 96,6% Knochenregeneration).

Trotz der frühzeitigen Entfernung von sieben Obturatoren, wurde in dieser Studie dennoch in drei Fällen ein Implantationserfolg verbucht. Es konnte genug Knochen für eine Implantation gewonnen werden. Ein Fall aus der Gruppe der Zweizeitigen Implantation betraf zwei gleichzeitig gesetzte Obturatoren einer Patientin. Nach 7,5 Wochen Liegedauer und der vorzeitigen Membranentfernung wurde 42 Wochen später, nach abgeklungener Infektion und antibiotischer Behandlung, die Implantation durchgeführt. Es wurde ein Knochenzugewinn von +4 mm an beiden Stellen im UK-Seitenzahnbereich (regio 046 und 047) erreicht. Obwohl die Patientin an der durchgeführten Nachuntersuchung zwei Jahre postoperativ nicht teilnehmen konnte, wurde anhand der Aktenlage und der aktuellsten klinischen und radiologischen Daten ein Implantationserfolg verbucht.

Ein anderer Fall wurde der Periimplantitis-Gruppe zugeordnet. Trotz vorzeitiger Membranentfernung nach drei Wochen folglich der Membranexposition mit Lagerinfektion befand sich das Implantat während der durchgeführten Nachuntersuchung zwei Jahre postoperativ erfolgreich in situ, klinisch und radiologisch unauffällig.

Bereits nach dreimonatiger Heilungsphase kann mit einer sekundären knöchernen Konsolidierung gerechnet werden (Buser et al. 1990, Wachtel et al. 1991). Nach einigen Autoren bildet die Membranexposition aus diesen Gründen nur ein geringes Risiko (Shanaman 1994, Nevins und Mellonig 1992), während andere den primären Verschluss der Weichgewebe als Grundvoraussetzung für ein späteres erfolgreiches Gesamtergebnis festlegen (Buser et al. 1990, Fugazzotto 1998).

Aufgetretene Dehiszenzen mit konsekutiver putrider Membranlagerinfektion, welche durch lokale Desinfektionsmaßnahmen nicht zu beherrschen sind und die frühzeitige Entfernung des Obturators unabdingbar machen, führen zu reduzierten Augmentationsergebnissen oder zu Misserfolgen (Simion et al. 1994, Jovanovic et al. 1992). Pauschalisiert gesehen wird dies in dieser Studie nicht vertreten. Allerdings werden hier vier Misserfolge gewertet. Das endgültige Ziel, einen Implantationserfolg zu verbuchen, wurde in diesen Fällen nicht erreicht

---

(Misserfolgsquote der Augmentation 6,5%). Verglichen mit der Studie von van Steenberghe et al. (2003) wurden dort von fünf Expositionen (50%) und vier frühzeitigen Entfernungen der Titankammern (40%), zwei als Misserfolg gewertet, da keine Implantation stattfinden konnte. Der Gesamtanteil an Expositionen mit und ohne Infektion (25,8%) liegt in dieser Studie unter dem Durchschnitt verglichen mit anderen Publikationen. Aufgrund dieser Auswertung und der niedrigen Zahl der Misserfolgsquote scheint dieses Risiko von relativ geringer Bedeutung bei der Anwendung von Titanobturatoren im Rahmen der gesteuerten Knochenregeneration (GBR) zu sein.

Beim Heilungsverlauf spielt die Compliance der Patienten eine wichtige Rolle (Strietzel 2001). Unmittelbar nach Auftreten einer Dehiszenz stellten sich einige Patienten entgegen ausführlicher Aufklärung nicht sofort, sondern aufgrund subjektiver Beschwerdefreiheit erst zum nächsten Kontrolltermin vor. Auch der Risikofaktor Rauchen spielt bei der Wundheilung eine wichtige Rolle (Strietzel 2001). Allgemein betrachtet könnte als eine der möglichen Ursachen vorzeitiger Membranexpositionen die Unterbrechung der basalen Blutzufuhr des Mukoperiostlappens beim Überdecken des Kieferkamms im Rahmen kombinierter Augmentation (vertikal und transversal) in Betracht gezogen werden. Auch der Verlauf der Inzision in Bezug auf die Lage der Membran wäre denkbar. Wichtig daher sind parakrestale Inzisionen mit defektfernen Entlastungsschnitten (Buser et al. 1990, 1992), welche einen Wundverschluss direkt über der Membran vermeiden, wie hier durchgeführt. Hierzu bietet sich v. a. der defektferne Zugang mittels Tunneltechnik und endoskopischer Kontrolle (Engelke et al. 2002a, 2003, Engelke und Capobianco 2004). Die spannungsfreie Adaptation der Naht ist für die Wundheilung ebenso von Bedeutung. In dieser Studie wurden die Inzisionen immer defektfern durchgeführt. In nahezu der Hälfte der durchgeführten Eingriffe wurde der defektferne Zugang mittels Tunneltechnik und Endoskopie angewendet. Somit kann dieser in der Literatur als signifikant beschriebene Grund in dieser Studie ausgeschlossen werden.

Die Lagebeziehung zwischen Ober- und Unterkiefer spielt gemäß anderer Autoren ebenfalls eine Rolle. Im UK treten Dehiszenzen laut Literatur und gemäß dieser Untersuchung öfter auf. Die bedeckende Schleimhautschicht ist dünner und der Speichelzutritt im Vergleich zum Oberkiefer viel stärker. Dadurch ergibt sich eine viel größere Gefahr mikrobieller Besiedlung. Der defektferneferne Zugang bietet sich dafür als Lösung (Becker et al. 1995). In dieser Untersuchung traten die Dehiszenzen 11x im Unterkiefer und 5x im Oberkiefer auf. Davon



trat in sieben Fällen eine Infektion auf (6x im UK, 1x im OK), bis auf einen Fall ausschließlich im Seitenzahnbereich.

In 2 von 34 Fällen traten Membranexpositionen mit Infektion in Kontakt zu Nachbarzähnen (am Parodont angrenzend) auf, obwohl beim Einbringen streng auf den Sicherheitsabstand zu benachbarten Parodontiden geachtet worden ist. In 5 von 23 Fällen traten infizierte Membranexpositionen auf, die nicht am Parodont angrenzten. Die meisten Infektionen bei Exposition zeigten sich bei verkürzten Zahnreihen im Seitenzahnbereich (n= 6), Eine Infektion trat bei einem bereits vorhandenen Implantat einer zahnlosen Patientin aus der Periimplantitisgruppe auf. Das Implantat war in einer Stegkonstruktion eingearbeitet, somit sekundär verblockt. Für diese Studie ergibt sich folglich, dass der am meisten gefährdete Bereich der distale Bereich des Unterkiefers bei frontaler Restbezaehlung (Molaren fehlen) ist. Der Einfluss der Defektmorphologie auf das Vorkommen vorzeitiger Membranexpositionen war aufgrund der inhomogenen Datenverteilung statistisch jedoch nicht zu sichern, und sollte unter Zugrundelegen weiterer und umfangreicherer Untersuchungen betrachtet werden.

Die anhaltende mechanische Überanspruchung des Wundgebietes durch das Tragen von Interimsersatz verursacht hohen Druck auf die Augmentationsstellen und könnte eine weitere Ursache darstellen (Fugazzotto 1998). Hier konnte diese These jedoch nicht bestätigt werden. Durch Aussparungen im Kunststoff und weiche Unterfütterung konnte der Zahnersatz bestmöglich für die Einheilzeit angepasst werden.

Systemische Faktoren wie Alter und Disposition zur Knochenregeneration müssen auch berücksichtigt werden und spielen bei der individuellen Wundheilung ebenfalls eine Rolle.

Die Liegedauer sollte laut Literatur im Schnitt mindestens 100 Tage (ca. 3 Monate) für eine suffiziente membraninduzierte Knochenaugmentation (Becker und Becker 1990, Nyman et al. 1990, Buser et al. 1990, Dahlin et al. 1991b, Jovanovic et al. 1992) betragen. In dieser Studie ergab die durchschnittliche Liegedauer 19,3 Wochen, ca. 5 Monate (2-82 Wochen).

Die Voraussetzung für einen komplikationsfreien Wundverlauf ist zusammengefasst die primäre Wundheilung durch gute Adaptation und Fixierung des Obturators, die durch das Material Titan gegebene Formstabilität und speicheldichter, spannungsfreier Wundverschluss sicher auf knöcherner Unterlage mit ausreichend Abstand vom knöchernen Defekt, sowie

---

genügend lange Einheitszeit. Letztendlich entstehen gerade schwere Komplikationen aus einer Kombination mehrerer Fehlermöglichkeiten bei der beschriebenen Operationstechnik sowie bei der Compliance der Patienten, ohne dass sich die Hauptursachen retrospektiv eruieren lassen. Die hier vorgestellte OP-Methode bietet sich mit guter Zukunftsaussicht als Therapieform zu behaupten, wenn die Membranexposition verhindert werden kann (Molly et al. 2006). Allerdings ist in dieser Studie aufgrund der niedrigen Expositionsrate und der tatsächlichen Anzahl an vorzeitigen Membranentfernungen nur von einem sekundär zu berücksichtigenden Faktor zu sprechen.

### 4.2.2 Klinische Untersuchungsparameter (Periimplantärer Zustand)

Der periimplantäre Zustand wird von einigen Autoren als weiteres Erfolgskriterium der Implantation interpretiert (Jahn und d'Hoedt 1992). Regelmäßige Kontrollen der Mundhygiene und die Erhebung klinischer Parameter sind daher wichtig, damit periimplantäre Gingivaveränderungen möglichst früh erkannt und therapiert werden können, bevor der periimplantäre Knochen betroffen wird.

Der modifizierte Sulcus-Blutungs-Index (SBI) wird zur Beurteilung von Entzündungsreaktionen der gingivalen Weichgewebe genutzt. Das dabei berücksichtigte Kennzeichen der Blutung ist visuell erfassbar und somit einfach beurteilbar und reproduzierbar. Der orale Gesundheitszustand kann erfasst und auch auf die Mundhygiene zurückgeführt werden. Die hier erhobenen Werte lagen im Mittel bei 33,1% (zwischen 0 und 100%), was theoretisch der klinischen Zuordnung „mittelschwere Entzündung“ entspräche. Allerdings zeigt sich eine homogene Verteilung innerhalb des Schemas. In sechs Fällen zeigt sich klinische Normalität, in fünf Fällen eine schwache Entzündung, 7x mittelschwere und 6x starke Entzündung. Innerhalb der Gruppen zeichneten sich die Implantationsgruppen besser aus als die Periimplantitisgruppe. Den meisten Anteil an Werten der „klinischen Normalität“ zeigte die Gruppe der Zweizeitigen Implantation mit durchschnittlich 15,6% (min. 0%, max. 100%). Die Periimplantitisgruppe wies im Gesamten den höchsten Grad an Entzündung auf. Allerdings zeigten sich hier die größten Divergenzen innerhalb der Gruppe, was auch auf die niedrige Anzahl an Patienten zurückzuführen ist (n= 4). Folglich ist die Erhebung dieses Parameters wichtig für die regelmäßige Kontrolle der Mundhygiene und Instruktion sowie Motivation des Patienten. Es konnten aber keine Zusammenhänge zwischen periimplantärem Knochenverlust und Gingivazustand festgestellt werden.

---

Der Gingiva-Index (**BOP**) erfasst gezielt den Gingivazustand direkt am Implantat. Der Zustand des periimplantären Weichgewebes lässt auf den periimplantären Knochenzustand schliessen. Auch dieser Parameter ist ein Indikator für entzündliche Veränderungen bzw. für gesunden Gingivazustand. Die mittlere Auswertung des BOP in dieser Arbeit ergab 21 negative Messungen sowie 17 positive Auswertungen (Blutung aus Sondierung). Am besten schnitt hierbei die Gruppe der Zweizeitigen Implantation ab, mit 12 negativen Messungen, was auch mit den besten SBI-Werten korreliert. Auch hier konnten keine Zusammenhänge zwischen periimplantärem Knochenverlust und Gingivazustand festgestellt werden.

Durch die einfache Erhebung der Sondierungstiefen (**ST**) kann klinisch der periimplantäre Knochenzustand beurteilt werden. Resorptionen können mit diesem Parameter klinisch erfasst werden, die erhobenen Werte korrelieren von allen Parametern noch am häufigsten mit signifikanten radiografischen Veränderungen.

Die Durchführung der ST erfolgte mit Hilfe einer Parodontalsonde aus Kunststoff, um einer Beschädigung der Implantatoberflächen vorzubeugen. An je vier Implantatflächen werden die Messungen erhoben. Bei gesunden Verhältnissen weisen die Sondierungen keine hohen Werte auf, während Schwankungen oder deren kontinuierliche Verschlechterung entzündliche Veränderungen markieren. Fehlerhafte Messungen können durch zu hohen Sondierungsdruck, den Anstellwinkel der Sonde, Ablesefehler und ausgeprägte parodontale Entzündungen bedingt sein. Bei parodontalen Entzündungen penetriert die Sonde durch Destruktion des Zahnhalteapparates bis ins Bindegewebe.

Die Mittelwerte der Sondierungstiefen nach 2 Jahren zeigten sich zwischen 2,4 mm (vestibulär) und 3 mm (mesial), distal wurde im Mittel ein Wert von 2,8 mm und oral von 2,9 mm gemessen (Minimum: 1 mm, distal 2 mm; Maximum: 7 mm). Tendenziell konnten im distalen und teilweise im oralen Bereich höhere Werte der Sondierungstiefen beobachtet werden. Als ursächlich hierfür könnte die schlechtere Zugänglichkeit bei der Mundhygiene als Grund angesehen werden.

Die Sondierungstiefen der Periimplantitisgruppe waren deutlich höher (2 bis 7 mm, Mittelwert zwischen 4,0 und 5,5 mm). Im Vergleich dazu ergaben die Auswertungen der beiden Implantationsgruppen 1 bis 5 mm, Mittelwert zwischen 2,0 und 3,0 mm. Der häufigste Wert bei der Periimplantitis-Gruppe war 7 mm (n=6) bei den beiden anderen Indikationsgruppen 2 mm. Somit ergibt sich ein Durchschnitt für die Periimplantitis-Gruppe von 4,7 mm, im Vergleich zu den Implantationsgruppen bei 2,6 mm. Durch vorangegangene

periimplantäre Entzündungen mit vertikalen Knocheneinbrüchen ist mit erhöhten Werten im Vergleich zum gesunden Parodont (siehe Implantationsgruppen) zu rechnen.

Sondierungstiefen von über 4 mm werden dabei an Zähnen als pathologisch angesehen, während nach Mombelli und Lang (1994) an Implantaten Taschen über 5 mm als krankhaft verändert angesehen werden sollten. Pathologische Veränderungen lassen sich durch langzeitliche Erhebung des Attachmentlevels im Laufe der Zeit an Implantaten feststellen Mombelli und Lang (1994). Somit kann man die hier erfolgten Messungen als klinisch gesund abwerten. Im Zeitverlauf jedoch kann tendenziell mit einer Erhöhung der Werte gerechnet werden. Auch hier konnten keine Zusammenhänge zwischen periimplantären Knochenverlust und Gingivazustand festgestellt werden.

Die Methode zur Messung der Implantatstabilität mittels des **Periotest**-Gerätes hat sich klinisch bewährt. Es ist nicht nur zur Messung der Primärstabilität geeignet, sondern auch zur späteren Verlaufskontrolle. Der Vorteil dabei ist die Durchführung der Messung ohne Entfernung der Suprastruktur (Engelke et al. 2002b). Es ist ebenso möglich, eine zunehmende oder verminderte Knochenapposition um ein Implantat herum durch wiederholte Messungen zu erfassen. Voraussetzung für die Reproduzierbarkeit der Werte ist ein konstanter, definierter Messpunkt (Schulte und Lukas 1993).

Die gemessene Implantatstabilität mittels Periotest war insgesamt sehr gut ausgefallen. Es wurden Werte zwischen -08 und +06 gemessen, was Grad 0 (physiologische Zahnunbeweglichkeit) entsprach, also der stabilen Verankerung ohne Beweglichkeit. Das Gesamtmittel wurde mit -1,9 ermittelt, welches aufgerundet dem Wert -02 entspricht. Innerhalb der Indikationsgruppen wurden Mittelwerte zwischen -1,8 (Zweizeitige Implantation), -2,5 (Einzeitige Implantation), also beide unter 0 errechnet. Laut Literatur zeigen im zweizeitigen Verfahren gesetzte Implantate bessere Periotest-Werte an, als simultan gesetzte Implantate (Buser et al. 1996b, 2002). Dies kann hier nicht bestätigt werden, jedoch handelt es sich hier um minimale Schwankungen innerhalb derselben Gradierung (Grad 0). Bei der Gruppe der Periimplantitis wurde ein Wert minimal über 0 ermittelt, +0,3. Der häufigste Wert war -02, was auch dem Gesamtdurchschnitt entspricht. Die Implantat-Knochen-Einheit der evaluierten Implantate nach 2 Jahren ist folglich mechanisch und biologisch stabil. Die Zunahme der Periotest-Werte im Verlauf der Zeit ist anzunehmen, da die Veränderung des Implantatabutments im Laufe der Zeit mit dem Knochenverlust korreliert. Evaluationen und Publikationen, in denen der zeitliche Verlauf der Periotest-Werte dokumentiert wird, sind allerdings selten zu finden. Da bei der Periimplantitisgruppe eine

Implantatkontamination vorlag, lassen sich die Ergebnisse nicht direkt mit anderen vergleichen. Bei der Messung der Implantatstabilität sollte allerdings der prothetische Aufbau berücksichtigt werden, da der Vergleich der Ergebnisse von der Suprakonstruktion abhängig ist (Gomez-Roman und Lukas 2001).

### 4.2.3 Radiologische Untersuchung

Für die Diskussion und Beurteilung des Langzeiterfolges der Implantate kommt der röntgenologischen Diagnostik eine wichtige Stellung zu. Erfolgreich osseointegrierte Implantate zeigen radiologisch einen engen Kontakt zwischen Metall und Knochen, während bei Desintegration eine schmale Aufhellung ähnlich einem Parodontalspalt festzustellen ist. Eine regelmäßige radiologische Kontrolle ist zu empfehlen, die aus organisatorischen Gründen und aufgrund mangelnder Compliance der Patienten sich oft als schwierig erweist. Radiologische Aufnahmen können bekanntlich auch keine Rückschlüsse auf die Festigkeit zwischen Implantat und Knochen geben. Durch die Auflösungslosigkeit einer Röntgenaufnahme ist die knöcherne Integration oder fibröse Implantateinscheidung nicht erkennbar, ebenso wenig die gewonnene Knochendichte.

Die Darstellung der knöchernen Situation kann nur zweidimensional erfasst werden. Es ist keine räumliche Sicht darstellbar. Da der transversale Zustand nur klinisch ermittelt werden kann, kann die Messung am Röntgenbild (OPAN) somit nur in der Vertikalen bestimmt werden. Am Implantat kann sie nur mesial und distal des Implantats erfolgen. Mit Hilfe eines Computertomogramms (CT) oder der Digitalen Volumentomografie (DVT) ist eine räumliche Darstellung der knöchernen Situation durch die Erzeugung vieler Schnittbilder möglich. Dies bedeutet, v. a. für die präoperative Diagnostik und Planung eine erhebliche Erleichterung. Allerdings sind diese Verfahren aufwendig und kostspielig und im Praxisalltag noch nicht weit verbreitet.

Unter Berücksichtigung des Vergrößerungsfaktors (1,25) wurden die Messungen der Knochendefekte dokumentiert und ausgewertet. Die Genauigkeit der Ablesung betrug 0,5 mm. Als problematisch erwies sich auch eine korrekte Beurteilung der Knochenhöhe infolge von Qualitätsmängeln der Röntgenbilder (Verzeichnung oder Unschärfe), die auf Abweichungen von der standardisierten Röntgentechnik (Änderung der Projektionsrichtung, Über- oder Unterbelichtung) zurückzuführen sind. Allerdings wurden die Aufnahmen an denselben Geräten durchgeführt und von einer Person ausgewertet, um die Fehlerquote so gering wie möglich zu halten.

Die Auswertung der erhobenen Werte bezieht sich auf die Gesamtgruppe. Die Dynamik der Defektauffüllung in Bezug auf die Defektgröße in jedem Fall kann nicht einzeln aufgeschlüsselt werden. Es besteht eine heterogene Verteilung der Knochenmorphologie der Ausgangsbefunde. Unabhängig vom Defektausmaß erfolgt die Betrachtung aller Indikationsfälle im Gesamten. Die Erhebung ermittelter Werte innerhalb der Gruppe spiegelt die mitunter große Varianz von Einzelverläufen nicht immer ausreichend wider.

Die Auswertung der radiologischen Parameter ergab einen mittleren Knochenzuwachs von 2,2 mm (21% Knochenzuwachs) bei den Implantationsgruppen, bei der Periimplantitisgruppe 2,9 mm (37,7% Knochenzuwachs) direkt postoperativ. In der Nachuntersuchung zwei Jahre nach der Operation betrug der mittlere Knochenverlust 0,5 mm (3,9% Knochenresorption) bei den Implantationsgruppen, bei der Periimplantitisgruppe 0,8 mm (7,5% Knochenresorption). Es lässt sich also nach zwei Jahren ein Knochenzuwachs im Vergleich zum Ausgangsbefund feststellen, der bei den Implantationsgruppen als insgesamt gewonnene Knochenhöhe mit 1,7 mm (16,2% Knochenzuwachs), bei der Periimplantitisgruppe mit 2,1 mm (21,4%) zu verzeichnen ist.

Das augmentierte Knochenvolumen unterhalb des Titanobturators zeigt nicht so signifikante Ergebnisse wie Vergleichsstudien mit Titankammern. Bereits 2003 veröffentlichten van Steenberghe et al. eine Studie an Kaninchen und Menschen. Nach einem Jahr Heilungsphase war im Tierexperiment eine Gewebsvermehrung von bis zu 6 mm zu beobachten. Die histologische Untersuchung zeigte den systematischen Knochenwachstum entlang der Titanoberfläche. Nach der Entfernung war im Schnitt noch 75,3-59,4% vom Volumen des neu entstandenen Gewebes erhalten. Die Studie an zehn Patienten zeigte eine Knochenzunahme im total atrophierten Oberkiefer nach 9-17 Monaten Heilungsdauer von bis zu 16 mm vertikal und bis zu 9 mm transversal. Allerdings war die Expositionsrate hoch. Von 10 Titankammern exponierten fünf vorzeitig, vier davon wurden daher vorzeitig entfernt.

Geht man von zweiwandigen Knochendefekten aus, wie es bei Extraktionsalveolen mit buccalen Dehiszenzen oft der Fall ist, so werden in dieser Studie ebenfalls vertikale Ausmaße bei solchen Defektformen von 6,7 mm bis zu 11,8 mm erreicht, die das Niveau der bestehenden Alveolenwand erreichen. Entscheidend allerdings ist der allgemeine Knochenzuwachs im Mittel, der den Ergebnissen eine Aussage zum Erfolg der Methodik zusprechen kann.

Im allgemeinen entsprechen die hier ermittelten Mittelwerte den Publikationen zwischen 0,2 mm und 5 mm (Simion et al. 1998, Dahlin et al. 1995, Tinti et al. 1996,

---

Hämmerle et al. 2008) und bestätigen eine 80-100%ige Defektauffüllung (Cordioli et al. 1999, Jovanovic et al. 1992, Degidi et al. 2003).

Der ermittelte Knochenabbau von 0,5 mm (Implantationsgruppen) bzw. 0,8 mm (Periimplantitis-Gruppe) in zwei Jahren überschreitet dabei den Wert von 0,2 mm pro Jahr, welcher als Erfolgskriterium von Implantaten definiert wird (Albrektsson et al. 1986). Allerdings ist dieser Wert auf die Folgejahre nach dem ersten funktionell belasteten Jahr zu werten. Während der ersten 12 Monate nach Implantatfreilegung ist nämlich mit dem größten Knochenabbau von ca. 1,5 mm zu rechnen (Adell et al. 1981). Die Zahlen stehen in Übereinkunft mit den Ergebnissen anderer Autoren, die einen Knochenverlust zwischen 0,3 mm und 2,9 mm innerhalb der ersten Monate veröffentlichten (Adell et al. 1981, Buser et al. 1996b, Nevins et al. 1998, Simion et al. 2001, Cordioli et al. 1999, von Arx et al. 1998). Allerdings war eine weitaus nicht so signifikante Knochenresorption, wie in der Literatur von 1,5 mm angegeben, zu finden.

Veröffentlichte Langzeitstudien zur Methode der gesteuerten Knochenregeneration zeigen im Vergleich unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich des Knochenverlustes. Die meisten beschäftigen sich aber mit einem Untersuchungszeitraum von 6 Monaten bis 5 Jahren: Buser et al. 1996b: 0,3 mm; Nevins et al. 1998: 0,64 mm; Simion et al. 2001: 1,35 mm; Simion et al. 2004: 1,67 mm; Zitzmann et al. 2001: 2,21 mm; Becker et al. 1999: 0,4 mm (Maxilla) und 0,3 mm (Mandibula); Molly et al. 2006: unter 1 mm. Die angegebenen Studien variieren dabei hinsichtlich benutzter Materialien, Vorgehensweise, Patienten- und Implantatzahl, Defektgröße etc. Diese Ergebnisse korrelieren daher mit denen von Nevins et al. 1998 und Molly et al. 2006, ausgenommen der Untersuchungszeitraum.

Molly et al. (2006) verglichen nach 3 und 9 Jahren Titanmembranen an elf Patienten mit 19 Patienten, bei denen Knochendefekte mittels autologer Hüftknochen-Transplantate (15-20 Jahre) augmentiert wurden. Sie stellten fest, dass eine weitaus geringere Resorption des unterhalb einer Titanmembran neugeformierten Knochens entsteht als mit eingesetzten autologen Knochenblöcken (unter 1 mm bei Titankammern; 2,5 mm anterior bis 2,7 mm posterior mit autologen Knochenblöcken). Vergleichbare Studien waren in der Literatur nicht zu finden, da die Anwendung von reinen Titanmembranen im Rahmen der GBR noch nicht verbreitet ist.

Cordioli et al. (1999) untersuchten 28 Implantate mittels GBR augmentierten periimplantären Defekten in einem Zeitraum von 6 Monaten. Bedingt durch vorangehende entzündliche progressive Prozesse waren hier Resorptionen von 1,2-2,9 mm zu verzeichnen. Die Aussage der stärkeren Resorption korreliert auch mit dieser Arbeit.

---

In einer Studie an 19 Implantaten von Jovanovic et al. (1992) zeigt die Auslegung der Ergebnisse ebenfalls eine höhere Resorptionsrate des Knochens an vorangegangener periimplantärer Entzündung. Die Werte von 1,2-2,7 mm (im Schnitt 1,73 mm) stimmen im Vergleich mit den o. g. überein.

Der erhöhte Knochenabbau bei Implantaten im regenerierten Knochen in der Anfangszeit wird nach Cordioli et al. (1999) auf die Belastung des unreifen, oberflächlichen Knochens zurückgeführt. Tiefer liegender, bereits gereifter Knochen reagiere wie nativer Knochen. Die prothetische Belastung führe dann mit der Zeit zu einer Reifung und Verstärkung der Struktur des regenerierten Knochens und somit zu einer Reduktion im Vergleich zum anfänglich hohen Knochenabbau. Die Frage ist, ob nach anfänglich hohen Knochenverlusten, es zu einem „steady state“ kommt, bei dem sich ein Gleichgewicht der Kräfte und der Umbauaktivität des Knochens einstellt, was nach Reinert et al. (1999) nach ca. 2-3 Jahren eintritt. Oder steht ein progredienter Knochenverlust bevor? Da in dieser Studie nach zwei Jahren im Schnitt die letzte Nachuntersuchung stattfand, kann der genauere Vorgang der Knochenresorption in langer Beobachtungszeit nicht ermittelt werden. Ob ein „steady state“ oder ob ein progredienter Knochenverlust auftritt, können erst Langzeituntersuchungen von mindestens 5 Jahren belegen.

Die Resorption ist abhängig von mechanischer Stabilität des Knochens selbst und guter Vaskularisierung (Nocini et al. 2002), Einfluss der Bezahnung (Keweloh 2000) und von der Mikroarchitektur des Knochens im Zusammenhang mit dem Verhältnis Kompakta – Spongiosa (Orsini 2003). Eine Augmentation ohne anschließende Implantation führt anschließend auch zu Knochenresorption. Nach 6 Monaten Einheilzeit ist mit einem Substanzverlust bis zu 50% zu rechnen (Nocini et al. 2002, Orsini 2003). Im Vergleich beider Kiefer zueinander zeigt der Oberkiefer aufgrund seines hohen spongiösen Anteiles und der somit verbundenen erhöhten Durchblutung meist bessere Ergebnisse an Knochenzuwachs an als der Unterkiefer (Zitzmann et al. 1999, Buser et al. 1990). Der Unterkiefer zeigt eine größere Resorption an als der Oberkiefer (Cordaro et al. 2002, Devlin et al. 1998). In dieser Studie war die Aufteilung aller augmentierten Defekte zwischen Ober- und Unterkiefer nahezu gleich (OK n= 34, UK n= 35). Es wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt. Im Vergleich war der Ausgangsbefund im Oberkiefer zwar geringer, doch der allgemeine Knochenzuwachs zeigte sich gleich, im Durchschnitt je +2,3 mm.



Bezüglich der Knochendichte können aber nicht nur Unterschiede zwischen den beiden Kiefern sondern auch zwischen anterioren und posterioren Regionen dieser ausgemacht werden. Posteriore Regionen zeigen geringere Dichtewerte an als die anterioren Regionen (Devlin et al. 1998). Der geringere Knochen-Implantat-Kontakt sei die Folge. In dieser Studie war die Aufteilung zwischen beiden Lokalisationen ungleich (posterior n= 51, anterior n= 11). Sowohl der Knochenzuwachs direkt nach der Augmentation war ähnlich (posterior: durchschnittlich +2,1 mm, anterior: durchschnittlich +2,3 mm). Allerdings äußerte sich die Resorption im Frontbereich (-1 mm) stärker als im Seitenzahnbereich (-0,3 mm). Die Unterscheidung in diese Untergruppen ist bei der geringen Anzahl von Defekten und v. a. bei der ungleichen Verteilung der Lokalisation zwischen Front und Seitenzahnbereich statistisch nicht sinnvoll.

In dieser Studie konnte kein Zusammenhang zwischen Lokalisation des Knochendefektes bzw. des Implantats und Knochenresorption (relevant erhöhte Werte) festgestellt werden.

Jedoch muss berücksichtigt werden, dass es eine Anzahl von ätiologischen Faktoren gibt, die ebenfalls Einfluss auf die periimplantären Knochenveränderungen haben können, wie Knochenqualität, Nikotinkonsum (Manz 2000, Strietzel 2001), Implantatsystem und -design, sowie dessen Oberflächenbeschaffenheit. Die bakterielle Kontamination (Manz 2000, Oh et al. 2002) spielt ebenso eine Rolle, aber auch die Spannungskonzentration durch Eingliederung von Aufbauten (Adell et al. 1981), okklusale Über- oder Fehlbelastung (Oh et al. 2002) oder das chirurgische Trauma durch Abhebung des Periosts und Entfernung von Knochen während der Operation (Oh et al. 2002, Adell et al. 1981).

#### 4.2.4 Patientenbewertung

Die Beurteilung der Behandlung sowie der prothetischen Versorgung durch die Patienten spielt bei der Bewertung von Qualität medizinischer Maßnahmen eine große Rolle und wurde bereits 1992 von Jahn und d'Hoedt zu den Erfolgskriterien hinzugefügt. Sie wird zukünftig weiter an Bedeutung gewinnen. Während die objektive Leistung in der Regel für alle Patienten ähnlich ist, kann die subjektiv wahrgenommene Leistung durchaus individuell verschieden sein (Jacob und Bengel 2000).

Bei der Patientenbefragung ergab die Analyse 38 mit der Behandlung zufriedene Patienten (92,7%).

Unzufriedenheit äußerte sich bei insgesamt drei Patienten. Bei zwei Patienten war dies durch folgende Infektion bedingt. Bei einer Patientin führte die Behandlung nicht zum gewünschten Augmentationserfolg, woraufhin die Behandlung auf Wunsch der Patientin abgebrochen wurde (DropOut). Alle anderen Patienten bewerten positiv die Behandlung und die somit gewonnene erhebliche Besserung an Ästhetik, Kaukomfort und Kaufunktion.

Die Zufriedenheit mit der prothetischen Situation wurde von allen positiv bewertet. Ausnahme bildeten zwei Patientinnen aus der Periimplantitis-Gruppe, die ihre Versorgung bemängelten. Allerdings bestand die prothetische Versorgung bereits vor dem operativen Eingriff und stand nicht im untersuchten Zusammenhang.

Eine geeignete prothetische Versorgung ist nach der Augmentation des atrophen Kiefers für den Langzeiterfolg von großer Wichtigkeit. Durch sie soll eine Über- und Fehlbelastung der einzelnen Implantate sowie des augmentierten Knochens vermieden werden, da sonst im schlimmsten Fall ein Implantatverlust droht (Donovan et al. 1994). Der implantatgetragene Zahnersatz muss den augmentierten Knochen nahezu physiologisch belasten. Die Eingliederung einer schleimhautgetragenen Versorgung verursacht die Aktivierung resorptiver Vorgänge, welche bereits vorher zum Verlust des Kieferkamms geführt hatten. In dieser Studie konnte dieser Standpunkt nicht belegt werden. Eine Stegkonstruktion, wie sie bei einer Vielzahl der hier behandelten Patienten angewendet wurde, bietet eine primäre Verblockung der Implantate und gewährleistet somit eine optimale Kraftübertragung auf alle vorhandenen Implantate. Zusätzlich kann dank dieser prothetischen Erweiterung ein gaumenfreier Zahnersatz im Oberkiefer gesichert werden. Der Vorteil liegt im besseren Geschmackempfinden. Außerdem zeigt sich eine positive psychologische Wirkung, da das Fremdkörpergefühl reduziert wird.

### 4.2.5 Schlussfolgerung und klinischer Ausblick

Die Anwendung von individuell angefertigten Titanobturatoren als Augmentationsmethode zeigt gute Ansätze, sich als Routinebehandlung zu beweisen, da Augmentations- und Implantationserfolge aufzuweisen sind. Es kommt insgesamt zu gutem Knochenzuwachs und wenigen Resorptionen. Die Ergebnisse in der vorliegenden Studie beweisen, dass die Anwendung der GBR mittels Titankammern mit Hilfe der minimalinvasiven Vorgehensweise die Schaffung eines ausreichenden Implantatlagers ermöglicht. Auch der Langzeiterfolg der in den regenerierten Knochen inserierten enossalen Implantate kann dokumentiert werden. Es

zeigte sich, dass Patienten mit dieser Methode suffizient prothetisch versorgt werden konnten. Auch fand eine subjektiv zufrieden stellende Behandlungsmethode statt.

Jedoch ist bei dieser OP-Methode zu bedenken, dass hierbei ein höherer technischer und zeitlicher Aufwand verbunden ist, v. a. bei der Anwendung der endoskopischen Assistenz.

Es muss dennoch festgehalten werden, dass die Augmentation auch mit Komplikationen wie vorzeitigen Membranexpositionen verbunden sein kann. Diese können jedoch behandelt werden, ohne dass eine Gefährdung des Augmentationserfolges auftreten muß. Hier besteht aufgrund der geringen Fallzahl keine statistische Signifikanz. Die Ergebnisse wären im Rahmen einer umfangreichen Studie zu untermauern, oder zu widerlegen.

Es ist individuell abzuwägen, ob diese Operationsmethode den persönlichen Erfahrungen und Ansprüchen eines jeden Operateurs gerecht wird. Die minimalinvasive Augmentation könnte bei entsprechender Weiterentwicklung zum hilfreichen und effektiven Instrument eines erfahrenen Implantologen werden. Die genaue Anpassung der Augmentationskammer an individuelle Gegebenheiten kann zukünftig mittels DVT oder CT dreidimensional noch präziser gestaltet werden. Auch die Fixierung mittels Ultraschall-Pins wird zukünftig sicherlich die konventionellen Mikrotitanschrauben ersetzen. Abschließend bietet diese OP-Methode im Rahmen der Individualindikation eine viel versprechende Möglichkeit im weiten Spektrum an Augmentationsformen.

### 5 Zusammenfassung

Das Konzept der Gesteuerten Knochenregeneration (Guided Bone Regeneration, GBR) hat als Ziel den knöchernen Wiederaufbau des Alveolarkamms bei defizitärem Knochenangebot oder die knöcherne Heilung eines lokalen Defektes vor oder in Verbindung mit einem endossalen Implantateinsatz. Die klinische Anwendung von Titanbarrieren im Rahmen dieser Augmentationsmethode hat Behandlungserfolge aufzuweisen.

Auf der Basis einer retrospektiven Analyse von 62 konsekutiven Augmentationsfällen vor und simultan einer Implantation sowie im Rahmen der Periimplantitistherapie wurde zwei Jahre postoperativ klinisch und radiologisch evaluiert, ob die Verwendung von Titanaugmentationskammern im minimalinvasiven Vorgehen hinsichtlich Implantierbarkeit des Kieferkammabschnittes, Augmentationsvolumen (Knochenzuwachs und Knochenresorption), Implantaterfolg, Komplikationshäufigkeit und Langzeiterfolg im regenerierten Knochen eine Empfehlung als Routinebehandlung erlaubt.

Ein konsekutives Patientenkollektiv (n= 43; Frauen n= 31, 72%; Männer n= 12, 28%) zwischen 22 und 69 Jahren (Altersmedian 54,7 Jahre) wurde mit 62 Titanobturatoren bei vertikaler und / oder transversaler Knochenlagerinsuffizienz operativ versorgt. Mittels endoskopischer Assistenz im minimalinvasiven Verfahren bei 28 Fällen und in konventioneller Weise wurden individuell angefertigte Titanaugmentationskammern indikationsabhängig im zwei- und einzeitigen Implantationsverfahren oder im Rahmen einer Periimplantitisbehandlung mit Mikrotitanschrauben (Fa. MedArtis, Basel, Schweiz; Fa. Karl Leibinger Medizintechnik, Freiburg, D; Fa. Stryker-Leibinger, Freiburg, D) am Kieferkamm stabil fixiert. Nach durchschnittlich 19,3 Wochen (5 Monate) Liegedauer wurden die Obturatoren samt Schrauben entfernt. Im Rahmen der Implantation (zwei- oder einzeitig) wurden 38 Titanimplantate der Marke Semados<sup>®</sup> (Fa. Bego, Bremen, D) und 18 Titanimplantate der Marke Xive<sup>®</sup> (Fa. Friadent, Mannheim, D) gesetzt.

Direkt nach Augmentation konnte ein mittlerer Knochengewinn von 2,2 mm / 21% (Implantationsgruppen, I) und 2,9 mm / 37,7% (Periimplantitisgruppe, P) ermittelt werden.

Während der Nachuntersuchung zeigte sich eine Resorption von durchschnittlich 0,5 mm / 3,9% (I) und 0,8 mm / 7,5% (P) in zwei Jahren. Die insgesamt gewonnene Knochenhöhe betrug somit durchschnittlich 1,7 mm (16,2%) (I) nach 2 Jahren, bei der (P) 2,1 mm (21,4%). Die Werte korrelieren mit anderen publizierten Ergebnissen, teilweise zeigt die hier ermittelte Knochenresorption niedrigere Werte an.

Bei der Betrachtung der Sondierungstiefen konnten tendenziell im distalen und teilweise im oralen Bereich höhere Werte beobachtet werden. Die Erhebung der ST ergab eine deutlich höhere Messung bei der Periimplantitisgruppe (2 bis 7 mm, seitenbezogene Mittelwerte 4-5,5 mm, häufigster Wert 7 mm). Im Vergleich dazu ergaben die Auswertungen beider Implantationsgruppen 1 bis 5 mm, seitenbezogene Mittelwerte 2-3 mm, häufigster Wert 2 mm. Somit ergibt sich ein Durchschnitt von 4,7 mm (P), im Vergleich zu 2,6 mm (I). Es konnten keine Zusammenhänge zwischen periimplantärem Knochenverlust und Gingivazustand festgestellt werden.

Die gemessene Implantatstabilität mittels Periotest wurde insgesamt unter Grad 0 gemessen (Werte zwischen -08 und +06). Innerhalb der Indikationsgruppen wurden Mittelwerte zwischen -1,8 (Zweizeitige Implantation), -2,5 (Einzeitige Implantation) und +03 (Periimplantitis) erhoben. Häufigster Wert war -02, was auch dem Gesamtdurchschnitt entspricht. Die Implantat-Knochen-Einheit der evaluierten Implantate nach 2 Jahren ist folglich mechanisch und biologisch stabil.

Bezüglich der anderen klinischen Parameter (Gingiva-Indizes SBI und BOP) konnten bei Vergleich der (Mittel-)Werte keine signifikanten Unterschiede ausgemacht werden. Innerhalb der Gruppen zeichneten sich die Implantationsgruppen etwas besser aus als die Periimplantitisgruppe. Bei beiden Gingiva-Indizes konnten keine Zusammenhänge zwischen periimplantärem Knochenverlust und Gingivazustand festgestellt werden.

Bei der Patientenbefragung ergab die Analyse 38 mit der Behandlung zufriedene Patienten (92,7%).

Die Überlebensquote dieser retrospektiven Studie betrug 94,6% der gesetzten Implantate und einer Überlebensquote von 95,2% aller während dieser Studie untersuchten Implantate. Die Werte korrelieren mit anderen Autoren und lassen einen Langzeiterfolg werten.

Die Heilungsverläufe nach der Primäroperation hatten einen entscheidenden Einfluss auf den Therapieerfolg. Erfolgreich verliefen vor allem die Augmentationen mit komplikationsloser gedeckter Membraneinheilung (n= 45). Bei Exposition des Obturators führten insbesondere putride Membranlagerinfektionen mit vorzeitiger Membranentfernung (n= 7) teilweise zu suboptimalen Augmentationsergebnissen oder Misserfolgen. In drei Fällen konnte dennoch ein Implantationserfolg verbucht werden. In neun weiteren Fällen waren die minimalen Membranexpositionen (Dehiszenzen) durch lokale Maßnahmen beherrschbar. Somit werden in dieser Studie vier Misserfolge gewertet. Das Ziel, einen Implantationserfolg zu verbuchen, wurde in diesen Fällen nicht erreicht (Misserfolgsquote der Augmentation 6,5%). Verglichen

mit anderen Publikationen liegt der Gesamtanteil an Expositionen mit und ohne Infektion (25,8%) unter dem Durchschnitt. Aufgrund dieser Auswertung und der niedrigen Zahl der Misserfolgsquote scheint dieses Risiko von relativ geringer Bedeutung bei der Anwendung von Titanobturatoren im Rahmen der gesteuerten Knochenregeneration (GBR) zu sein.

Die Evaluationen und Ergebnisse in der vorliegenden Studie beweisen, dass die Anwendung mittels Titanaugmentationskammern im Rahmen der GBR mit Hilfe der minimalinvasiven Vorgehensweise die Schaffung eines ausreichenden Implantatlagers ermöglicht und den Langzeiterfolg der in den regenerierten Knochen inserierten enossalen Implantate sichert.

**6 Anhang****6.1 Abkürzungsverzeichnis**

BMP	bone morphogenetic protein
BOP	Bleeding-on-probing
CHX	Chlorhexidin
CT	Computertomografie
DFDBA	demineralized freeze dried bone allograft (= demineralisierter, entkalkter, gefriergetrockneter Knochen)
DVT	digitale Volumentomografie
ePTFE	expandiertes Polytetrafluorethylen
FDBA	freeze dried bone allograft (= mineralisierter, entkalkter, gefriergetrockneter Knochen)
GBR	guided bone regeneration (= Gesteuerte Knochenregeneration)
GTR	guided tissue regeneration (= Gesteuerte Geweberegeneration)
I	Implantationsgruppen
HIV	human immunodeficiency virus
IGF-I	insulin-like growth factor - I
OK	Oberkiefer
OPAN	Orthopantomogramm (= Panoramaschichtaufnahme)
OHE	Orientierungshilfselement
OP	Operation
P	Periimplantitisgruppe
PDGF	platelet derived growth factor
präOP	präoperativ
postOP	postoperativ
PSI	Parodontal-screening-index
PT	Periotest
SBI	Sulcus-Blutungs-Index
ST	Sondierungstiefe
UK	Unterkiefer

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Klassifizierung der Knochenqualität	S. 9
Abb. 2	Klassifizierung der Knochenresorption	S. 9
Abb. 3	Laterale Sinusbodenaugmentation mit Einlagerung von Augmentationsmaterial ohne und mit Implantation	S. 13
Abb. 4	Auflagerungsplastik	S. 14
Abb. 5	Anlagerungsplastik	S. 14
Abb. 6	Le-Fort-I-Osteotomie	S. 14
Abb. 7	Sandwich-Osteotomie	S. 15
Abb. 8	Sinuslift mit krestalem Zugang und endoskopischer Kontrolle (Kondensationstechnik)	S. 16
Abb. 9	Distractionsosteogenese	S. 17
Abb. 10	Prinzip der Guided Bone Regeneration (GBR)	S. 18
Abb. 11	Geschlechterverteilung	S. 32
Abb. 12	Altersverteilung	S. 32
Abb. 13	Indikationsschema	S. 33
Abb. 14	Verteilung der prothetischen Versorgung	S. 38
Abb. 15	Obturator	S. 38
Abb. 16 a - d	Endoskop	S. 40
Abb. 17	Schema der OPAN- Vermessung	S. 45
Abb. 18	Heilungsverlauf	S. 48
Abb. 19	Verteilung des SBI innerhalb der Indikationsgruppe	S. 51
Abb. 20	SBI-Auswertung	S. 52
Abb. 21	Verteilung des BOP innerhalb der Indikationsgruppen	S. 52
Abb. 22	Auswertung der Sondierungstiefen	S. 53
Abb. 23	Sondierungstiefen – Gesamtwerte der vier gemessenen Stellen im Vergleich	S. 54
Abb. 24	Periotest-Verteilung	S. 55
Abb. 25	Knochenhöhe im Verlauf der Behandlung	S. 57
Abb. 26	Vergleich der Gruppen bei der Knochenhöhe im Verlauf der Behandlung	S. 57
Abb. 27	Patientenbewertung bezüglich prothetischer Versorgung	S. 58
Abb. 28	Patientenbewertung bezüglich des Behandlungsverlaufs	S. 59
Abb. 29	Kasuistik 1 – Radiologische Ausgangssituation	S. 60



---

Abb. 30 a + b	Kasuistik 1 – Klinische Ausgangssituation	S. 60
Abb. 31	Kasuistik 1 – Odontoskopische Kontrolle	S. 60
Abb. 32	Kasuistik 1 – Titanobturator in situ	S. 60
Abb. 33	Kasuistik 1 – Klinische Situation postOP	S. 60
Abb. 34	Kasuistik 1 – Radiologische Kontrolle mit Obturator	S. 61
Abb. 35	Kasuistik 1 – Implantatinsertion	S. 61
Abb. 36	Kasuistik 1 – Radiologische Nachuntersuchung 2 Jahre postOP	S. 61
Abb. 37	Kasuistik 1 – Klinische Nachuntersuchung 2 Jahre postOP	S. 61
Abb. 38	Kasuistik 2 – Radiologische Ausgangssituation	S. 62
Abb. 39	Kasuistik 2 – Klinische Ausgangssituation und endoskopische Kontrolle	S. 62
Abb. 40	Kasuistik 2 – Titanobturator	S. 63
Abb. 41 a - c	Kasuistik 2 – Obturatorinsertion und Mikrofixation	S. 63
Abb. 42	Kasuistik 2 – Klinische Situation postOP	S. 63
Abb. 43	Kasuistik 2 – Radiologische Kontrolle mit Obturator	S. 63
Abb. 44	Kasuistik 2 – Obturatorexplantation	S. 64
Abb. 45	Kasuistik 2 – Klinische Situation nach Obturatorexplantation	S. 64
Abb. 46	Kasuistik 2 – Implantatinsertion	S. 64
Abb. 47	Kasuistik 2 – Radiologische Nachuntersuchung 2 Jahre postOP	S. 64
Abb. 48	Kasuistik 2 – Klinische Nachuntersuchung 2 Jahre postOP	S. 64

Abbildungen 1 bis 10 mit freundlicher Genehmigung des Verlages

Quelle: Koeck B, Wagner W (Hrsg.): PDZ – Reihe. Implantologie. Bd. 13

2. Aufl., Urban & Fischer Verlag, München, Jena, 2004

Abbildungen 16 a - d aus der Sammlung von Prof. Dr. Dr. Engelke, Göttingen

### 6.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 1	Liegedauer	S. 37
Tab. 2	Anzahl und Art gesetzter Implantate	S. 39
Tab. 3	Kollektiv	S. 41
Tab. 4	Einteilung der Periotest-Werte	S. 44
Tab. 5	Fallzahlen innerhalb des Indikationsschemas	S. 47

Autor	Art der Studie	Implantate	Patienten	Untersuchungszeitraum Belastungsphase	Heilungszeit	Membran	Augmentationsmaterial	Überlebensrate in %	Erfolgsrate in %	chirurgisches Vorgehen	Knochenzuwachs in mm	Resorption in mm	Expositionen	Anmerkung
Becker et al. 1999	Langzeit	49	40 Extraktionen	5 Jahre		ePTFE	-	93,9 Maxilla, 93,8 Mandibula		einzeitig		Maxilla 0,3 mes+dis, Mandibula 0,2 mes,0,5 dis		
		26	44 Dehiszenzen	5 Jahre		ePTFE	-	76,8 Maxilla, 83,8 Mandibula		einzeitig		Maxilla 0,4 mes;0,2 dis; Mandibula 0,3 mes+dis		
Buser et al. 1996b	Langzeit	12	9	5 Jahre	6-10 Monate	ePTFE	-	100	100	zweizeitig		0,3		
Buser et al. 2002	Langzeit	61	40	5 Jahre	6-9 Monate	ePTFE	Autograft	100	98,3	zweizeitig				
Canullo und Malagnino 2008	Langzeit	24		24-54 Monate	6-8 Monate	titanverstärkte ePTFE	boviner Knochen			zweizeitig	0,2			*1
Christensen et al. 2003	Langzeit		28							einzeitig		1,5		
			17			6-8 Monate				zweizeitig		1,5		
Cordioli et al. 1999	Periimplantitis	28	7	6 Monate	7 Monate	ePTFE	DFDBA			P	82% Defektauffüllung	1,2-2,9		
Dahlin et al. 1995	Langzeit	55 (35 Maxilla, 20 Mandibula)	45	2 Jahre	4-6 Monate	ePTFE	-	84,7 Maxilla, 95 Mandibula		einzeitig	3,6; 82% Defektauffüllung		6	
Degidi et al. 2003	Langzeit	50	18	7 Jahre		Mikrotitangitter + resorbierbare Membran	autologer Knochen	100			komplette Füllung der Defekte		keine	
Fugazzotto 1997	Langzeit	626	331	6-51 Monate	6-9 Monate	ePTFE	Autograft / TCP / DFDBA	98,6	100	beides				
Fugazzotto 1998	Langzeit	346	284	nicht genannt	4-10 Monate	ePTFE	BioOss / DFDBA / FDBA / TCP	97	97,6 (98,8 Maxilla, 98,2 Mandibula)	zweizeitig				
Fugazzotto 2005	Langzeit	607		72-133 Monate		ePTFE	Autograft / TCP / DFDBA		97,4 (97,2 Maxilla, 97,4 Mandibula)	beides				
Gelb 1993	Langzeit	50	35	bis 4 Jahre		ePTFE	DFDBA / -	98		einzeitig				
Hämmerle et al. 2002	Literaturrecherche			1-5 Jahre		alle	alle	79,4-100 (Mehrheit > 90)						
Hämmerle et al. 2008	Augmentation		12		9-10 Monate	Kollagen	boviner Knochen			zweizeitig	3,7 transversal 89,6%			
Jovanovic et al. 1992	Periimplantitis	19	11	6-12 Monate	4,5-6 Monate	ePTFE	-		63,2	P	Defektauffüllung	1,73 (1,2-2,7)	3	
Molly et al. 2006	Langzeit	46	11	3-9 Jahre		Titankörper (CT)	-			einzeitig	<1		ja?	*2
Nevins et al. 1998	Langzeit	526	352	6-74 Monate	nicht genannt	ePTFE	Autograft / Allograft	98,5	97,5	beides		0,64		
Simon et al. 1998	Augmentation	26		7-11 Monate		titanverstärkte ePTFE	DFDBA			einzeitig	3,1 (124%)			
		32		7-11 Monate		titanverstärkte ePTFE	Knochenspäne			einzeitig	5,02 (95%)			
Simon et al. 2001	Langzeit	123	49	1-5 Jahre	6-12 Monate	ePTFE	nichts / DFDBA / Autograft		98,2			1,35 / 1,87 / 1,71		
Simon et al. 2004	Langzeit	38		1-7 Jahre	6-13 Monate			92,1	76,3	beides		1,65 mes; 1,68 dis	2 (12,8%)	
Simon et al. 2007a	Augmentation	12	tierexp.		6 Monate	titanverstärkte ePTFE	"Blutkoagel"			einzeitig	57,42%; Testgruppe: 11,65%			
Simon et al. 2007b	Augmentation	27	7		6 Monate	titanverstärkte ePTFE	boviner Knochen + autologe Knochenspäne			einzeitig			1 von 10	*3
Tinti et al. 1996	Augmentation	6	6		12 Monate	ePTFE	Autograft			zweizeitig	4,95		1	
van Steenberghe et al. 2003	Langzeit	39	10	3-5 Jahre	9-17 Monate	Titankammer (CT)	-	92,3			bis 16 vertikal bis 9 horizontal		5 von 10	
von Arx und Kurt 1998	Augmentation	20	15		6,6 Monate	Mikrotitangitter	autogene Knochenblöcke			einzeitig	93,5% Defektauffüllung		1	
von Arx et al. 1998	Langzeit	27	18	1-3 Jahre	5,2 Monate	Mikrotitangitter	Autograft	100	100	zweizeitig		1mm im ersten Jahr, 0,1mm in Folgejahren		
Zitzmann et al. 2001	Langzeit	112	75	5 Jahre	4-6 Monate	ePTFE	boviner Knochen	95,4		einzeitig		2,21		

\*1: Histologie: signifikante neue Knochenformationen; radiologisch und klinisch feste Implantate

\*2: Titanmembranen: weniger Resorption als autologe Knochenblöcke

\*3: boviner Knochen: lange Resorptionszeit; Histologie: Remodellation, Neoosteogenese, aber erst nach 6 Mo

### 7 Literaturverzeichnis

Adell R, Lekholm U, Rockler B, Brånemark PI (1981):

A 15-year study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw.

Int J Oral Surg 10, 387-416

Aghaloo TL, Moy PK (2007):

Which hard tissue augmentation techniques are the most successful in furnishing bony support for implant placement?

Int J Oral Maxillofac Implants 22, 49-70

Albrektsson T, Zarb G, Worthington P, Eriksson AR (1986):

The long-term efficiency of currently used dental implants: a review and proposed criteria of success.

Int J Oral Maxillofac Implants 1, 11-25

Avery JK:

Histology of the Periodontium: Alveolar bone, cementum and periodontal ligament. Agents affecting teeth and bone development; in: Oral development and histology; hrsg. v. Avery J K, Steele PF, Avery N; Thieme Verlag, Stuttgart 2002, 226-241

Baron M, Haas S, Dörtbudak O, Watzek G (2000):

Experimentall induced periimplantitis: a review of different treatment methods described in the literature.

Int J Oral Maxillofac Implants 15, 533-544

Bartee BK (1995):

The use of high-density polytetrafluoroethylene membrane to treat osseous defects: clinical reports. Implant Dent 4, 21-26

Bartee BK (1998):

Evaluation of a new polytetrafluoroethylene guided tissue regeneration membrane in healing extraction sites.

Compend Contin Educ Dent 19, 1256-1264

Becker W, Becker BE (1990):

Guided tissue regeneration for implants placed into extraction sockets for implant dehiscences: surgical techniques and case reports.

Int J Periodont Restor Dent 10, 377-392

Becker W, Becker BE, Handlesman M, Celletti R, Oxsenbein C, Hardwick R, Langer B (1990):

Knochenbildung an freiliegenden Implantaten nach Therapie mit Membranen – eine Pilotstudie an Hunden.

Int J Parodontol Rest Zahnheilk 10, 90-99

Becker W, Dahlin C, Becker BE, Lekholm U, van Steenberghe D, Higuchi K, Kultje C (1994):

The use of e-PTFE barrier membranes for bone promotion around titanium implants placed into extraction sockets: a prospective multicenter study.

Int J Oral Maxillofac Implants 9, 31-40

- Becker W, Meissner T, Reichart PA (1995):  
Gesteuerte Knochenregeneration mit Membranen aus Polyesterurethan.  
Implantologie 2, 151-161
- Becker W, Dahlin C, Lekholm U, Bergstrom C, van Steenberghe D, Higuchi K, Becker BE (1999):  
Five-year evaluation of implants placed at extraction and with dehiscences and fenestration defects augmented with ePTFE membranes: results from a prospective multicenter study.  
Clin Implant Dent Relat Res 1, 27-32
- Becker W, Goldstein M, Becker BE, Sennerby L (2005):  
Minimally invasive flapless implant surgery: a prospective multicenter study.  
Clin Implant Dent Relat Res 7, Suppl 1, 21-27
- Behneke A, Behneke N, d'Hoedt B, Wagner W (1997):  
Hard and soft tissue reactions to ITI screw implants: 3-year longitudinal results of a prospective study.  
Int J Oral Maxillofac Implants 12, 749-757
- Berglundh T, Persson L, Klinge B (2002):  
A systematic review of the incidence of biological and technical complications in implant dentistry reported in prospective longitudinal studies of at least 5 years.  
J Clin Periodontol 29, Suppl 3, 197-212, discussion 232-233
- Berkovitz B KB, Holland GR, Moxham BJ:  
Color atlas and textbook of oral anatomy, histology and embryology; 2. Auflage; Mosby Verlag, St. Louis 1978
- Block MS, Almerico B, Crawford C, Gardiner D, Chang A (1998):  
Bone response to functioning implants in dog mandibular alveolar ridges augmented with distraction osteogenesis.  
Int J Oral Maxillofac Implants 13, 342-351
- Blomqvist JE, Alberius P, Isaksson S (1998):  
Two-stage maxillary sinus reconstruction with endosseous implants: a prospective study.  
Int J Oral Maxillofac Implants 13, 758-766
- Brånemark PI, Hansson BO, Adell R, Breine U, Lindström J, Hallén O, Ohmann A (1977):  
Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period.  
Scand J Plast Reconstr Surg Suppl 16, 1-132
- Breine U, Brånemark PI (1980):  
Reconstruction of alveolar jaw bone. An experimental and clinical study of immediate and preformed autologous bone grafts in combination with osseointegrated implants.  
YScand J Plast Reconstr Surg 14, 23-48
- Bucher O, Wartenberg H:  
Cytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen; 12. Auflage; Hans Huber Verlag, Bern 1997
- Buser D, Maeglin B:  
Komplikationen mit ITI-Implantaten; in: Orale Implantologie; hrsg. V. Schroeder A, Sutter F, Buser D, Krekeler G; Thieme Verlag, Stuttgart 1994, 442-448

- Buser D, Brägger U, Lang NP, Nyman S (1990):  
Regeneration and enlargement of jaw bone using guided tissue regeneration.  
Clin Oral Implants Res 1, 22-32
- Buser D, Hirt HP, Dula K, Berthold H (1992):  
Membrantechnik / Orale Implantologie. Gleichzeitige Anwendung von Membranen bei Implantaten mit periimplantären Knochendefekten.  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 102, 1490-1505
- Buser D, Dula K, Belser U, Hirt HP, Berthold H (1993):  
Localized ridge augmentation using guided bone regeneration. I. Surgical procedure in the maxilla.  
Int J Periodontics Restorative Dent 13, 29-45
- Buser D, Dula K, Belser U C, Hirt H P, Berthold H (1995):  
Localized ridge augmentation using guided bone regeneration. II. Surgical procedure in the mandible.  
Int J Periodontics Restorative Dent 15, 10-29
- Buser D, Dula K, Hirt HP, Schenk RK (1996a):  
Lateral ridge augmentation using autografts and barrier membranes: a clinical study with 40 partially edentulous patients.  
Int J Oral Maxillofac Surg 54, 420-432
- Buser D, Dula K, Lang NP, Nyman S (1996b):  
Long-term stability of osseointegrated implants in bone regenerated with the membrane technique. 5-year results of a prospective study with 12 implants.  
Clin Oral Implants Res 7, 175-183
- Buser D, Hoffmann B, Bernard J-P, Lussi A, Mettler D, Schenk RK (1998):  
Evaluation of filling materials in membrane protected bone defects.  
Clin Oral Implants Res 9, 137-150
- Buser D, Ingimarsson S, Dula K, Lussi A, Hirt HP, Belser UC (2002):  
Long-term stability of osseointegrated implants in augmented bone: a 5-year prospective study in partially edentulous patients.  
Int J Periodontics Restorative Dent 22, 109-117
- Campelo LD, Camara JR (2001):  
Flapless implant surgery: a 10-year clinical retrospective analysis.  
Int J Oral Maxillofac Implants 17, 271-276
- Canullo L, Malagnino VA (2008):  
Vertical ridge augmentation around implants by ePTFE titanium-reinforced membrane and bovine bone matrix: a 24- to 54-month study of 10 consecutive cases.  
Int J Oral Maxillofac Implants 23, 858-866
- Cawood JI, Howell RA (1988):  
A classification of the edentulous jaws.  
Int J Oral Maxillofac Surg 17, 232-236
- Cawood JI, Stoelinga PJ (2000):  
International research group on reconstructive preprosthetic surgery. Consensus report.  
Int J Oral Maxillofac Surg 29, 159-162

Christensen DK, Karoussis IK, Joss A, Hämmerle CH, Lang NP (2003):  
Simultaneous or staged installation with guided bone augmentation of transmucosal titanium implants.  
A 3-year prospective cohort study.  
*Clin Oral Implants Res* 14, 680-686

Cordaro L, Amadé DS, Cordaro M (2002):  
Clinical results of alveolar ridge augmentation with mandibular block bone grafts in partially  
edentulous patients prior to implant placement.  
*Clin Oral Implants Res* 13, 103-111

Cordioli G, Majzoub Z, Riachi F (1999):  
Postloading behaviour of regenerated tissues in GBR-treated implant sites.  
*Int J Periodontics Restorative Dent* 19, 44-55

Cricchio G, Lundgren S (2003):  
Donor site morbidity in two different approaches to anterior iliac crest bone harvesting.  
*Clin Implant Dent Relat Res* 5, 161-169

Dahlin C, Linde A, Gottlow J, Nyman S (1988):  
Healing of bone defects by guided tissue regeneration  
*Plast Reconstr Surg* 81, 672-676

Dahlin C, Sennerby L, Lekholm U, Linde A, Nyman S (1989):  
Generation of a new bone around titanium implants using a membrane technique: an experimental  
study in rabbits.  
*Int J Oral Maxillofac Implants* 4, 19-25

Dahlin C, Gottlow J, Linde A, Nyman S (1990):  
Healing of maxillary and mandibular bone defects using a membrane technique.  
*Scand J Plast Reconstr Hand Surg* 24, 13-16

Dahlin C, Alberius P, Linde A (1991a):  
Osteopromotion for cranioplasty. An experimental study in rats using a membrane technique.  
*J Neurosurg* 74, 487-491

Dahlin C, Andersson L, Linde A (1991b):  
Bone augmentation at fenestrated implants by an osteopromotive membrane technique. A controlled  
clinical study.  
*Clin Oral Implants Res* 2, 159-165

Dahlin C, Sandberg E, Alberius P, Linde A (1994):  
Restoration of mandibular nonunion bone defects: An experimental study in rats using an  
osteopromotive membrane method.  
*Int J Oral Maxillofac Surg* 23, 237-242

Dahlin C, Lekholm U, Becker W, Becker B, Higuchi K, Callens A, van Steenberghe D (1995):  
Treatment of fenestration and dehiscence bone defects around oral implants using the guided tissue  
regeneration technique: a prospective multicenter study.  
*Int J Oral Maxillofac Implants* 10, 312-318

- Degidi M, Scarano A, Piatelli A (2003):  
Regeneration of the alveolar crest using titanium micromesh with autologous bone and a resorbable membrane.  
J Oral Implantol 29, 86-90
- de Koomen HA, Stoelinga PJ, Tideman H, Huybers TJ (1979):  
Interposed bone-graft augmentation of the atrophic mandible (a progress report).  
J Maxillofac Surg 7, 129-135
- Deppe H, Horch H-H, Donath K, Hiermer T, Henke B (1999):  
Experimentelle Untersuchungen zur laserassistierten Periimplantitistherapie.  
Z Zahnärztl Impl 15, 97-101
- Deppe H, Horch H-H, Donath K, Hiermer T, Henke B, Milatovic D (2000):  
Experimentelle Untersuchungen zur laserassistierten und membrangestützten Periimplantitistherapie.  
Dtsch Zahnärztl Z 55, 344-348
- Devlin H, Horner K, Ledgerton D (1998):  
A comparison of maxillary and mandibular bone mineral densities.  
J Prosthet Dent 79, 323-327
- Doblin JM, Salkin LM, Mellado JR, Freedman AL, Stein MD (1996):  
A histologic evaluation of localized ridge augmentation utilizing DFDBA in combination with e-PTFE membranes and stainless steel bone pins in humans.  
Int J Periodontics Restorative Dent 16, 120-129
- Donovan MG, Dickerson NC, Hanson LJ, Gustafson RB (1994):  
Maxillary and mandibular reconstruction using calvarial bone grafts and Branemark implants: a preliminary report.  
J Oral Maxillofac Surg 52, 588-594
- Eckelt U, Nitsche M, Müller A, Pilling E, Pinzer T, Roesner D (2007):  
Ultrasound aided pin fixation of biodegradable osteosynthetic materials in cranioplasty for infants with craniosynostosis.  
J Craniomaxillofac Surg 35, 218-221
- Engelke W (1991):  
Die primäre Alveolarextensionsplastik mit Mikroplattenosteosynthese (PAM) bei der Implantatversorgung atrophierter Kieferkammabschnitte.  
Z Zahnärztl Implantol 7, 184-188
- Engelke W, Deckwer I (1997):  
Endoscopically controlled sinus floor augmentation. A preliminary report.  
Clin Oral Implants Res 8, 527-531
- Engelke W, Capobianco M (2004):  
Odontoskopie in der Zahnheilkunde.  
ZWR 113, 156-164
- Engelke W, Capobianco M (2005):  
Flapless sinus floor augmentation using endoscopy combined with CT scan-designed surgical templates: method and report of 6 consecutive cases.  
Int J Oral Maxillofac Implants 20, 891-897

- Engelke W, Diederichs CG, Jacobs HG, Deckwer I (1997):  
Alveolar reconstruction with splitting osteotomy and microfixation of implants.  
Int J Oral Maxillofac Implants 12, 310-318
- Engelke W, Jacobs HG, Gisvalinova D (2000):  
Knochen auf dem Prüfstand. Das ASCli-System: Befunderhebung des knöchernen Implantatlagers.  
Implantol J 3, 24-30
- Engelke W, Klotz S, Fasshauer A, Jacobs HG (2002a):  
Spätresultate vertikal augmentierter Kammabschnitte mit Hydroxylapatit im Vicrylschlauch und  
simultaner Implantatinsertion.  
Z Zahnarztl Implantol 18, 1-6
- Engelke W, Stahr S, Schwarzwäller W (2002b):  
Enhancement of primary stability of dental implants using cortical satellite implants.  
Implant Dent 11, 52-57
- Engelke W, Schwarzwäller W, Behnsen A, Jacobs HG (2003):  
Subantrosopic laterobasal sinus floor augmentation (SALSA): an up-to-5-year clinical study.  
Int J Oral Maxillofac Implants 18, 135-143
- Engelke W, Decco O, Rau MJ (2004):  
Minimalinvasive Augmentation des Unterkiefers mit einem mikrofixierten starren Formkörper.  
ZWR 113, 271-274
- Ericsson I, Berglundh T, Marinello C, Liljenberg B, Lindhe J (1992) :  
Long-standing plaque and gingivitis at implants and teeth in the dog.  
Clin Oral Implants Res 3, 99-103
- Fiorellini JP, Kim DM, Nakajima Y, Weber HP (2007) :  
Osseointegration of titanium implants following guided bone regeneration using expanded  
polytetrafluoroethylene membrane and various membrane fillers.  
Int J Periodontics Restorative Dent 27, 287-294
- Fontana F, Santoro F, Maiorana C, Iezzi G, Piatelli A, Simion M (2008) :  
Clinical and histologic evaluation of allogenic bone matrix versus autogenous bone chips associated  
with titanium-reinforced e-PTFE membrane for vertical ridge augmentation: a prospective pilot study.  
Int J Oral Maxillofac Implants 23, 1003-1012
- Fugazzotto PA (1997):  
Success and failure rates of osseointegrated implants in function in regenerated bone for 6 to 51  
months: a preliminary report.  
Int J Oral Maxillofac Implants 12, 17-24
- Fugazzotto PA (1998):  
Report of 302 consecutive ridge augmentation procedures: technical considerations and clinical  
results.  
Int J Oral Maxillofac Implants 13, 358-368
- Fugazzotto PA (2003):  
GBR using bovine bone matrix and resorbable and nonresorbable membranes. Part 2: Clinical results.  
Int J Periodontics Restorative Dent 23, 599-605



Fugazzotto PA (2005):

Success and failure rates of osseointegrated implants in function in regenerated bone for 72 to 133 months.

Int J Oral Maxillofac Implants 20, 77-83

Fugazzotto PA, De PS (2002):

Sinus floor augmentation at the time of maxillary molar extraction: success and failure rates of 137 implants in function for up to 3 years.

J Periodontol 73, 39-44

Gaggl A, Schultes G, Kärcher H (2000a):

Vertical alveolar ridge distraction with prosthetic treatable distractors: a clinical investigation.

Int J Oral Maxillofac Implants 15, 701-710

Gaggl A, Schultes G, Regauer S, Kärcher H (2000b):

Healing process after alveolar ridge distraction in sheep.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 90, 420-429

Gelb DA (1993):

Immediate implant surgery: three-year retrospective evaluation of 50 consecutive cases.

Int J Oral Maxillofac Implants 8, 388-399

Geurs NC, Wang IC, Shulman LB, Jeffcoat MK (2001) :

Retrospective radiographic analysis of sinus graft and implant placement procedures from the Academy of Osseointegration Consensus Conference on Sinus Grafts.

Int J Periodontics Restorative Dent 21, 517-523

Gomez-Roman G , Lukas D (2001):

Influence of the implant abutment on the Periotest value: an in vivo study.

Quintessence Int 32, 797-799

Gottlow J, Nyman S, Karring T, Lindhe J (1984):

New attachment formation as the result of controlled tissue regeneration.

J Clin Periodontol 11, 494-503

Gottlow J, Nyman S, Lindhe J, Karring T, Wennström J (1986):

New attachment formation in the human periodontium by guided tissue regeneration. Case reports.

J Clin Periodontol 13, 604-616

Günay H, Young Kim M:

Parodontalchirurgie.

in: PDZ – Reihe. Parodontologie; Band 4.; hrsg. v. Heidemann D

Urban & Fischer Verlag, München 2005, 210-269

Haas R, Dötbudak O, Mensdorff-Pouilly N, Mailath G (1997) :

Elimination of bacteria on different implant surfaces through photosensitization and soft laser. An in vitro study.

Clin Oral Implants Res 8, 249-254

Hämmerle CH, Fourmouis I, Winkler JR, Weigel C, Brägger U, Lang NP (1995) :

Successful bone fill in late periimplant defects using guided tissue regeneration. A short communication.

J Periodontol 66, 303-308

- Hämmerle CH, Jung RE, Feloutzis A (2002) :  
A systematic review of the survival of implants in bone sites augmented with barrier membranes (guided bone regeneration) in partially edentulous patients.  
J Clin Periodontol 29, Suppl 3, 226-233
- Hämmerle CH, Jung RE, Yaman D, Lanh NP (2008) :  
Ridge augmentation by applying bioresorbable membranes and deproteinized bovine bone mineral : a report of twelve consecutive cases.  
Clin Oral Implants Res 19, 19-25
- Hahn J (2000):  
Single-stage, immediate loading, and flapless surgery.  
J Oral Implantol 26, 193-198
- Hürzeler MB, Weng D, Hutmacher D (1996):  
Knochenregeneration und Implantate – eine klinische Studie mit einer neuen resorbierbaren Membran.  
Dtsch Zahnärztl Z 51, 298-303
- Hürzeler MB, Quiñones CR, Schüpbach P (1997a):  
Guided bone regeneration around dental implants in the atrophic alveolar ridge using a bioresorbable barrier. An experimental study in the monkey.  
Clin Oral Implants Res 8, 323-331
- Hürzeler MB, Quiñones CR, Schüpbach P, Morrison EC, Caffesse RG (1997b):  
Treatment of periimplantitis using guided bone regeneration and bone grafts, alone or in combination, in beagle dogs. Part 2: Histologic findings.  
Int J Oral Maxillofac Implants 12, 168-175
- Hürzeler MB, Kohal RJ, Naghshbandi J, Mota LF, Conradt J, Hutmacher D, Caffesse RG (1998):  
Evaluation of a new bioresorbable barrier to facilitate guided bone regeneration around exposed implant threads: an experimental study in the monkey.  
Int J Oral Maxillofac Surg 4, 315-320
- Hutmacher D, Hürzeler MB, Schliephake H (1996):  
A review of material properties of biodegradable and bioresorbable polymers and devices for GTR and GBR applications.  
Int J Oral Maxillofac Implants 11, 667-678
- Iglhaut G (2009):  
Die minimalinvasive Schalenteknik zur Knochenaugmentation.  
Oralchir J 3, 16-19
- Jacob G, Bengel J (2000):  
Das Konstrukt Patientenzufriedenheit: Eine kritische Bestandaufnahme.  
Z Klein Psychol Psychiatr Psychother 48, 280-301
- Jahn M, d'Hoedt B (1992):  
Zur Definition des Erfolges bei dentalen Implantaten. Ein Vergleich verschiedener Kriterien.  
Z Zahnärztl Implantol 8, 221-226
- Jensen OT, Cockrell R, Kuhike L, Reed C (2002):  
Anterior maxillary alveolar distraction osteogenesis: a prospective 5-year clinical study.  
Int J Oral Maxillofac Implants 17, 52-68

Jensen SS, Brogini N, Hjørting-Hansen E, Schenk R, Buser D (2006):  
Bone healing and graft resorption of autograft, anorganic bovine bone and beta-tricalcium phosphate.  
A histologic and histomorphometric study in the mandibles of minipigs.  
*Clin Oral Implants Res* 17, 237-243

Jeong SM, Choi BH, Li J, Xuan F (2008):  
Simultaneous flapless implant placement and peri-implant defect correction: an experimental pilot  
study in dogs.  
*J Periodontol* 79, 876-880

Jovanovic SA, Nevins M (1995):  
Bone formation utilizing titanium-reinforced barrier membranes.  
*Int J Periodontics Restorative Dent* 15, 56-69

Jovanovic SA, Spiekermann H, Richter E J (1992):  
Bone regeneration around titanium dental implants in dehiscence sites: a clinical study.  
*Int J Oral Maxillofac Implants* 7, 233-245

Jovanovic SA, Kenney EB, Carranza FA Jr, Donath K (1993):  
The regenerative potential of plaque-induced peri-implant bone defects treated by a submerged  
membrane technique: an experimental study.  
*Int J Oral Maxillofac Implants* 8, 13-18

Junqueira LC, Carneiro J, Kelley RO:  
Knochen und Knochenverbindungen; in: Histologie; hrsg. v. Gratzl M; Springer Verlag, Berlin 2002,  
92-106

Kahnberg KE, Nilsson P, Rasmusson L (1999):  
Le Fort I osteotomy with interpositional bone grafts and implants for rehabilitation of the severely  
resorbed maxilla: a 2-stage procedure.  
*Int Oral Maxillofac Implants* 14, 571-578

Karring T, Nyman S, Lindhe J (1980):  
Healing following implantation of periodontitis affected roots into bone tissue.  
*J Clin Periodontol* 7, 96-105

Keweloh M:  
Die prognostische Wertigkeit der Computertomographie bei der kaufunktionellen Rehabilitation zur  
quantitativen und qualitativen Beurteilung des augmentierten Implantatalters im Oberkiefer.  
Med. Diss. Erlangen, Nürnberg, 2000

Kostopoulos L, Karring T (1994):  
Augmentation of the rat mandible using guided tissue regeneration.  
*Clin Oral Implants Res* 5, 75-82

Kramer FJ, Schliephake H (1999):  
Gesteuerte Geweberegeneration in periimplantären Knochendefekten - eine retrospektive Analyse.  
*Dtsch Zahnärztl Z* 54; 45-47

Kraut RA, Kessler HP, Holmes RE (1989):  
Quantification of bone in dental implant sites after composite grafting of the mandible: report of a  
case.  
*Int Oral Maxillofac Implants* 4, 153-158

Krstić RV:

Die Gewebe des Menschen und der Säugetiere. Ein Atlas zum Studium für Mediziner und Biologen; 2. Auflage; Springer Verlag, Berlin 1988

Kübler NR (1997):

Osteoinduktion und -reparation.  
MundKieferGesichtsChir 1, 2-25

Kübler NR, Will C, Depprich R, Betz T, Reinhart E, Bill JS, Reuther JF (1999):

Vergleichende Untersuchungen zur Sinusbodenelevation mit autogenem oder allogenem Knochengewebe.  
Mund Kiefer Gesichtschir 3, Suppl 1, 53-60

Lazzara RJ (1989):

Immediate implant placement into extraction sites: surgical and restorative advantages.  
Int J Periodontics Restorative Dent 9, 332-343

Lekholm U, Zarb GA:

Patientenselektion und Aufklärung der Patienten; in: Gewebeintegrierter Zahnersatz; hrsg. v. Brånemark PI, Zarb GA, Albrektsson T; Quintessenz, Chicago 1985, 195-205

Lekholm U, Wannfors K, Isaksson S, Adielsson B (1999):

Oral implants in combination with bone grafts. A 3-year retrospective multicenter study using the Brånemark implant system.  
Int Oral Maxillofac Surg 28, 181-187

Lindhe J:

Klinische Parodontologie: 23 Tabellen; 1. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 1986

Lippert H:

Lehrbuch Anatomie; 5. Auflage; Urban & Fischer Verlag, München 2000

Lioubavina N, Kostopoulos L, Wenzel A, Karring T (1999):

Long-term stability of jaw bone tuberosities formed by „guided tissue regeneration“.  
Clin Oral Implants Res 10, 477-486

Lundgren AK, Sennerby L, Lundgren D (1998):

Guided jaw-bone regeneration using an experimental rabbit model.  
Int Oral Maxillofac Surg 27, 135-140

Lundgren AK, Lundgren D, Wennerberg A, Hämmerle CH, Nyman S (1999):

Influence of surface roughness of barrier walls on guided bone augmentation: experimental study in rabbits.  
Clin Implant Dent Relat Res 1, 41-48

Lundgren AK, Lundgren D, Hämmerle CH, Nyman S, Sennerby L (2000):

Influence of decortication of the donor bone on guided bone augmentation. An experimental study in the rabbit skull bone.  
Clin Oral Implants Res 11, 99-106

- Lundgren S, Rasmusson L, Sjöström M, Sennerby L (1999):  
Simultaneous or delayed placement of titanium implants in free autogenous iliac bone grafts.  
Histological analysis of the bone graft-titanium interface in 10 consecutive patients.  
Int Oral Maxillofac Surg 28, 31-37
- Lynch SE, Buser D, Hernandez RA, Weber HP, Stich H, Fox CH, Williams RC (1991):  
Effects on the platelet-derived growth factor / insulin-like growth factor-I combination on bone  
regeneration around titanium dental implants. Results of a pilot study in beagle dogs.  
J Periodontol 62, 710-716
- Machtei EE (2001):  
The effects of membrane exposure on the outcome of regenerative procedures in humans: a meta-  
analysis.  
J Periodontol 72, 512-516
- Manz MC (2000):  
Factors associated with radiographic vertical bone loss around implants placed in a clinical study.  
Ann Periodontol 5, 137-151
- Mardinger O, Nissan J, Chaushu G (2007):  
Sinus floor augmentation with simultaneous implant placement in the severely atrophic maxilla:  
technical problems and complications.  
J Periodontol 78, 1872-1877
- Marx RE, Garg AK (1998):  
Bone structure, metabolism, and physiology: its impact on dental implantology.  
Implant Dent 7, 267-276
- Mellonig JT (1992):  
Autogenous and allogenic bone grafts in periodontal therapy.  
Crit Rev Oral Biol Med 3, 333-352
- Mellonig JT, Prewett AB, Moyer MP (1992):  
HIV inactivation in a bone allograft.  
J Periodontol 63, 979-983
- Merker HJ:  
Das Knochengewebe; in: Lehrbuch der Anatomie des Menschen. Makroskopische und  
mikroskopische Anatomie unter funktionellen Gesichtspunkten; 1. Band: Allgemeine Anatomie,  
Cytologie und Bewegungsapparat; hrsg. v. Benninghoff A, Goerttler K; Urban & Schwarzenberg  
Verlag, München 1978, 149-159
- Misch CE, Dietsch (1993):  
Bone-grafting materials in implant dentistry.  
Implant Dent 2, 158-167
- Molly L, Quirynen M, Michiels K, van Steenberghe D (2006) :  
Comparison between jaw bone augmentation by means of a stiff occlusive titanium membrane or an  
autologous hip graft : a retrospective clinical assesment.  
Clin Oral Implants Res 17, 481-487

- Mombelli A, Lang NP (1994) :  
Clinical parameters for the evaluation of dental implants.  
Periodontol 2000 4, 81-86
- Montag H (1987):  
Anteriore Augmentation und Implantation. Ein Konzept zur prothetischen Versorgung des extreme atrophierten Unterkiefers.  
Z Zahnärztl Implantol 3, 152-155
- Nentwig GH (1986):  
Die Technik des Bone splitting bei alveolären Rezessionen im OK-Frontbereich.  
Quintessenz 37, 1825-1834
- Neukam FW, Schultze-Mosgau S:  
Implantate bei ausgedehnten Knochendefiziten; in: PDZ – Reihe. Implantologie; Band 13; hrsg. v. Koeck B, Wagner W; Urban & Fischer Verlag, München 2004, 184-233
- Neukam FW, Hausamen JE, Scheller H (1989a):  
Möglichkeiten und Grenzen der Implantologie beim älteren Patienten.  
Dtsch Zahnärztl Z 44, 490-492
- Neukam FW, Scheller H, Günay H (1989b):  
Experimentelle und klinische Untersuchungen zur Auflagerungsosteoplastik in Kombination mit enossalen Implantaten.  
Z Zahnärztl Implantol 5, 235-241
- Nevins M, Mellonig JT (1992):  
Enhancement of the damaged edentulous ridge to receive dental implants: a combination of allograft and the GORETEX membrane.  
Int J Periodontics Restorative Dent 12, 96-111
- Nevins M, Mellonig JT (1994):  
The advantages of localized ridge augmentation prior to implant placement: a staged event.  
Int J Periodontics Restorative Dent 14, 96-111
- Nevins M, Kirker-Head C, Nevins M, Wozney J A, Palmer R, Graham D (1996):  
Bone formation in the goat maxillary sinus induced by absorbable collagen sponge implants impregnated with recombinant human bone morphogenetic protein-2.  
Int J Periodontics Restorative Dent 16, 8-19
- Nevins M, Mellonig JT, Clem DS 3<sup>rd</sup>, Reiser GM, Buser DA (1998):  
Implants in regenerated bone: long-term survival.  
Int J Periodontics Restorative Dent 18, 34-45
- Nkenke E, Schultze-Mosgau S, Radespiel-Tröger M, Kloss F, Neukam FW (2001):  
Morbidity of harvesting of chin grafts: a prospective study.  
Clin Oral Implants Res 12, 495-502
- Nkenke E, Kloss F, Wiltfang J, Schultze-Mosgau S, Radespiel-Tröger M, Loos K, Neukam FW (2002a):  
Histomorphometric and fluorescence microscopic analysis of bone remodelling after installation of implants using and osteotome technique.  
Clin Oral Implants Res 13, 595-602

- Nkenke E, Radespiel-Tröger M, Wiltfang J, Schultze-Mosgau S, Winkler G, Neukam FW (2002b):  
Morbidity of harvesting of retromolar bone grafts: a prospective study.  
Clin Oral Implants Res 13, 514-521
- Nkenke E, Schlegel A, Schultze-Mosgau S, Neukam FW, Wiltfang J (2002c):  
The endoscopically controlled osteotome sinus floor elevation: a preliminary prospective study.  
Int J Oral Maxillofac Implants 17, 557-566
- Nocini PF, De Santis G, Bedogni A, Chiarini L (2002):  
Simultaneous bimaxillary alveolar ridge augmentation by a single free fibular transfer: a case report.  
J Craniomaxillofac Surg 30, 46-58
- Norton MR, Wilson J (2002):  
Dental implants placed in extraction sites implanted with bioactive glass: human histology and clinical outcome.  
Int J Oral Maxillofac Implants 17, 249-257
- Nowzari H, Slots J (1995):  
Microbiologic and clinical study of polytetrafluorethylene membranes for guided bone regeneration around implants.  
Int J Oral Maxillofac Implants 10; 67-73
- Nülsen M:  
Radiologische Querschnittsuntersuchung zur vertikalen Implantatlagerdimension (VILD) von Oberkiefer und Unterkiefer.  
Med. Diss. Göttingen, 1999
- Nyman S, Karring T, Lindhe J, Plantén S (1980):  
Healing following implantation of periodontitis-affected roots into gingival connective tissue.  
J Clin Periodontol 7, 394-401
- Nyman S, Lindhe J, Karring T, Rylander H (1982):  
New attachment following surgical treatment of human periodontal disease.  
J Clin Periodontol 9, 290-296
- Nyman S, Lang N P, Buser D, Brägger U (1990):  
Bone regeneration adjacent to titanium dental implants using guided tissue regeneration: a report in two cases.  
Int J Oral Maxillofac Implants 5, 9-14
- Nyström E, Kahnberg K-E, Gunne J (1993):  
Bone grafts and Brånemark implants in the treatment of the severely resorbed maxilla: a 2-year longitudinal study.  
Int J Oral Maxillofac Implants 8, 45-53
- Nyström E, Lundgren S, Gunne J, Nilson H (1997):  
Interpositional bone grafting and Le Fort I osteotomy for reconstruction of the atrophic edentulous maxilla. A two-stage technique.  
Int J Oral Maxillofac Surg 26, 423-427
- Oh TJ, Yoon J, Misch CE, Wang HL (2002):  
The causes of early implant bone loss: myth or science?  
J Periodontol 73, 322-333

- Oh TJ, Meraw SJ, Lee EJ, Giannobile WV, Wang HL (2003):  
Comparative analysis of collagen membranes for the treatment of implant dehiscence defects.  
*Clin Oral Implants Res* 14, 80-90
- Oh TJ, Shotwell J, Billy E, Byun HY, Wang HL (2007):  
Flapless implant surgery in the esthetic region: advantages and precautions.  
*Int J Periodontics Restorative Dent* 27, 27-33
- Orsini G, Bianchi AE, Vinci R, Piatelli A (2003):  
Histologic evaluation of autogenous calvarial bone in maxillary onlay bone grafts: a report of 2 cases.  
*Int J Oral Maxillofac Implants* 18, 594-598
- Pelo S, Boniello R, Gasparini G, Longobardi G, Amoroso PF (2007):  
Horizontal and vertical ridge augmentation for implant placement in the aesthetic zone.  
*Int J Oral Maxillofac Surg* 36, 944-948
- Pilling E, Mai R, Theissig F, Stadlinger B, Loukota R, Eckelt U (2007a):  
An experimental in vivo analysis of the resorption to ultrasound activated pins (Sonic weld) and  
standard biodegradable screws (ResorbX) in sheep.  
*Br J Oral Maxillofac Surg* 45, 447-450
- Pilling E, Meissner H, Jung R, Koch R, Loukota R, Mai R, Reitemeier B, Richter G, Stadlinger B,  
Stelnicki E (2007b):  
An experimental study of the biomechanical stability of ultrasound-activated pinned (SonicWeld Rx +  
Resorb-X) and screwed fixed (ResorbX) resorbable materials for osteosynthesis in the treatment of  
simulated craniosynostosis in sheep.  
*Br J Oral Maxillofac Surg* 45, 451-456
- Pontoriero R, Tonelli MP, Carbevale G, Mombelli A, Nyman SR, Lang NP (1994) :  
Experimentally induced periimplant mucositis. A clinical study in humans.  
*Clin Oral Implants Res* 5, 254-259
- Rachmiel A, Srouji S, Peled M (2001):  
Alveolar ridge augmentation by distraction osteogenesis.  
*Int J Oral Maxillofac Surg* 30, 510-517
- Raghoobar GM, Timmenga NM, Reintsema H, Stegenga B, Vissink A (2001):  
Maxillary bone grafting for insertion of endosseous implants: results after 12-124 months.  
*Clin Oral Impl Res* 12, 279-286
- Reinert S, König S, Eufinger H, Bremerich A (1999):  
Verlaufskontrollen der dreidimensionalen Rekonstruktion des extreme atrophierten Oberkiefers on  
Kombination mit Implantaten.  
*Mund Kiefer Gesichtschir* 3, Suppl 1, 30-34
- Renvert S, Roos-Jansåker AM, Claffey N (2008):  
Non-surgical treatment of peri-implant mucositis and peri-implantitis: a literature review.  
*J Clin Periodontol* 35, Suppl 8, 305-315
- Ripamonti U (1993):  
Delivery systems for bone morphogenetic proteins. A summary of experimental studies in primate  
models.  
*Ann Chir Gynaecol Suppl* 207, 13-24



- Rocci A, Martignoni M, Gottlow J (2003):  
Immediate loading of in the maxilla using flapless surgery, implants placed in predetermined positions and prefabricated provisional restorations: a retrospective 3-year clinical study.  
*Clin Implant Dent Relat Res* 5, Suppl 1, 29-36
- Roos-Jansåker AM, Renvert S, Egelberg J (2003):  
Treatment of periimplant infections: a literature review.  
*J Clin Periodontol* 30, 467-485
- Rosen PS, Summers R, Mellado JR, Salkin LM, Shanaman RH, Marks MH, Fugazzotto PA (1999):  
The bone-added osteotome sinus floor elevation technique: multicenter retrospective report of consecutively treated patients.  
*Int J Oral Maxillofac Implants* 14, 853-858
- Schenk RK:  
Bone regeneration: Biologic basis; in: Guided bone regeneration in implant dentistry; hrsg. v. Buser D, Dahlin C, Schenk RK; Quintessence Publishing Co, Chicago 1994, 49-100
- Schenk RK, Willenegger H (1977):  
Zur Histologie der primären Knochenheilung. Modifikationen und Grenzen der Spaltheilung in Abhängigkeit von der Defektgröße.  
*Unfallheilkunde* 80, 155-160
- Schenk RK, Buser D, Hardwick WR, Dahlin C (1994):  
Healing pattern of bone regeneration in membrane-protected defects: a histologic study in the canine mandible.  
*Int J Oral Maxillofac Implants* 9, 13-29
- Schiebler TH, Schmidt W:  
*Anatomie*; 5. Auflage; Springer Verlag, Berlin 1991
- Schlegel KA, Zimmermann R, Thorwarth M, Neukam FW, Klongnoi B, Nkenke E, Felszeghy E (2007):  
Sinus floor elevation using autogenous bone or bone substitute combined with platelet-rich plasma.  
*Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104, 15-25
- Schliephake H, Neukam FW (1991):  
Bone replacement with porous hydroxyapatite blocks and titanium screw implants.  
*J Oral Maxillofac Surg* 49, 151-156
- Schliephake H, Kracht D (1997):  
Vertical ridge augmentation using polyactic membranes in conjunction with immediate implants in periodontally compromised extraction sites: an experimental study in dogs.  
*Int J Oral Maxillofac Implants* 12, 325-334
- Schliephake H, Berding G (1998):  
Evaluation of bone healing in patients with bone grafts and endosseous implants using single photon emission tomography (SPECT).  
*Clin Oral Implants Res* 9, 34-42
- Schliephake H, Neukam FW, Hutmacher D, Becker J (1994) :  
Enhancement of bone ingrowth into a HA-matrix using a resorbable polyactic membrane.  
*J Oral Maxillofac Surg* 52, 57-63

Schliephake H, Neukam FW, Hutmacher D, Wüstenfeld H (1995):  
Experimental transplantation of HA-bone composite grafts.  
J Oral Maxillofac Surg 53, 46-52

Schliephake H, Neukam FW, Wichmann M (1997):  
Survival analysis of endosseous implants in bone grafts used for the treatment of severe alveolar ridge atrophy.  
J Oral Maxillofac Surg 55; 1227-1233

Schroeder HE:  
Orale Strukturbiologie; 4. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 1992

Schüpbach P, Hürzeler MB, Grunder U (1994):  
Implant-tissue interfaces following treatment of periimplantitis using guided tissue regeneration: a light and electron microscopic study.  
Clin Oral Implants Res 5, 55-65

Schulte W (1986):  
Der Periotest – Parodontalstatus.  
Zahnärztl Mitt 76, 1409-1414

Schulte W, Lukas D (1993):  
Periotest to monitor osseointegration and to check the occlusion in oral implantology.  
J Oral Implantol 19, 23-32

Schultze-Mosgau S, Schliephake H, Radespiel-Tröger M, Neukam FW (2000):  
Osseointegration of endodontic endosseous cones: zirconium oxide vs titanium.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 89, 91-98

Schultze-Mosgau S, Keweloh M, Wiltfang J, Kessler P, Neukam FW (2001):  
Histomorphometric and densitometric changes in bone volume and structure after avascular bone grafting in the extremely atrophic maxilla.  
Br J Oral Maxillofac Surg 39, 439-447

Seibert J, Nyman S (1990):  
Localized ridge augmentation in dogs: a pilot study using membranes and hydroxyapatite.  
J Periodontol 61, 157-165

Selvig KA, Nilveus RE, Fitzmorris L, Kersten B, Khorsandi SS (1990):  
Scanning electron microscopic observations of cell population and bacterial contamination of membranes used for guided periodontal tissue regeneration in humans.  
J Periodontol 61, 515-520

Shanaman RH (1994):  
A retrospective study of 237 sites treated consecutively with guided tissue regeneration.  
Int J Periodontics Restorative Dent 14, 292-301

Sigurdsson TJ, Nguyen S, Wikesjö UM (2001):  
Alveolar ridge augmentation with rhBMP-2 and bone-to-implant contact in induced bone.  
Int J Periodontics Restorative Dent 21, 461-473

- Simion M, Trisi P, Piattelli A (1994):  
Vertical ridge augmentation using a membrane technique associated with osseointegrated implants.  
*Int J Periodontics Restorative Dent* 14, 496-511
- Simion M, Jovanovic SA, Trisi P, Scarano A, Piattelli A (1998):  
Vertical ridge augmentation around dental implants using a membrane technique and autogenous bone or allografts in humans.  
*Int J Periodontics Restorative Dent* 18, 8-23
- Simion M, Jovanovic SA, Tinti C, Befenati SP (2001):  
Long-term evaluation of osseointegrated implants inserted at the time or after vertical ridge augmentation. A retrospective study on 123 implants with 1-5 year follow-up.  
*Clin Oral Implants Res* 12, 35-45
- Simion M, Fontana F, Rasperini G, Maiorana C (2004):  
Long-term evaluation of osseointegrated implants placed in sites augmented with sinus floor elevation associated with vertical ridge augmentation: a retrospective study of 38 consecutive implants with 1- to 7-year follow-up.  
*Int J Periodontics Restorative Dent* 24, 208-221
- Simion M, Dahlin C, Rocchietta I, Stavropoulos A, Sanchez R, Karring T (2007a):  
Vertical ridge augmentation with guided bone regeneration in association with dental implants: an experimental study in dogs.  
*Clin Oral Implants Res* 18, 86-94
- Simion M, Fontana F, Rasperini G, Maiorana C (2007b):  
Vertical ridge augmentation by expanded-polytetrafluoroethylene membrane and a combination of intraoral autogenous bone graft and deproteinized anorganic bovine bone (BioOss).  
*Clin Oral Implants Res* 18, 620-629
- Slotte C, Lundgren D (2002):  
Impact of cortical perforations of contiguous donor bone in a guided bone augmentation procedure: An experimental study in the rabbit skull.  
*Clin Implants Dent Relat Res* 4, 1-10
- Snauwaert K, Duyck J, van Steenberghe D, Quirynen M, Naert I (2000):  
Time dependent failure rate and marginal bone loss of implant supported prostheses: a 15-year follow-up study.  
*Clin Oral Investig* 4, 13-20
- Spiekermann H:  
Implantologie; in: *Farbatlant der Zahnmedizin*; Band 10; hrsg. v. Rateitschak KH; Thieme Verlag, Stuttgart 1994, 2-10, 317-328
- Stavropoulos A, Kostopoulos L, Nyengaard JR, Karring T (2004):  
Fate of bone formed by guided tissue regeneration with or without grafting of Bio-Oss or Biogran. An experimental study in rat.  
*J Clin Periodontol* 31, 30-39
- Stoelinga PJ, Slagter AP, Brouns JJ (2000):  
Rehabilitation of patients with severe (class VI) maxillary resorption using Le Fort I osteotomy, interposed bone grafts and endosteal implants: 1-8 years follow-up on a two-stage procedure.  
*Int J Oral Maxillofac Surg* 29, 188-193

Strietzel FP (1996):

Klinische Erfahrungen mit der Anwendung von ePTFE-Membranen bei ungünstigen anatomischen Ausgangsbedingungen.

Z Zahnärztl Implantol 12; 194-200

Strietzel FP (2001):

Risiken und Komplikationen der membrangesteuerten Knochenregeneration. Retrospektive Analyse.

MundKieferGesichtsChir 5; 28-32

Summers RB (1996):

Conservative osteotomy technique with simultaneous implant insertion.

Dent Implantol Update 7, 49-53

Tawil G, Mawla M (2001):

Sinus floor elevation using a bovine bone mineral (Bio-Oss) with or without the concomitant use of a bilayered collagen barrier (Bio-Gide): a clinical report of immediate and delayed implant placement.

Int J Oral Maxillofac Implants 16, 713-721

Taylor JC, Cuff SE, Leger JP, Morra A, Andersson GI (2002):

In vitro osteoclast resorption of bone substitute biomaterials used for implant site augmentation: a pilot study.

Int J Oral Maxillofac Implants 17, 321-330

ten Bruggenkate CM, Kraaijenhagen HA, van der Kwast WA, Krekeler G, Oosterbeek HS (1992):

Auogenous maxillary bone grafts in conjunction with placement of I.T.I. endosseous implants. A preliminary report.

Int J Oral Maxillofac Surg 21, 81-84

Terheyden H, Jepsen S, Möller B, Tucker MM, Rueger DC (1999a):

Sinus floor augmentation with simultaneous placement of dental implants using a combination of deproteinized bone xenografts and recombinant human osteogenic protein-1. A histometric study in miniature pigs.

Clin Oral Implants Res 10, 510-521

Terheyden H, Jepsen S, Rueger DR (1999b):

Mandibular reconstruction in miniature pigs with prefabricated vascularized bone grafts using recombinant human osteogenic protein-1: a preliminary study.

Int J Oral Maxillofac Surg 28, 461-463

Tinti C, Parma-Benfenati S, Polizzi G (1996):

Vertical ridge augmentation: what is the limit?

Int J Periodontics Restorative Dent 16, 220-229

Torricelli P, Verné E, Brovarone CV, Appendino P, Rustichelli F, Krajewski A, Ravaglioli A, Pierini G, Fini M, Giaveresi G (2001):

Biological glass coating on ceramic materials: in vitro evaluation using primary osteoblast cultures from healthy and osteopenic rat bone.

Biomaterials 22, 2535-2543

Urist MR, Dowell TA, Hay PH, Strates BS (1968):

Inductive substrates for bone formation.

Clin Orthop 59, 59-96

Urist MR, DeLange RJ, Fineman GA (1983):  
Bone cell differentiation and growth factors.  
Science 220, 680-686

van Steenberghe D, Johansson C, Quirynen M, Molly L, Albrektsson T, Naert I (2003):  
Bone augmentation by means of a stiff occlusive titanium barrier: A study in rabbits and humans.  
Clin Oral Implants Res 14, 63-71

von Arx T, Kurt B (1999):  
Implant placement and simultaneous ridge augmentation using autogenous bone and micro titanium mesh: a prospective clinical study with 20 implants.  
Clin Oral Implants Res 10, 24-33

von Arx T, Buser D (2006):  
Horizontal ridge augmentation using autogenous block grafts and the guided bone regeneration technique with collagen membranes: a clinical study with 42 patients.  
Clin Oral Implants Res 17, 359-366

von Arx T, Walkamm B, Hardt N (1998):  
Localized ridge augmentation using a micro titanium mesh: a report on 27 implants followed from 1 to 3 years after functional loading.  
Clin Oral Implants Res 9, 123-130

Wachtel HC, Langford A, Bernimoulin JP, Reichart P (1991):  
Guided bone regeneration next to osseointegrated implants in humans.  
Int J Oral Maxillofac Implants 6, 127-135

Wallace SS, Froum SJ (2003):  
Effect of maxillary sinus augmentation on the survival of endosseous dental implants. A systemic review.  
Ann Periodontol 8, 328-343

Wang HL, Carroll WJ (2001):  
Guided bone regeneration using bone grafts and collagen membranes.  
Quintessence Int 32, 504-515

Weng D, Hürzeler MB, Quiñones CR, Ohlms A, Caffesse RG (2000):  
Contribution of the periosteum to bone formation in guided bone regeneration. A study in monkeys.  
Clin Oral Implants Res 11, 546-554

Wenz B, Koch J (2004):  
Natürliches Knochenmineral ist umfassend dokumentiert. Medline-Recherche zu Knochenersatzmaterialien.  
J Dent Implantol 8, 6-12

Wetzel G:  
Lehrbuch der Anatomie für Zahnärzte und Studierende der Zahnheilkunde; 6. Auflage; Gustav Fischer Verlag, Jena 1951

Whitson SW:  
Bone; in: Oral Histology: Development, Structure and Function; hrsg. v. Ten Cate AR; Mosby Verlag, St. Louis 1998, 104-127

- Wiltfang J, Schultze-Mosgau S, Merten HA, Kessler P, Ludwig A, Engelke W (2000):  
Endoscopic and ultrasonographic evaluation of the maxillary sinus after combined sinus floor augmentation and implant insertion.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 89, 288-291
- Wiltfang J, Schlegel KA, Schultze-Mosgau S, Nkenke E, Zimmermann R, Kessler P (2003):  
Sinus floor augmentation with beta-tricalciumphosphate (beta-TCP): does platelet-rich plasma promote its osseous integration and degradation?  
Clin Oral Implants Res 14, 213-218
- Wiltfang J, Schultze-Mosgau S, Nkenke E, Thorwarth M, Neukam FW, Schlegel KA (2005):  
Onlay augmentation versus sinuslift procedure in the treatment of the severely resorbed maxilla: a 5-year comparative longitudinal study.  
Int J Oral Maxillofac Surg 34, 885-889
- Yamada Y, Nanba K, Ito K (2003):  
Effects of occlusiveness of a titanium cap on bone regeneration beyond the skeletal envelop in the rabbit calvarium.  
Clin Oral Implants Res 14, 63-71
- Zitzmann NU, Naef R, Schärer P (1997):  
Resorbable versus nonresorbable membranes in combination with Bio-Oss for guided bone regeneration.  
Int J Oral Maxillofac Implants 12, 844-852
- Zitzmann NU, Schärer P, Marinello CP (1999):  
Factors influencing the success of GBR. Smoking, timing of implant placement, implant location, bone quality and provisional restoration.  
J Clin Periodontol 26, 673-682
- Zitzmann NU, Schärer P, Marinello CP (2001):  
Long-term results of implants treated with guided bone regeneration: a 5-year prospective study.  
Int J Oral Maxillofac Implants 16, 355-36

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Wilfried Engelke für die freundliche Überlassung des Themas, seine Unterstützung bei der klinischen Untersuchung sowie weitere Betreuung bei der Durchführung und Fertigstellung dieser Arbeit.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Hilgers aus der Abteilung Medizinische Statistik der Universität Göttingen für seine hilfreiche und umfassende Beratung bei der statistischen Auslegung der Arbeit.

Des Weiteren danke ich den Mitarbeiterinnen der Poliklinik der Abteilung Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde für die organisatorische Hilfe bei der Durchführung der klinischen Untersuchung.

Am 05. November 1979 wurde ich als älteste Tochter der Eheleute Ludwig Wyszkowski (Jurist) und Grazyna Wyszkowski, geb. Malinowski (Zahnärztin), in Danzig geboren. Meine Schwester, Caroline Wyszkowski, wurde 1981 geboren.

Von 1986 bis 1989 besuchte ich die Grundschule in Danzig, zwischen 1990 und 1991 die Grundschule in Salzgitter-Flachstökheim, anschließend die Orientierungsstufe Wiesenschule in Salzgitter-Bad (1991-1993).

1993 wurde ich im Gymnasium Salzgitter-Bad aufgenommen und erlangte meine allgemeine Hochschulreife am 27. Juni 2000.

Im Sommersemester 2001 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Georg-August-Universität in Göttingen.

Am 20. Februar 2002 legte ich die naturwissenschaftliche und am 16. September 2003 die zahnärztliche Vorprüfung ab.

Mit dem zahnärztlichen Staatsexamen am 20. Juni 2006 beendete ich das Studium der Zahnheilkunde nach 11. Semestern und erhielt meine Approbation als Zahnärztin am 27. Juni 2006.

Zwischen 01. Februar 2007 und 31. Januar 2009 habe ich die zahnärztliche Tätigkeit als Ausbildungsassistentin in der Zahnarztpraxis Kurt Steinberg in Einbeck ausgeübt.

Seit 01. Februar 2009 bin ich als angestellte Zahnärztin in der Zahnarztpraxis Jürgen Höfermann und Antje Schönbach in Göttingen (Festanstellung ab 01.04.2009) beschäftigt.