

Aus der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie  
der Ludwig – Maximilians – Universität München

Direktor: Prof. Dr. Dr. M. Ehrenfeld

---

**Einflussfaktoren auf den periimplantären Knochenabbau von ITI  
Implantaten in augmentierten Kieferhöhlen**  
-Eine retrospektive 7-Jahres Studie-

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt  
von  
Christian Gradl  
aus  
Tirschenreuth  
2009

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München**

**Berichterstatter: Prof. Dr. Dr. M. Ehrenfeld**

**Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. Uli Harréus**

**Mitbetreuung durch den  
Promovierten Mitarbeiter: Dr. S. Hafner**

**Dekan: Prof. Dr. med Dr. h.c. M. Reiser, FACR,  
FRCR**

**Tag der mündlichen Prüfung: 20.07.2009**

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	3
1.1. Einleitung	3
1.2. Augmentative Verfahren zur Verbesserung des Implantatlagers	4
1.3. Knochenaugmentationsmaterialien	6
1.4. Anatomie und Physiologie der Kieferhöhle	8
1.5. Problematik der Kieferhöhlenaugmentation	10
<b>2. Literaturübersicht</b>	15
<b>3. Material und Methoden</b>	19
3.1. Patientenkollektiv und Implantatsystem	19
3.2. Augmentationsmaterial	22
3.3. Präoperative Diagnostik	23
3.4. Chirurgisches Vorgehen	24
3.5. Postoperatives Vorgehen	31
3.6. Nachuntersuchung	32
<b>4. Statistik</b>	36
<b>5. Ergebnisse</b>	37
5.1. Überlebensrate der inserierten Implantate	37
5.2. Periimplantärer Knochenverlust	37
5.3. Periimplantärer Knochenverlust und Funktionsphase	39
5.4. Periimplantärer Knochenverlust und Restknochenhöhe	41
5.5. Periimplantärer Knochenverlust und Implantatlänge	43
5.6. Periimplantärer Knochenverlust und Insertionstiefe	44
5.7. Knochenabbau und Hygienefaktoren	46
<b>6. Diskussion</b>	48
6.1. Diskussion der Ergebnisse	48

6.1.1. Knochenabbau an Implantaten	48
6.1.2. Knochenabbau und Restknochenhöhe	52
6.1.3. Verhältnis Knochenabbau und Insertionstiefe der Implantate	56
6.1.4. Knochenabbau und Hygienefaktoren	59
6.1.5. Langzeiterfolge der Implantation	64
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>66</b>
<b>8. Literaturverzeichnis</b>	<b>69</b>
<b>9. Anhang</b>	<b>85</b>
<b>10. Danksagung</b>	<b>86</b>
<b>11. Lebenslauf</b>	<b>87</b>

## **1. Einleitung**

### 1.1. Einleitung

Nach Ansicht der Weltgesundheitsorganisation (WHO) soll die Medizin grundsätzlich die Dauer und die Qualität des Lebens steigern. Auf die Zahnmedizin bezogen bedeutet dieser Vorsatz, dem Patienten bis ins hohe Alter seine Kaufunktion zu erhalten. Der Wunsch der Patienten nach einem festsitzendem Zahnersatz, der ein Optimum an Kaukomfort, sozialer Integrität und damit auch Lebensqualität ermöglicht, ist in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegen. Speziell unter diesem Gesichtspunkt hat die dentale Implantologie in den letzten 30 Jahren die Zahnheilkunde revolutioniert.

In den Anfängen beschränkte sich eine Implantation zumeist auf den zahnlosen Kiefer, um dort mit Hilfe von zwei bis vier inserierten Implantaten Prothesen lagestabil verankern zu können. Später wurden auch teilbezahnte Patienten mit implantatgetragenen Kronen- und Brückenversorgungen therapiert, um auch hier dem Wunsch nach mehr Kaukomfort gerecht zu werden. Um diese Art der Versorgungen zu verwirklichen, stellte zunächst ein primär ausreichend dimensionierter Alveolarfortsatz die wichtigste Voraussetzung dar.

Heute ist die Implantologie zu einer allgemein akzeptierten und probaten Therapievariante bei Zahnverlust herangewachsen. Aufgrund ihrer guten Langzeitergebnisse und der guten Vorhersagbarkeit des Behandlungsergebnisses hat die dentale Implantologie neben den Kliniken in immer mehr zahnärztlichen Praxen Einzug gehalten. Durch kontinuierliche wissenschaftliche Weiterentwicklung entstehen für die Patienten neuartige und komfortable Versorgungsmöglichkeiten. Vor allem auch die Patienten, die früher noch nicht mit Implantaten versorgt werden konnten, wie zum Beispiel Patienten mit reduziertem Knochenangebot, können heute durch neue Therapieansätze wieder mit festsitzendem Zahnersatz versorgt werden. Dennoch ist es immer noch von entscheidender Bedeutung ein ausreichendes Knochenlager für eine Implantation zur Verfügung zu haben.

Besonders im Oberkiefer stellt ein zu geringes Knochenangebot die häufigste Limitation für eine Implantation im Seitenzahnggebiet dar.

Durch den Verlust der Bezahnung und die dadurch hervorgerufene Reduktion der auf den Knochen wirkenden funktionellen Kräfte wird der Alveolarkamm einer ständig fortschreitenden Resorption unterworfen. Als zusätzliche Faktoren, die eine Knochenresorption im Oberkiefer begünstigen, werden parodontale Erkrankungen, eine Zunahme der Pneumatisation der Kieferhöhle im Alter sowie das Tragen von schleimhautgetragenen Zahnersatz, beziehungsweise eine Kombination dieser Ereignisse, genannt. Hieraus resultiert ein zum Teil beachtlicher irreversibler vertikaler wie auch horizontaler Knochenverlust, oftmals begleitet von einer stetigen Expansion der Kieferhöhle. Aufgrund dieser Faktoren wird das für Zahnimplantate nötige Knochenvolumen zunehmend geringer. Wegen dieser im Oberkiefer oft schwierigen Knochenverhältnisse entwickelten die Implantathersteller in letzter Zeit immer neue Implantatdesigns und Implantatoberflächen, die auch bei geringen Restknochenhöhen eingesetzt werden können. So wurden die Implantatlängen auf bis zu sechs bis acht Millimeter reduziert, oftmals gefolgt von einer Durchmessererweiterung, um durch eine Oberflächenvergrößerung eine bessere Primärstabilität der Implantate zu erreichen. Mittlerweile konnte jedoch in mehreren wissenschaftlichen Studien belegt werden, dass die Implantatlänge wesentlich zum Langzeiterfolg beiträgt (Bahat et al. 2000, Winkler et al. 2000, Schliephage et al. 1996). So konnte Winkler et al. (2000) in einer Studie zeigen, dass die Gefahr eines Implantatverlustes signifikant ansteigt, je geringer die Implantatlänge ist. Es wurden in dieser Studie Überlebenswahrscheinlichkeiten von 66,7% für 7mm lange Implantate und bis zu 96,4% für 16mm lange Implantate errechnet. Demnach ist es bei einem atrophierten Oberkiefer von größter Bedeutung ein ausreichendes Knochenlager für eine Implantation zu schaffen, um Implantate mit größeren Längen stabil verankern zu können.

## 1.2. Augmentative Verfahren zur Verbesserung des Implantatlagers

Für eine Vergrößerung des periimplantären Knochenangebots stehen mehrere Verfahren zur Verfügung. Die direkte Kieferkammerhöhung durch Auflagerungsosteoplastiken, die Distractionsosteogenese, die krestale

---

Knochenspaltung und –spreizung (Bone-Splitting), die gesteuerte Geweberegeneration und die Sinusbodenaugmentation.

Alle Therapieverfahren zur Knochenaugmentation haben eine Neubildung von körpereigenem Knochen gemeinsam. Dabei sind im Wesentlichen drei zellbiologische Mechanismen von Bedeutung:

1. Osteogenese: Knochenneubildung durch die Verpflanzung von vitalen körpereigenen knochenbildenden Zellen oder durch Distractionsosteogenese
2. Osteoinduktion: Durch den Einfluss von Knochenmatrixproteinen, so genannten BMPs (bone morphogenetic proteins), kommt es hier auch ohne Verpflanzung von körpereigenen Knochenzellen zur Knochenneubildung. Dabei differenzieren unter dem Einfluss solcher Proteine pluripotente mesenchymale Zellen zu knochenbildenden Osteoblasten.
3. Osteokonduktion: Darunter wird die Implantation einer porösen Leitstruktur verstanden, in die dann das umliegende Knochengewebe einwachsen kann.

Drei Verfahren haben sich aufgrund ihrer guten Langzeitergebnisse und durch den relativ geringen chirurgischen Aufwand für den Oberkieferseitenzahnbereich in der Praxis durchgesetzt:

Zum einen die von Tatum erstmals während einer Konferenz in Alabama im Jahre 1977 beschriebene Sinusbodenaugmentation, welche dann von Boyne und James 1980 durch einen lateralen Zugang zur Kieferhöhle modifiziert und publiziert wurde, und zum anderen der später von Summers (1994) beschriebene „mini – Sinuslift“. Speziell die operative Technik nach Tatum, und hier insbesondere die Lage und Form des lateralen Kieferhöhlenfensters, wurde über die Jahre immer wieder leicht abgeändert (Simler und Holmes 1987, Wood und Moore 1988, Kent und Block 1989). Beiden Verfahren sind das Anheben der Kieferhöhlenschleimhaut gemeinsam. Dabei wird die Kieferhöhlenschleimhaut von ihrer knöchernen Unterlage abpräpariert und in eine weiter antral liegende Position mobilisiert. Auf die Unversehrtheit der Schleimhaut ist dabei größte Sorgfalt zu legen. Das so geschaffene Lumen kann anschließend mit Knochen oder Biomaterialien aufgefüllt werden.

Als drittes Verfahren wird die Auflagerungsplastik auf den höhenreduzierten Alveolarkamm in der Literatur beschrieben.

### 1.3 Knochenaugmentationsmaterialien

Zur Vergrößerung des periimplantären Knochenangebotes werden in der Literatur und in der Praxis Materialien unterschiedlichen Ursprungs beschrieben und verwendet. (Vgl. Tab. 1)

<b>Terminus</b>	<b>Definition</b>
autogenes Knochentransplantat	Transplantation innerhalb desselben Individuums
allogenes Knochentransplantat	Transplantation zwischen Individuen derselben Spezies
xenogenes Knochentransplantat	Verpflanzung zwischen Individuen verschiedener Spezies
alloplastisches Knochenersatzmaterial	vollsynthetisch hergestelltes biokompatibles Knochenersatzmaterial

**Tabelle 1** Knochentransplantate und Knochenersatzmaterialien

Hinsichtlich der Vitalität kann weiter zwischen Knochentransplantaten und Knochenimplantaten unterschieden werden. Transplantate bezeichnen die Verpflanzung von vitalem Knochengewebe, wohingegen bei Knochenimplantaten avitale Materialien organischen oder synthetischen Ursprungs verpflanzt werden.

Für viele Autoren stellt der eigene autogene Knochen immer noch den Goldstandard zur Knochenaugmentation dar. Er erfährt ohne immunologische Komplikationen nach der Transplantation ein Remodelling (funktioneller Umbau) und enthält zudem alle für einen Knochenumbau wichtige Faktoren wie Osteoblasten, Osteoprogenitorzellen und knochenbildende Proteine (Artzi et al. 2005, Hess et al. 2004, Raghoobar et al. 2000, Krekeler 1998, Haas et al. 1998). Der Anteil vitaler Knochenzellen ist nicht nur von der Entnahmestelle, sondern darüber hinaus von der Entnahmetechnik, der Zwischenlagerung und der jeweiligen individuellen Qualität des Spendergewebes



abhängig. Eigenknochen ist nur in begrenzten Mengen als Augmentationsmaterial vorhanden. Nicht selten wird zur Gewinnung von Knochen ein simultaner Zweiteingriff notwendig, der dem Patienten teilweise größere postoperative Beschwerden verursacht als die Knocheneinlagerung selbst. Als Spenderregionen zur Knochenentnahme stehen intraorale und extraorale Gebiete zur Verfügung. Extraoral ist die wichtigste Spenderregion die Crista iliaca, andere Entnahmeregionen sind die Fibula, der Tibeakopf oder die Schädelkalotte (tabula externa). Intraoral steht im Unterkiefer die Retromolarregion und die Mentalregion, im Oberkiefer der Tuberbereich zur Verfügung. Zusätzlich dazu können in beiden Kieferabschnitten kortikale Knochenspäne aus dem unmittelbaren Operationsgebiet mit Hilfe spezieller Knochenschaber gewonnen werden. Als weitere Möglichkeit der Knochengewinnung können die während der Implantatbettauflbereitung entstehenden Bohrspäne mit so genannten Bonekollektoren aufgefangen werden.

Bei der Transplantation von vitalem Knochen kommt es während der Einheilung zunächst zu einem Knochenabbau durch Makrophagen und Osteoklasten. Einsprossende Gefäße, mesenchymale Zellen und Osteoblasten besiedeln später die ehemaligen Knochenmarkräume. Dieser schleichende Ersatz durch vitales, ortständiges Knochengewebe erstreckt sich in Abhängigkeit von der Transplantatgröße, der Art des transplantierten Knochens sowie von der Qualität des Transplantatlagers über unterschiedlich lange Zeiträume (Wochen bis Monate) (Hahn und Kübler 2006).

Das größte Problem der autogenen Knochentransplantation besteht in der sekundären Resorption des transplantierten Knochens. Durch den kompletten Umbau des Transplantats in ortständigen Knochen ist dieser zudem funktionellen Umbauprozessen im Rahmen des Remodelling unterworfen. Diese Resorption, die in der Implantologie oftmals zu funktionellen oder ästhetischen Problemen führt, kann durch eine Beimengung von eingeschränkt resorbierbarem Fremdmaterial verringert werden (Lee et al. 2006, Maiorana et al. 2005, Hallman et al. 2002a, Maiorana et al. 2000). Aus diesem Grund und nicht zuletzt wegen ihrer großen Verfügbarkeit gewinnen synthetisch oder organisch hergestellte Fremdmaterialien zur Knochenaugmentation immer mehr Verwendung und Bestätigung in der Literatur (Arzi et al. 2005, Maiorana et al. 2005, John et al. 2004, Wallace et al. 2003, Hallmann et al. 2002b, Hallmann et al. 2002a). Sie können als alleiniges Augmentationsmaterial oder als Gemisch mit Eigenknochen eingesetzt werden.

Alle z.Z. in Deutschland zugelassenen Stoffgruppen von Fremdmaterialien, die zur Knochenaugmentation herangezogen werden, haben osteokonduktive Wirkung (Anbensur & Valentini 1999). Dabei geht die Knochenneubildung, und damit die knöcherne Durchbauung des Augmentats, immer von der Oberfläche des Empfängerlagers aus. Um die Durchbauung mit ortständigem Knochen zu verbessern und zu beschleunigen ist es bei der Verwendung von allen osteokonduktiven Materialien sinnvoll, die Kompakta des Empfängerlagers zu perforieren (de Carvalho et al. 2000). Durch diesen Vorgang werden eine bestmögliche Durchblutung des Augmentats sowie die Möglichkeit zur Proliferation und Immigration von knochenbildenden Zellen aus dem Empfängerlager in das Augmentat angestrebt.

Um die positiven Eigenschaften von vitalem Knochengewebe und Knochensubstituten zu kombinieren werden in der Literatur immer häufiger Gemische aus beiden Materialien dem reinen Eigenknochen vorgezogen (Lee et al. 2006, Maiorana et al. 2005, Hatano et al. 2004, Yerit et al. 2004, Brägger et al. 2004, Hallman et al. 2002a, Maiorana et al. 2000). Dadurch können die osteoinduktiven Eigenschaften des autogenen Knochens mit der Resorptionsstabilität und der einfachen Verfügbarkeit der Knochensubstitute kombiniert werden.

#### 1.4 Anatomie und Physiologie der Kieferhöhle

Die Kieferhöhle zählt zu den Nasennebenhöhlen. Topographisch ist die Kieferhöhle eine Aussackung der Nasenhöhle in das Os maxillare und steht mit den posterioren Oberkieferzähnen in enger Beziehung. Sie wurde erstmals von Highmore beschrieben und ist auch in frühen Zeichnungen von Leonardo Da Vinci abgebildet. Die Kieferhöhle ist die größte aller Nasennebenhöhlen. Sie ist luftgefüllt und wird von einem respiratorischen Flimmerepithel ausgekleidet.

Entwicklungsgeschichtlich entsteht die Kieferhöhle aus der Infundibulumfurche, die sich im 2. Fetalmonat bildet. Die von hier ausgehenden Epithelaussprossungen bilden dann die Stirn- und Kieferhöhlen. Beim Neugeborenen ist die Kieferhöhle etwa 4mm hoch, 10mm tief und 4mm breit und besitzt einen ovalen Querschnitt (Schumacher 1997).

Bis etwa zum 7. Lebensjahr vergrößert sich die Kieferhöhle allseitig und erreicht etwa die Größe der unteren Nasenmuschel. Mit dem Einsetzen der Pubertät beginnt ein beschleunigtes Wachstum, das etwa mit dem 18. Lebensjahr endet.

Die Form der Kieferhöhle beim Erwachsenen ist sehr variabel. In der Regel sind die Kieferhöhlen beider Seiten asymmetrisch ausgebildet.

Der Rauminhalt der Kieferhöhle beim Erwachsenen schwankt sehr stark. Im Mittel beträgt er etwa  $15 \text{ cm}^3$  bei Höhen von 19 – 39 mm, Breiten von 22 – 28 mm und Längen/Tiefen von 21 – 34 mm.

Nach abgeschlossenem Wachstum beeinflusst vor allem die Höhe des intrasinusalen Drucks, der als Folge der relativ kleinen Öffnung zur Nasenhöhle (Ostium naturale) entsteht, sowie die physiologische Funktion der respiratorischen Schleimhaut die endgültige Ausdehnung der Kieferhöhle (Chanavaz 1990).

Bei Leistungssportlern oder Blasinstrumentenspielern, die aufgrund ihrer Tätigkeit über einen langen Zeitraum einen erhöhten Druck in der Kieferhöhle aufbauen, sind diese oftmals überdurchschnittlich groß ausgebildet.

Der Kieferhöhlenboden bildet eine leichte Mulde, deren tiefste Stelle etwa in der Region der ersten Molaren liegt. Die Zahnwurzeln des zweiten Prämolaren und die der Molaren stehen mit der Kieferhöhle zumeist in enger räumlicher Beziehung. Gelegentlich ragen die Wurzeln der ersten Molaren direkt in das Kieferhöhlenlumen hinein und sind dann nur noch durch Sinusschleimhaut bedeckt.

Die Höhe des knöchernen Alveolarkammes variiert beim Erwachsenen zwischen Werten von 13,80 mm und 0,8 mm. Vor allem beim zahnlosen Menschen können Kiefer- und Mundhöhle nur noch durch eine papierdünne Knochenlamelle voneinander getrennt sein (Schumacher 1997).

Die Funktion der Nebenhöhlen ist bis heute noch nicht vollständig geklärt. Sicher ist, dass sie beim Sprechen eine Rolle als Resonanzraum spielen. Aufgrund der Pneumatisation der Kieferhöhlen tragen sie zu einer Gewichtsreduktion des Schädelknochens bei, was für unseren aufrechten Gang von Bedeutung ist. Darüber hinaus wird immer wieder diskutiert, ob die Größe und Form der Nebenhöhlen statischen Gesichtspunkten während der Schädelentwicklung und vor allem während des Schädelwachstums unterliegen (Boenninghaus 2004).

### 1.5 Die Problematik der Kieferhöhlenaugmentation

Sinn einer jeden Kieferhöhlenaugmentation ist es, das lokale Knochenangebot im atrophierten posterioren Oberkiefer für eine geplante Implantation zu erhöhen. Dabei soll durch die Auffüllung des kaudalen Anteils der Kieferhöhle ein qualitativ wie auch quantitativ besseres Knochenlager geschaffen werden, das in der Lage ist, Implantate lagestabil aufzunehmen, ohne aber den Funktionsraum der Kieferhöhle zu stark einzuschränken. Um die Funktion der Kieferhöhle auch nach dem chirurgischen Eingriff sicherstellen zu können ist die präoperative Kieferhöhlendiagnostik von großer Bedeutung.

Die bei sorgfältiger präoperativer Planung guten Erfolgsquoten aus der Literatur (vgl. Tab.1) bestätigen die Anwendbarkeit dieses Verfahrens.

Allerdings sollte niemals außer Acht gelassen werden, dass die lokalen Verhältnisse in der Kieferhöhle für eine Knochenaugmentation denkbar schlecht sind (Solar et al. 1999). Oft trennt im atrophierten posterioren Oberkiefer nur eine dünne Kompaktalamelle die Mund- von der Kieferhöhle (Schumacher 1997). Dabei verkleinern sich die Spongiosaräume zwischen den beiden Kompaktaschichten kontinuierlich. Die Blutversorgung und damit auch die biologische Aktivität dieser knöchernen Struktur werden durch dünne Gefäßbündel, die durch diese Spongiosaräume ziehen, sichergestellt. Im atrophierten Kiefer ist aufgrund der Volumenreduktion der spongiösen Knochenstrukturen zwischen den beiden Kompaktalamellen eine verminderte biologische Aktivität des Knochens zu erwarten. Da genau dieser Knochenkomplex zusammen mit der Kieferhöhlenschleimhaut bei der Kieferhöhlenaugmentation ausschließlich für eine Vaskularisierung und somit die Vitalerhaltung des eingebrachten Materials verantwortlich ist, verschlechtern sich bei ausgedehnter Knochenatrophie auch die Ausgangssituation für eine Kieferhöhlenaugmentation.

Der von Tatum ursprünglich beschriebene Zugang zur Augmentation der Kieferhöhle erfolgte über eine Osteotomie durch den krestalen Restalveolarfortsatz. Bei diesem operativen Vorgehen ist durch die umfangreiche Knochenwunde mit Freisetzung der für die Knochenneubildung wichtigen Proteine und Wachstumsfaktoren (Reddi und Gay 1977, Reddi und Hascall 1978) eine günstige Voraussetzung für die

Vitalerhaltung des transplantierten Gewebes und damit knöcherne Einheilung des Augmentats gegeben.

Durch die Modifikation der Operationsmethode in Form des lateralen „Türflügelzugang“ von Boyne und James 1980, die auch heute noch Anwendung findet, wurde zwar der operative Zugang zur Kieferhöhle vereinfacht und die Übersicht des Operationsgebietes verbessert, ob jedoch die Integrationsaussichten des Knochentransplantates ebenso günstig sind wie bei der ursprünglichen Methode nach Tatum bleibt offen (Krekeler et al. 1998).

Sicher ist, dass das entscheidende Erfolgskriterium für die knöcherne Integration eines jeden Augmentationsmaterials das Maß der Revaskularisierung des Augmentatkomplexes darstellt (Artzi et al. 2005).

Aufgrund dieser Überlegungen stellt für viele Autoren der vitale autologe Knochen die besten Voraussetzungen für eine sichere knöcherne Neubildung dar (Artzi et al. 2005, Hess et al. 2004, Raghoobar et al. 2000, Krekeler 1998, Haas et al. 1998). In ihm sind bereits die für eine Knochenneubildung wichtigen Proteine und vitale Knochenzellen enthalten. Dadurch besitzt der vitale autologe Knochen in schlecht durchbluteten Regionen entscheidende Voraussetzungen für eine knöcherne Einheilung und stellt ein gutes Lager zur Osseointegration dentaler Implantate dar.

Moy et al. konnten in einer Studie von 1993 zeigen, dass eine Augmentation des Kieferhöhlenbodens mit autologem Knochen aus dem Unterkiefer einen größeren Knochenzugewinn zeigte als die Augmentation mit Hydroxylapatit alleine oder eine Kombination aus beidem. Dabei gewinnt der intraoral entnommene Knochen gegenüber dem Beckenkamm immer mehr an Bedeutung. Hirsch et al. konnte in einer Studie von 1991 eindeutig zeigen, dass die Resorption des intraoralen Knochens deutlich geringer ist als bei Knochentransplantaten aus dem Beckenkamm, der Tibia oder den Rippenknochen. Auch Khoury et al. sowie Raghoobar et al. kamen in Studien aus dem Jahre 1999 zu den gleichen Ergebnissen.

Allerdings werden bei der reinen Augmentation mit autologem Knochen oftmals unkontrollierte Resorptionserscheinungen beobachtet (Haas et al. 1998).

Genau diese Resorptionen stellen speziell bei der Sinusbodenelevation oftmals ein Problem dar. Kann bei zu geringen Restknochenhöhen und der dadurch fehlenden Primärstabilität der Implantate nicht simultan implantiert werden, führt der Volumenverlust des autologen Knochenaugmentats während der knöchernen

Umbauphase nicht selten zu Problemen im vertikalen Knochenangebot bei der späteren sekundären Implantation.

Im Gegenteil hierzu spielen bei der simultanen Implantation diese sekundären Resorptionserscheinungen eine untergeordnete Rolle. Durch die Einleitung funktioneller Belastungsreize in den augmentierten Knochen über zeitgleich inserierte Implantate wird der gesamte Knochenkomplex physiologisch belastet und dadurch weniger stark resorbiert. Aus diesem Grund ist es beim simultanen Vorgehen durchaus von Nutzen, den autologen Knochen als Augmentationsmaterial zu wählen um so auf die guten osseinduktiven und -konduktiven Eigenschaften zurückzugreifen.

In unserer Studie wurden beim offenem Vorgehen nach Tatum vorwiegend ein Knochengemisch mit einem Material bovinen Ursprungs, Bio Oss® (Fa. Geistlich Biomaterials, Wolhausen, Schweiz) verwendet. Bio Oss® wurde in zahlreichen Studien untersucht. Dabei wurden die exzellente Biokompatibilität des Materials und seine guten osteokonduktiven Eigenschaften bestätigt (Jensen et al. 1996, Berglundh et al. 1997, Hämmerle et al. 1997, Piattelli et al. 1999, Hallman et al. 2001 & 2002). Bio Oss® wird nur sehr schwer resorbiert und eignet sich so hervorragend als volumenerhaltendes Füllmaterial im Augmentat.

Das Fremdmaterial Cerasorb®, ein Beta-tricalcium-phosphat, synthetischen Ursprung wurde weit aus seltener verwendet. Es wurde nur bei Patienten, die das bovine Material wegen einer möglichen Infektionsquelle der Bovinen spongiformen Enzephalopathie (BSE) ablehnten, verwendet. Wenz et al. konnten dazu in einer 2001 veröffentlichten Studie nachweisen, dass es keine experimentellen Daten über einen möglichen Übertragungsweg der BSE Erkrankung durch bovinen Knochen gibt.

Allerdings konnte in mehreren Studien ein starker Volumenverlust des synthetischen Materials Cerasorb® innerhalb der ersten 12 – 84 Monate beobachtet werden (Yamada et al. 1997, Wiltfang et al. 2002, Artzi et al. 2004).

Sollen Fremdmaterialien erfolgreich zur Knochenaugmentation eingesetzt werden sind bei ihrer Verwendung einige Kriterien zu beachten:

Für die knöcherne Durchbauung des Fremdmaterials und den Umbauvorgang des gesamten Augmentatgemisches ist die komplette Vaskularisation ein entscheidender

Faktor (Solar et al. 1999). Maßgebend ist daher die Größe des in die Kieferhöhle eingebrachten Augmentats. Artzi et al. konnten in einer Studie 2005 histologisch eindeutig belegen, dass es einen signifikanten Unterschied in der Menge von neu gebildetem Knochen in den jeweiligen Abschnitten des Augmentats gibt. So konnte die höchste Knochenneubildungsrate in den Abschnitten, die direkt oder nahe am Kieferhöhlenboden lagen, beobachtet werden. Je weiter er die peripheren Regionen im Augmentat untersuchte, umso geringer wurde der Anteil an neu gebildetem Knochen und umso höher war der Anteil an Füllkörpern. Dabei wirkte sich die Größe der Auflagerungsfläche des Augmentats an die Kieferhöhlenwände auf die Menge des neu gebildeten Knochens aus. Hürzeler et al. konnten in einer 1997 veröffentlichten histologischen Studie ähnliche Ergebnisse nachweisen. Dabei wurde die Menge von neu gebildetem Knochen weiter kranial im Augmentat immer geringer. In der Nähe der Kieferhöhlenschleimhaut konnte keine Knochenbildung beobachtet werden, das Füllmaterial wurde bindegewebig inkorporiert. Auch Krekeler et al. konnten in einer weiteren histologischen Studie von 1998 zeigen, dass jegliches Knochenfüllmaterial im lagerfernen Bereichen keinerlei Knochenreaktionen zeigte und bindegewebig umschieden war. Genau solche Regionen im Augmentat können aufgrund ihrer biologischen Struktur keinen innigen Knochen – Implantat – Kontakt aufbauen. Ob dieser geringere Implantat – Knochen – Kontakt das klinische Langzeitergebnis einer Implantation negativ beeinflusst, ist aufgrund der guten klinischen Erfolgsquoten des Knochen - Füllergemisches (Naoki et al. 2004, Wallace et al. 2003) aus unserer Sicht eher zu verneinen.

Demgegenüber steht eine Studie von Hallmann et al. von 2002. Hier wurde der Knochen – Implantat – Kontakt bei reinem autologen Augmentat, einem Gemisch mit Bio Oss® und Eigenknochen 80 : 20 und mit Bio Oss® alleine untersucht. Es konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede in den einzelnen Augmentatgruppen gefunden werden.

Auch Olson et al. konnten in einer Studie von 2000 keinen Einfluss verschiedener Augmentationsmaterialien auf einen Langzeiterfolg der Implantation mit Sinusbodenaugmentation feststellen. Allerdings wurden bei beiden Studien keine histologischen Untersuchungen angefertigt. Die aufgestellte These, dass alle untersuchten Augmentationsmaterialien gleiche Ergebnisse brachten, wurde nur auf klinischen Untersuchungsparametern und Langzeiterfolgen gestützt.

Zur Optimierung der Blutversorgung des in die Kieferhöhle eingebrachten Augmentats wurde in unserem Patientengut immer darauf geachtet, bei der Einbringung und Kondensierung des Knochens auch die mediale Kieferhöhlenwand als Anlagerungsfläche mit zu erreichen.

Ob eine Perforation der kaudalen Kompaktalamelle des Kieferhöhlenbodens einen Zugewinn an osteogener Potenz gewährleistet, kann aus aktuellen Untersuchungen nicht abgeschätzt werden (Krekeler et al. 1998).

In der vorliegenden Studie soll untersucht werden, in wie weit und ob die präoperativ vorhandene Restknochenhöhe des Alveolarkamms und das damit erforderliche Augmentationsvolumen für die Höhe des periimplantären Knochenabbaus von Bedeutung ist.



## 2. Literaturübersicht

Gibt man in die Internetdatenbank der Medline-Webseite ([www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov)) das Suchwort „dental implant“ ein, so erscheinen mehr als 5000 Veröffentlichungen allein in den letzten 10 Jahren. Beschränkt man die Suche nach Studien die sich speziell mit dem Thema der Sinusbodenaugmentation beschäftigen, reduziert sich das Ergebnis bereits auf 122 gelistete Artikel. In Verbindung mit dem Zusatz „implant survival rate“ gibt es nur noch eine kleine Anzahl in englischsprachiger Literatur veröffentlichten Abhandlungen, die sich intensiv mit diesem Thema auseinandersetzen.

Die nachfolgende Tabelle soll einen Überblick über die gelisteten Studien zum Thema „Überlebensrate von Implantaten in augmentierten Kieferhöhlen“ in den letzten sechs Jahren (2000-2006) geben.

Folgende Studien wurden eingeschlossen:

- Patientenstudien, die über einen Untersuchungszeitraum von mindestens einem Jahr liefen
- Alle untersuchten Implantate mussten prothetisch belastet sein
- Studien mit klinischen und radiologischen Implantatkontrollen
- Patientenfallzahlen  $n > 10$ , Fallberichte wurden ausgeschlossen
- Angabe der Überlebensrate der Implantate über den Untersuchungszeitraum

**Tabelle 2** Langzeitstudienübersicht zum Thema Sinuslift der Jahre 2000 - 2006

Studie	Patienten- anzahl	Impl.	Sinus- lift	Beobachtungs- zeitraum	Augmentations- material	Überlebensrate
Tetsch et al. (2006)	622	1291	k. A.	12 Jahre	Eigenknochen Knochenfüller	95%
Ferrigno et al. (2006)	323	588	323	12 Jahre	Eigenknochen Bio Oss	94,8%
Hallman et al. (2004)	20	108	30	5 Jahre	Boviner Knochen	86%
Yerit et al. (2004)	35	324	k. A.	12 Jahre	Beckenkamm	91,1%
Behrens et al. (2004)	198	932	k. A.	10 Jahre	Eigenknochen Bio Oss	79,3%
Simion et al. (2004)	14	38	k. A.	1 - 7 Jahre	Eigenknochen Bio Oss	92,1%
Hess et al. (2004)	93	196	109	3 - 118 Monate	Eigenknochen	97,7%
Hatano et al. (2004)	191	361	191	10 Jahre	Eigenknochen Oss	Bio 94,2%
Töffler (2004)	167	276	k. A.	1 - 84 Monate	k. A.	93,5%
Mangano et al. (2003)	12	28	k. A.	12 - 36 Monate	xen. Knochen	100%
Stricker et al. (2002)	41	135	66	15 - 40 Monate	Eigenknochen	99,5%
Ferrigno et al. (2002)	233	1286	k. A.	10 Jahre	Eigenknochen	95,9%
Tawil et al. (2001)	29	61	30	12 - 40 Monate	Bio Oss	93,1% mit Membran 78,1% ohne Membran
Raghoobar et al. (2001)	99	353	182	12 - 124 Monate	Eigenknochen	90,8%
Olson et al. (2000)	29	120	45	5 - 71 Monate	Eigenknochen boviner Knochen	97,5% mit Augmentat 90,3% ohne Augmentat

Den bislang umfassendsten Beitrag in der Weltliteratur zum Thema Sinusbodenaugmentation lieferte die „Sinus Graft Consensus Convergence“, die im November 1996 in Wellensley in Massachusetts USA stattgefunden hat. Während dieser Konferenz verglichen 38 Mund- Kiefer- Gesichts- und Oralchirurgen ihre Ergebnisse und kamen so auf eine Gesamtzahl von 2997 inserierten Implantaten mit 1007 Sinusbodenaugmentationen, die in einem Zeitrahmen von mehr als 10 Jahren nachuntersucht wurden. Es resultierte eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 90,0% bei Implantaten, die in augmentierten Kieferhöhlen gesetzt wurden und mindestens 3 Jahre prothetisch belastet waren. Jensen et al. veröffentlichten diese Ergebnisse 1998. Allerdings ist bei diesen Daten zu berücksichtigen, dass es sich bei den untersuchten Implantaten hauptsächlich um Implantate mit maschinenpolierten Oberflächen (Brånemark Implantate) handelte. Mit den heutigen modernen

---

Implantatoberflächen sollten Erfolgsquoten von deutlich über 90 % erzielt werden können.

Del Fabro et al. untersuchten in ihrer 2004 veröffentlichten Literaturstudie eine Gesamtzahl von 6913 Implantaten, die ausschließlich in augmentierte Kieferhöhlen inseriert wurden. Dabei konnten auch sie zeigen, dass Implantate mit einer rauen Oberfläche eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 95,98% über einen Beobachtungszeitraum von 12 – 75 Monaten gegenüber 85,64% bei Implantaten mit glatten Oberflächen, aufwiesen.

Die in den letzten Jahren umfangreichste Untersuchung stammt von Tetsch et al. und wurde 2006 veröffentlicht. In dieser Studie, die über einen Beobachtungszeitraum von 12 Jahren lief, wurden 1291 Implantate, die alle in augmentierte Kieferhöhlen inseriert wurden, klinisch und radiologisch nachuntersucht. Von diesen 1291 gesetzten Implantaten mussten über die gesamte Dauer von 12 Jahren nur 28 wieder entfernt werden. 18 davon während der Einheil- und Versorgungsphase, die restlichen zehn wurden nach prothetischer Versorgung entfernt. Dabei betrug die durchschnittliche Liegedauer der Explantate 250 Tage. Eindeutige Gründe für das Scheitern der Implantate konnten nicht in allen Fällen gefunden werden. Tetsch et al. konnten in dieser Studie eine Verweildauerwahrscheinlichkeit von 95% für Implantate, die in Verbindung mit einer offenen Sinusbodenelevation inseriert wurden und von 96,25% für Implantate mit interner Sinusbodenelevation über den Beobachtungszeitraum von 12 Jahren ermitteln. Es scheint aufgrund der Datenlage der englischsprachigen Literatur als sei das verwendete Implantatsystem, die Art des Augmentationsmaterials, die individuelle Einheilzeit der Augmentate und der Implantate, oder die angewandte Operationsmethode von untergeordneter Bedeutung. Vergleichbare Thesen postulierten auch Rodoni et al. 2005, Brägger et al. 2004 und Del Fabro et al. 2004. Dass eine erfolgreiche Sinusbodenelevation an sich kein zusätzliches Risiko für die Langzeitprognose einer Implantation darstellt, konnte Wallace et al. 2003 zeigen. In dieser Literaturstudie ergab sich kein Unterschied zwischen den ermittelten Überlebensraten von Implantaten in augmentierten Kieferhöhlen im Vergleich zu Implantaten, die komplett in ortständigem Knochen des Oberkiefers verankert wurden. In jüngster Zeit geraten in der englischsprachigen Literatur die Diskussionen um Operationstechniken und verwendete Augmentationsmaterialien immer mehr in

den Hintergrund. Aktuelle Diskussionen beziehen sich auf neuartige Implantatoberflächen, die mit bioaktiven Substanzen beschichtet wurden bzw. eine biologisch aktive Oberfläche besitzen, welche einen schnelleren und innigeren Knochen- Implantatkontakt induzieren sollen. Ob dies klinisch wirklich bedeutsam ist kann aufgrund der fehlenden Langzeitdaten noch nicht abgeschätzt werden. Die Firma Straumann brachte zum Beispiel vor kurzer Zeit eine neue Implantatoberfläche (SLActiv) auf den Markt, bei der aufgrund einer speziellen Herstellungstechnik die Oxidation und Inaktivierung der Titanoberfläche weitgehend verhindert werden kann. Es soll, nach Angaben der Firma, zu einer schnelleren und innigeren Osteoblastenanlagerung und knöchernen Einheilung der Implantate kommen. Erste publizierte Laborstudien scheinen diesen Effekt zu bestätigen (Ferguson et al. 2006). Neue Ergebnisse aus laufenden Tierstudien sollen in Kürze vorliegen, erste Teilpublikationen bestätigen schon jetzt die positiven Auswirkungen der neuartigen SLActive Oberfläche auf den knöchernen Einheilungsprozess (Cochran et al. 2005). Ein weiterer gegenwärtiger Forschungsansatz besteht in dem Einsatz von gezielten Wachstumsfaktoren aus der Gruppe der rekombinanten Human Bone Morphogenetic Proteins (rhBMP) oder der Plasma Rich Growth Factors (PRGF). Sie wurden in kürzlich veröffentlichten Studien experimentell auf Implantatoberflächen aufgebracht und sollen osteoinduktive Eigenschaften, ähnlich der des Eigenknochens besitzen (Anitua 2006, Becker et al. 2006, Simon et al. 2006, Sykaras et al. 2004). Ob die oben genannten Faktoren einen positiven Einfluss auf die ohnehin sehr guten Langzeitprognosen bei Implantationen in Kombination mit Sinusbodenelevationen ausüben können, ist aufgrund der heute noch fehlenden Langzeitergebnisse nicht abzuschätzen.

### 3. Material und Methode

#### 3.1. Patientenkollektiv und Implantatsystem

In einem Untersuchungszeitraum von sieben Jahren (Januar 1998 – Dezember 2005) wurden an der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Ludwig Maximilian Universität in München und in privater Praxis (Zahnarztpraxis Dr. Günther Gradl in Neufahrn b. Freising) 72 Patienten mit insgesamt 138 Implantaten, die in 95 augmentierten Kieferhöhlen inseriert wurden, klinisch und radiologisch nachuntersucht. Die zeitlichen Abstände zwischen Implantation und prothetischer Versorgung variierten von 10 bis 37 Wochen je nach Knochenqualität und Augmentationshöhe. Im Mittel wurden die Implantate nach 22 Wochen prothetisch versorgt. In diese Studie wurden nur Implantate zur Nachuntersuchung eingeschlossen, die seit mindestens einem Jahr prothetisch versorgt und belastet waren.

Von diesen 72 Patienten waren 42 Frauen und 30 Männer. Die Altersverteilung betrug 29 bis 74 Jahre, bei einem durchschnittlichen Alter von 55 Jahren.

98 der inserierten 138 Implantate wurden nach der Methode von Tatum, davon 75 im einzeitigen und 23 im zweizeitigen Verfahren inseriert. Bei 40 Implantaten wurde die „minimalinvasive“ Sinusbodenelevationstechnik nach Summers angewendet.

Bei der Auswahl der Patienten, die für eine Implantation in Frage kamen, wurden folgende Ausschlusskriterien getroffen:

1. schlechte, nicht verbesserbare Mundhygiene
2. therapieresistente Parodontalerkrankungen
3. bestehende Therapie mit Bisphosphonaten
4. nicht eingestellter Diabetes mellitus
5. knochenmetabolische Erkrankungen
6. Chemotherapie
7. immunsupprimierte Patienten

Es muss darauf hingewiesen werden, dass in dieser Studie nur die Implantate der Patienten zur Datenanalyse herangezogen wurden, die in augmentierten Kieferhöhlen lokalisiert waren. Implantate, die nicht dieser Lokalisation entsprachen, wurden von der Studie ausgeschlossen.

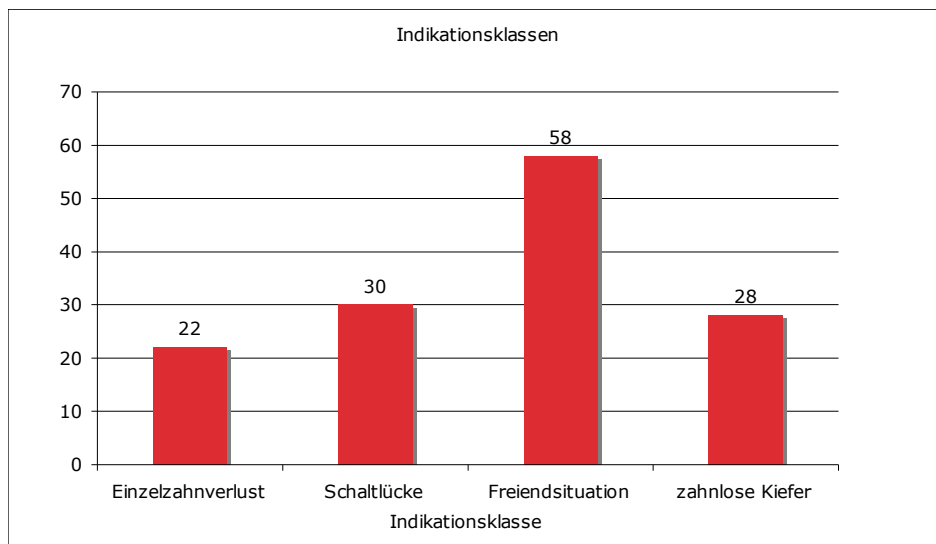
Darüber hinaus wurden nur Patienten, die mit ITI Implantaten der Firma Straumann versorgt wurden, zu dieser Studie herangezogen.

Folgende ITI Implantattypen fanden Verwendung:

- 1, Regular Neck Implantate mit 4,1 mm Durchmesser
- 2, Wide Neck Implantate mit 4,8 mm Durchmesser
- 3, Taperd Effect Implantate mit 4,8 und 6,5 mm Durchmesser

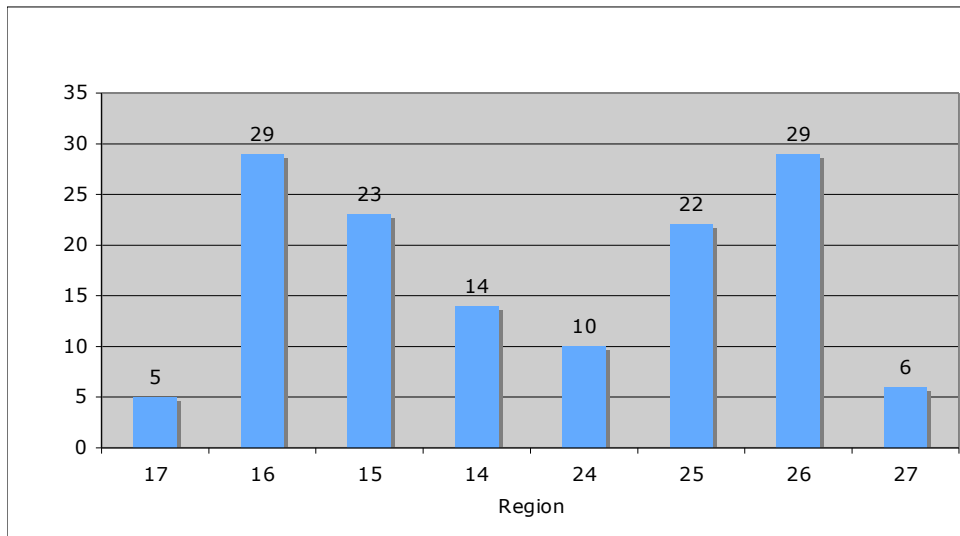
Die kürzeste verwendete Implantatlänge betrug 8 mm, die längste 14 mm. Grundsätzlich wurde versucht, möglichst 12 mm oder längere Implantate primärstabil zu verankern, um so ein Maximum an Stabilität erreichen zu können.

Die jeweiligen Indikationsklassen für eine Implantatbehandlung sind aus Abbildung 1 zu entnehmen. Dabei stellte die Freundsituation, bei der insgesamt 58 Implantate inseriert worden sind, die größte Indikationsklasse dar.



**Abbildung 1** Anzahl der Implantate verteilt auf die jeweiligen Indikationsklassen

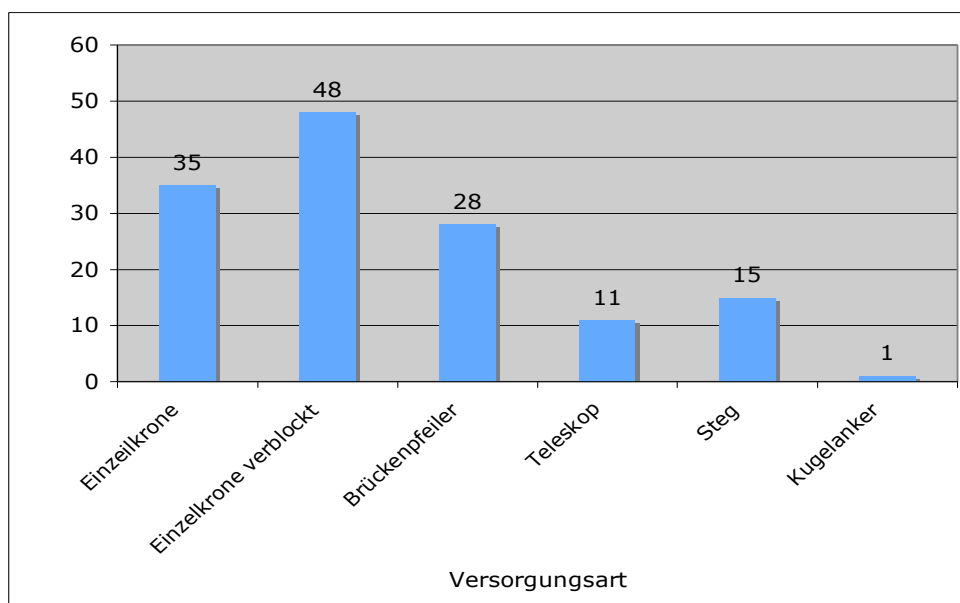
Die genaue Lokalisation der inserierten Implantate veranschaulicht Abbildung 2.



**Abbildung 2** Anzahl der Implantate pro Zahnregion

Prothetisch versorgt wurden die einzelnen Implantate durch 35 Einzelkronen, 48 verblockten Kronen, 28 Brückenpfeiler, 11 Teleskopen, 15 Stegpfählern und einem Kugelkopfancker.

Abbildung 3 veranschaulicht die Verteilung der durchgeführten Implantatprothetik



**Abbildung 3** Prothetische Versorgung je Implantat

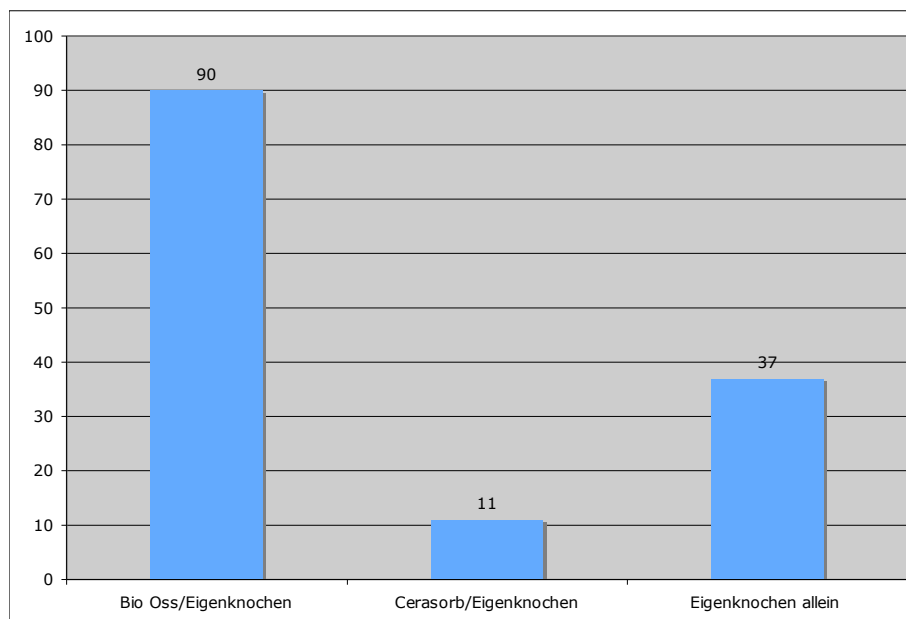
### 3.2. Augmentationsmaterial

Um ein ausreichendes Knochenlager für eine Implantation zu schaffen fanden folgende Augmentationsmaterialien Anwendung:

1. Eigenknochen aus mehreren intraoralen Spenderregionen (Mentalisregion, Retromolar, Tuberregion, OP-Gebiet). Dabei wurden sowohl Knochenblöcke, kortikal sowie kortikospongiös, als auch Knochenspäne entnommen.
2. BIO OSS® (Fa. Geistlich, Wollhausen, Schweiz)  
Ein Knochengranulat aus dem mineralischen Anteil bovinen Knochens mit einer Korngrößen von 250 – 1000 µm und 1000 – 2000 µm in Kombination mit autologem Knochen
3. Cerasorb® (Fa. Curasan Pharma AG, Kleinostheim, Germany)  
Ein phasenreines  $\beta$ -Tricalciumphosphat synthetischem Ursprungs in einer Korngröße von 500 – 1000 µm und 1000 – 2000 µm in Kombination mit autologem Knochen

Das Mischungsverhältnis zwischen Eigenknochen und Knochenfüllmaterialien betrug in etwa 50 : 50.

Die Anzahl der verwendeten Materialien je Implantat zeigt Abbildung 4.



**Abbildung 4:** Verteilung der Augmentationsmaterialien je Implantat



### 3.3. Präoperative Diagnostik

Wurden aus der Patientenanamnese keine allgemeinmedizinischen oder parodontalen Kontraindikationen für eine Implantation gefunden, folgte eine implantatbezogene Diagnostik.

Hierbei ist besonders zu erwähnen, dass bei mehreren behandlungsbedürftigen Zähnen die Implantation immer als letzter Behandlungsschritt angesehen wurde. Dadurch konnte eine Reduktion pathogener Mundkeime auf ein Minimum erreicht werden.

Eine Vorbehandlung umfasste die Extraktion nicht erhaltungswürdiger Zähne, die parodontale Sanierung des Restgebisses, sowie eine Erneuerung insuffizienter prothetischer oder konservierender Versorgungen.

Die Basis für die weitere Diagnostik und zur Beurteilung des vorhandenen knöchernen Implantatlagers bildete ein Panoramaröntgenbild. Zur Ermittlung des Röntgenvergrößerungsfaktors und zur Abschätzung des zu erwartenden Knochenangebots wurden Röntgenmessschablonen mit 5 mm im Durchmesser großen Metallkugeln an den vorgesehenen Implantatregionen angefertigt. Durch Auswertung des mit der Messschablone angefertigten Orthopantomogramms konnte durch Dreisatzrechnung die zu erwartende Restknochenhöhe errechnet werden.

Zur weiteren Planung wurden vom Ober- und Unterkiefer Alginatabformungen zur Anfertigung von Gipsplanungsmodellen genommen. War durch die geplante prothetische Versorgung die exakte Implantatposition von großer Bedeutung (z.B. bei großen Brücken- oder Teleskopversorgungen), wurden Bohrschablonen nach vorherigem Wax Up mit der jeweilig idealen Implantatposition angefertigt. Soweit es zu realisieren war, wurde versucht die Implantate nach prothetischen Gesichtspunkten zu inserieren, auch unter der Voraussetzung augmentativer Maßnahmen am Alveolarfortsatz.

Abschließend wurde der Patient noch einmal speziell auf seine Kieferhöhlengesundheit hin befragt. War aus dem Panoramaröntgenbild der Hinweis auf eine bestehende entzündliche Veränderung gegeben, erfolgte präoperativ eine spezielle Kieferhöhlendiagnostik.

Eine Implantation und Augmentation erfolgte erst nach Behandlung und Ausheilung einer gegebenenfalls vorhandenen Kieferhöhlenproblematik.

Aus den gewonnenen Daten wurde nun das chirurgische Vorgehen ermittelt.

### 3.4. Chirurgisches Vorgehen

Entscheidend für die Wahl der Operationstechnik waren die Restknochenhöhe und die Höhe des durchzuführenden Knochenaufbaus. Betrug die Restknochenhöhe 7-8 mm oder mehr, wurde der Sinusbodenelevation nach Summers der Vorzug gegeben, ansonsten wurde die offene Methode nach Tatum favorisiert. Eine simultane Implantation erfolgte immer dann, wenn durch die vorhandene Restknochenhöhe und -qualität eine ausreichende Primärstabilität der Implantate erreicht werden konnte.

Führte die geplante Implantatposition zu einer ausgeprägten bukkalen Implantatlage mit einer daraus resultierenden dünnen bukkalen Knochenlamelle, wurde diese durch augmentative Maßnahmen im Sinne einer Knochenverbreiterung verstärkt, um so ein auf lange Sicht stabiles Knochenlager zu schaffen.

Patienten, die in freier Praxis operiert wurden, erhielten eine präoperative antibiotische Therapie mit Clindamycin 300mg (Sobelin 300mg, Pharmacia & Upjohn GmbH, Erlangen), 2 Tabletten eine Stunde vor dem Eingriff, die postoperativ (1-1-1-1) pro Tag für 4 Tage fortgeführt wurde. Bei Klinikpatienten wurde auf eine präoperative antibiotische Therapie verzichtet.

Vor dem ambulanten Eingriff erfolgte die Desinfektion der Mundhöhle mit Chlorhexamed Forte 0,2% Mundspüllösung, wobei der Patient angewiesen wurde das Präparat für 60 Sekunden im Mund zu belassen.

Anschließend erfolgte die Anästhesie der zu operierenden Region mit Ultracain D-S oder Ultracain D-S forte (Fa. Novartis Pharma GmbH, Nürnberg, Deutschland). Zuletzt wurde die äußere Gesichtshaut mit jodhaltiger Lösung (Betasisadona®) desinfiziert und der Patient mit sterilen Operationstüchern abgedeckt.

Die Schnittführung variierte ja nach anatomischen Gegebenheiten und nach dem Einheilungsmodus der Implantate. Sollten die Implantate subgingival einheilen, was

bei ausgedehnten Augmentationen immer der Fall war, wurde die Schnitfführung auf den unbezahnten Kieferabschnitten leicht nach palatinal versetzt. Durch diese modifizierte Schnitttechnik befand sich die spätere Naht nicht direkt über den Implantaten.

Musste zudem der Alveolarfortsatz augmentiert werden, wurde das augmentierte Gebiet mit einer resorbierbaren Membran (Bio Gide® Fa. Geistlich, Wollhausen, Schweiz) abgedeckt, die wenn nötig, mit resorbierbaren Pins Resor – Pins (Fa. Geistlich, Wollhausen, Schweiz) lagestabil fixiert wurde.

In den Fällen, in denen es zu einer Membranexposition durch Dehiszenzen gekommen war, wurde die freiliegende Membran mehrmals täglich mit Chlorhexidin Gel betupft, was in allen Fällen eine komplikationslose Einheilung des Augmentates ermöglichte.

Bei transgingival einheilenden Implantaten wurde die Inzision mittig in der keratinisierten Gingiva auf den Kieferkamm gelegt, da so die noch vorhandene feste Schleimhaut als Weichgewebsmanschette vestibulär und palatinal um den Implantathals adaptiert werden konnte.

Die Verlängerung der initialen Inzisionen in die zahortragenden Kieferabschnitte erfolgte marginal zumeist mit Umgehung der Interdentalpapillen. Im Sinne einer Papilla – Preservation – Technik wurden die Interdentalpapillen an ihrer breiten Basis durchtrennt. Dabei wurde auf eine ausreichende Breite der Papille geachtet, um zu schmale Wundränder und das erhöhte Risiko einer Nahtdehiszenzbildung zu minimieren. Durch diese Schnitfführung konnten die empfindlichen und ästhetisch wichtigen Papillen weitgehend geschont werden. Bei allen Schnitfführungen wurden mesial und distal vestibuläre Entlastungsschnitte angelegt.

Nach Präparation eines Mukoperiostlappens wurde der Alveolarkamm freigelegt und die idealen Implantatpositionen je nach prothetischer Indikation unter Zuhilfenahme einer Bohrschablone mit einer kleinen Rundfräse gekörnt.

Das weitere Vorgehen unterschied sich nun in Abhängigkeit von der vorhandenen Restknochenhöhe.

Bei geringen Knochenhöhen und daraus resultierendem größerem Augmentationsvolumen fand die Sinusbodenelevationstechnik nach Tatum Anwendung.

Es erfolgte zunächst die Präparation der Fossa canina. Nach ausreichender Darstellung der fazialen Kieferhöhlenwand wurde diese basal mit einer diamantierten Kugelfräse soweit geschwächt oder komplett entfernt, bis eine Mobilisierung der Kieferhöhlenschleimhaut möglich wurde. Die Art und Ausdehnung dieses Kieferhöhlenzugangs richtete sich je nach Anzahl der geplanten Implantate und dem Volumen des Kieferhöhlenaufbaus.

Bei Einzelzahnimplantaten wurde lediglich eine kleine Rille präpariert, wohingegen bei mehreren geplanten Implantaten und größeren Augmentationsvolumen der Kieferhöhlenzugang entsprechend umfangreicher angelegt wurde. Es wurden zwei unterschiedliche Techniken verwendet. Waren keine Kieferhöhlensepten vorhanden, konnte der präparierte Knochendeckel in die Kieferhöhle eingeschlagen werden, und bildete somit eine stabile Abgrenzung zwischen Augmentat und Kieferhöhle.

Waren auf den präoperativen Röntgenbildern Septen in der Kieferhöhle zu vermuten, so genannte Underwood'sche Leisten, wurde der die Kieferhöhle bedeckende Knochen über dem Augmentationsgebiet mit der diamantierten Knochenfräse komplett entfernt, oder jeweils mesial und distal des Knochenseptums ein Fenster präpariert. Bei Anwesenheit von Knochensepten war bei der Präparation der Kieferhöhlenschleimhaut größte Sorgfalt geboten, da das Risiko einer Schleimhautperforation in solchen Situationen höher ist.

Die untere Begrenzung jedes Kieferhöhlenfensters lag immer etwas oberhalb des Kieferhöhlenbodens, da dadurch ein für die Augmentation muldenförmiges und stabiles Lager geschaffen werden konnte.

Die Präparation der Kieferhöhlenschleimhaut und wenn nötig die Luxation des Knochendeckels erfolgte mittels speziellen Kieferhöhlenelevatorien (Fa. Aesculap, Tuttlingen, Germany), wobei wie schon erwähnt, größte Sorgfalt auf die Unversehrtheit der Kieferschleimhaut gelegt wurde. Kam es trotzdem zu einer Perforation der Kieferhöhlenschleimhaut, wurde eine resorbierbare Membran (Bio Gide®, Fa. Geistlich, Wollhausen, Schweiz) als Barrierefunktion zwischen Kieferhöhlenlumen und Augmentatbett eingelegt. Kleinere Perforationen wurden belassen, da sie sich aufgrund der Fältelung der Schleimhaut spontan verschließen können.

Resultierte aufgrund einer sehr fragilen Kieferhöhlenschleimhaut eine großvolumige Schleimhautperforation (n=1), so erfolgte keine Augmentation. Der Eingriff wurde abgebrochen und 6 Monate später wiederholt.

Nach Abschluss der Kieferhöhlenpräparation konnte nun beim einzeitigen Vorgehen mit den für das ITI System zugehörigen Spiralfräsen aufsteigender Größe das Implantatbett präpariert werden. Um eine Perforation der Kieferhöhlenschleimhaut durch die in die Kieferhöhle vordringenden Spiralfräsen zu vermeiden, wurde diese entweder mit einem in die Kieferhöhle eingeführten Elevatorium oder mit einer in die Kieferhöhle eingelegten Kompresse geschützt. Erst nach Abschluss der Implantatbettaufbereitung wurde der für die Augmentation benötigte Eigenknochen gewonnen. Dadurch konnte eine kurze Zeitspanne zwischen Knochenentnahme und Knochenverpflanzung erreicht werden.

Zur Gewinnung des Eigenknochens standen je nach benötigter Menge unterschiedliche Regionen zur Verfügung. Bei kleinen Mengen konnte der Knochen durch Abschaben der Kompakta aus dem näheren Operationsgebiet mittels speziellen Knochenschabern (Fa. Hu-Friedy, Leimen, Gemany) gewonnen werden.

War mehr Knochenvolumen nötig, welches durch Knochenschaber alleine nicht zu gewinnen war, wurden in dieser Studie nur intraorale Spenderregionen herangezogen.

Intraoral kamen drei Spenderregionen in Frage. Im Oberkiefer der Tuberbereich, im Unterkiefer die Mental- und Retromolarregion. Die Retromolarregion des Unterkiefers bildete aufgrund der für eine Augmentation besten Knochenqualität die Entnahmestelle der ersten Wahl.

Zur Knochenentnahme erfolgte eine Leitungsanästhesie des N. alveolaris inferior und des N. buccalis für die Retromolarregion oder eine Infiltrationsanästhesie im Unterkieferfrontzahnbereich für die Präparation der Kinnregion.

Die Schnittführung für die Entnahme retromolar wurde analog zur Osteotomie eines unteren Weisheitszahnes angelegt. Nach Präparation der Schleimhaut und Darstellung des Knochens konnten mehrere Knochenzylinder mit Trepanbohrern unterschiedlicher Größe gewonnen werden. Um das entnommene Knochengewebe und vor allem die in ihm enthaltenen Zellen vital zu erhalten, wurde dieser in einer sterilen Schale mit zuvor entnommenem Eigenblut zwischengelagert. Die Zerkleinerung der Knochenzylinder erfolgte in einer Knochenmühle (Modell KM3 der Firma Schlumbohm OHG, Borkstedt, Deutschland). In die Knochenwunde wurde ein

Kollagenvlies (Lyostypt®, Fa. Braun, Tuttlingen, Germany) zur Stabilisierung des Blutkoagulums eingelegt und diese mit Einzelknopfnähten dicht verschlossen.

Zur Präparation der Mentalregion erfolgte ein Gingivarandschnitt von Eck- zu Eckzahn mit vestibulären Entlastungen. Die Interdentalpapillen wurden auch hier an ihrer breiten Basis durchtrennt. Durch diese Schnitfführung konnte ein stabiler Wundverschluss erreicht werden und so die Gefahr einer Nahtdehiszenz durch Muskelzug reduziert werden. Die Knochenentnahme erfolgte wiederum mittels Trepanbohrern. Dabei wurde ein Mindestabstand von 5 mm zu den Wurzelspitzen der Unterkiefer Frontzähne eingehalten. Durch dieses Vorgehen kam es in dieser Studie zu keinem Sensibilitätsverlust bei den Unterkieferfrontzähnen.

Auch hier wurde der entnommene Knochen in der oben genannten Knochenmühle zerkleinert und in Eigenblut zwischengelagert. Der Wundverschluss erfolgte durch Papillennähte, die durch tiefe, horizontale und vertikale Matratzennähten verstärkt wurden.

War ein Knochenblock zur Augmentation geplant, wurde dieser in beiden Entnahmeregionen nach derselben Methode genommen. Dazu wurde die äußere Kortikalis, je nach anatomischen Gegebenheiten des Entnahmegebietes, in der Umrissform des benötigten Blockes durch nebeneinander liegende Perforationen mit einem Rosenbohrer Größe 0 markiert. Diese Markierungen wurden dann mit einer dünnen Lindemannfräse oder einem Fissurenbohrer verbunden. Der Block konnte dann in toto mit einem Meißel oder einem dünnen Bein'schen Hebel luxiert werden. In die Entnahmestelle wurde ebenfalls ein Kollagenvlies (Lyostypt®, Fa. Braun, Tuttlingen, Germany) zur Stabilisierung des Blutkoagulums eingebracht.

Der gewonnene Eigenknochen wurde bei einer offenen Sinusliftoperation entweder alleine oder bei größerem Augmentationsvolumen im Verhältnis von etwa 50 : 50 mit dem xenogenen Knochenfüllmaterial Bio Oss® bzw. bei Bedenken des Patienten gegenüber dem Material mit dem alloplastischen Material Cerasorb® vermengt. Das Augmentat wurde mit Hilfe eines Raspatoriums oder eines speziellen Knochenlöffels (Fa. Aeskulap, Tuttlingen, Germany) in das Kieferhöhlenlumen eingebracht und diskret verdichtet. Dabei wurde versucht die mediale Kieferhöhlenwand mit zu

erreichen, um so eine größere Anlagefläche des Augmentats an die knöchernen Wände der Kieferhöhle erreichen zu können.

Als letztes wurden die Implantate mit einem Drehmoment von 30 Ncm und einer Geschwindigkeit von 15 U/min in das aufbereitete Implantatbett eingedreht. Durch die Drehmomentbegrenzung konnten Drucknekrosen am Knochen des Implantatlagers minimiert werden. Auf das Vorschneiden eines Gewindes wurde aufgrund der lockeren Knochenstruktur im Oberkiefer grundsätzlich verzichtet.

Die Primärstabilität wurde manuell überprüft und das Implantatgewinde durch eine Abdeckschraube geschützt. Beim zweizeitigen Vorgehen wurden die Implantate im Intervall inseriert.

Bei Restknochenhöhen von 7-8 mm und darüber und breiten Alveolarkammverhältnissen wurde die weniger invasive Sinusbodenelevationstechnik nach Summers favorisiert.

Dadurch konnte den jeweiligen Patienten die Eröffnung der Kieferhöhle über ein zusätzlich angelegtes Kieferhöhlenfenster erspart werden, was mit einer verkürzten Operationszeit und geringeren postoperativen Beschwerden einherging.

Nach Ankörnen der gewünschten Implantatposition mit einer dünnen Kugelfräse erfolgte die initiale Bohrung mit dem ersten Spiralbohrer. Dabei wurde ein Abstand von 1 – 2 mm zwischen der Spitze der Implantationsfräse und dem Kieferhöhlenboden eingehalten. Nach Kontrolle der Implantatposition und deren Achsrichtung erfolgte die weitere Implantatbettaufbereitung mittels spezieller Osteotome (Summers Osteotome Kit<sup>®</sup>, Implant Innovations, Inc., West Palm Beach, FL, USA). Dabei kamen prinzipiell zwei Methoden zur Anwendung, wobei die Beurteilung der Dichte der spongiösen Struktur als Entscheidungshilfe herangezogen wurde:

1. Die Aufbereitung des Implantatstollens bis zur kortikalen Begrenzung des Kieferhöhlenbodens in aufsteigender Reihenfolge mittels Pilot- und Spiralfräsen und anschließende Perforation des knöchernen Kieferhöhlenbodens mit Hilfe von Osteotomen unterschiedlicher Größe.

2. Vorbohrung durch den Pilotbohrer und anschließende Aufbereitung und Infraktion des knöchernen Kieferhöhlenbodens ausschließlich durch Osteotome aufsteigender Größe. Hierdurch wurde der periimplantäre Knochen verdichtet, was zu einer erhöhten Primärstabilität der Implantate führte. Diese Operationsmethode fand nur in sehr lockerer Spongiosa Anwendung.

Durch das spezielle Osteotomdesign mit schneidenden, muldenförmigen Enden konnte die stufenweise Implantatbettauflbereitung in Kombination mit einer Infraktion des knöchernen Kieferhöhlenbodens ermöglicht werden. Bei der Infraktion und anschließenden Augmentation des Kieferhöhlenbodens ist wiederum größtes Augenmerk auf die Unversehrtheit der Kieferhöhlenschleimhaut zu legen. Diese wurde durch wiederholte Nasenblasversuche und behutsame taktile Prüfung mit einer Kieferhöhlensonde kontrolliert. Um das Risiko einer Perforation möglichst gering zu halten war es sehr wichtig, die Spitze des Osteotoms nicht über die kaudale Kieferhöhlenwand hinauszuschieben. Die Elevation der Schleimhaut darf auf keinen Fall durch die Osteotomspitzen selbst erfolgen, sondern ausschließlich durch den Druck des vorgeschobenen und komprimierten Augmentats. Dabei erfolgte die Augmentation in zwei Schritten:

Zuerst wurde eine geringe Menge des xenogenen oder alloplastischen Augmentationsmaterials in den Bohrkanal inseriert. Mit einem Osteotom wurde das Augmentat zunächst leicht komprimiert. Anschließend erfolgte mit dem größten Osteotom, das für die Präparation des Implantatlagers verwendet wurde, die Fraktur des Sinusbodens. Das als Puffer dienende Augmentat verhinderte so den direkten Kontakt zwischen den Osteotomen und der Kieferhöhlenschleimhaut während der Infraktur des Kieferhöhlenbodens. Anschließend wurde weiteres Augmentationsmaterial in den Bohrkanal inseriert, mit den Osteotomen komprimiert und in die Kieferhöhle bis zur gewünschten Augmentationshöhe eingebracht. Dabei fand je nach benötigtem Augmentationsvolumen reiner Eigenknochen oder ein Gemisch aus Eigenknochen und Knochenfüllmaterial Verwendung.

Im Anschluss an Augmentation und Elevation des Kieferhöhlenbodens und der Lagerbildung erfolgte das Eindrehen der Implantate mit ebenfalls drehmomentbegrenzten Motoren. Beim Eindrehen wurde ein Drehmoment von 30 Ncm nicht überschritten. Auf das Vorschneiden eines Gewindes wurde auch hier



aufgrund der weichen Knochenverhältnisse im posterioren Oberkiefer verzichtet. Nach manueller Kontrolle der Primärstabilität wurde auf das Implantatgewinde eine Abdeckschraube aufgebracht und die Operationswunde mit Situationsnähten (Nahtmaterial Seralon 4.0 / 5.0, Fa. Serag Wiessner, Naila, Germany) speicheldicht verschlossen.

### 3.5. Postoperatives Vorgehen

Im Anschluss an die Operation wurde zur radiologischen Kontrolle der Implantatposition und der erfolgten Sinusbodenelevation ein Orthopantomogramm angefertigt. Postoperativ erhielten die Patienten, die in der Praxis behandelt wurden, Dexaalvoran 4 – 8 mg subkutan zur Schwellungsprophylaxe, zudem wurde extraoral ein Zugverband mit Fixomull® stretch Pflaster (Fa. BSN medical, Hamburg, Germany) angelegt. Als Schmerzmedikation wurde Aktren 600 Tbl. rezeptiert. Die antibiotische Begleittherapie mit Sobelin 300mg p.o. wurde für 4 Tage (1-1-1-1) aufrechterhalten.

Patienten die in der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Ludwig Maximilian Universität in München operiert wurden erhielten eine postoperative antibiotische Therapie mit Augmentan 875/125mg (1-0-1) für 7 Tage sowie Talvosilen forte Tablette zur Schmerztherapie. Patienten mit einer bekannten Penicillinallergie bekamen als Alternativpräparat Sobelin 300mg (1-1-1-1) ebenfalls für 7 Tage.

Allen Patienten wurde zur Desinfektion des Operationsgebietes Chlorhexidinspülung 0,2% verordnet. Damit sollte der Mund nach den Mahlzeiten ausgespült werden. Die Patienten wurden angewiesen das Operationsgebiet für zwei Tage im Intervall zu kühlen.

Bei schleimhautgetragendem Zahnersatz wurde eine Prothesenkarenz von mindestens einer, besser zwei Wochen eingehalten, um die Belastung auf die Nahtstellen und die inserierten Implantate in der ersten Einheilungsphase zu vermeiden.

Alle Patienten fanden sich am 1. oder 2. postoperativen Tag zur Kontrolle ein, wobei in der Praxis die Wunden mit jodhaltiger Lösung (Betaisadona®) desinfiziert wurden. Eine weitere Kontrolle erfolgte zwischen dem 3. und 5. postoperativem Tag.

Nach etwa 10 Tagen wurden die Fäden entfernt. Zu diesem Zeitpunkt wurde der schleimhautgetragene Zahnersatz an den Implantatpositionen freigeschliffen, weichbleibend mit GC Reline Soft® (Fa. GC Dental Products Corp., Toriimatsu-Cho, Japan) unterfüttert und dem Patienten wieder eingegliedert.

### 3.6. Nachuntersuchung

Alle in der Praxis und an der Klinik operierten Patienten wurden im Rahmen dieser Studie zu einer Nachuntersuchung einbestellt.

Bei dieser Nachuntersuchung wurden die Patienten klinisch und radiologisch nach folgenden Kriterien untersucht:

1. Periimplantäre Weichteilverhältnisse
2. Implantatbeweglichkeit
3. Marginale Knochenverluste
4. Patientenzufriedenheit

Bei jedem Patienten wurde als erstes ein kompletter Zahnstatus erhoben.

Die Untersuchung der periimplantären Weichteilverhältnisse umfasste folgende Indizes:

- Modifizierter Plaqueindex (mPI)  
Messpunkte mesial, distal, vestibulär und palatinal der Implantatoberfläche.  
Das jeweils schlechteste Flächenergebnis der vier folgenden Werte wurde für das jeweilige Implantat notiert:  
0 = keine Plaque erkennbar  
1 = Plaque nur mit einer Sonde an der glatten Implantatfläche fühlbar  
2 = Plaque mit bloßem Auge erkennbar  
3 = Anwesenheit von weichen Belägen  
(Mombelli et al. 1987, Mombelli & Lang 1994)

- 
- **Modifizierter Blutungsindex (mBI)**  
Messpunkte mesial, distal, vestibulär und palatinal der Implantatoberfläche. Gemessen wurde mit einer Hu – Friedy Parodontalsonde PCP (Hu-Friedy, Chicago, IL, USA) mit leichtem Druck. Der jeweils schlechteste Messwert wurde notiert.  
0 = keine Blutung bei Sondierung  
1 = isolierter Blutungspunkt erkennbar  
2 = Blut bildet eine konfluierende Linie am Marginalsaum  
3 = starke Blutung/Spontanblutung  
(Mombelli et al. 1987, Mombelli & Lang 1994)
  - **Periimplantäre Taschentiefen (PD, in mm)**  
Messpunkte mesial, distal, vestibulär und palatinal der Implantatoberfläche. Die Messung erfolgte ebenfalls mit Parodontalsonde PGF – von Hu – Friedy und leichtem Druck. (Mombelli et al. 1987, Buser et al. 1990, Mombelli & Lang 1994). Alle vier Messwerte wurden in eine Tabelle eingetragen
  - **Distanz Implantatschulter – Gingivaverlauf (DIM, in mm)**  
Messpunkte mesial, distal, vestibulär und palatinal der Implantatoberfläche. Gemessen wurde mit der gleichen Parodontalsonde.  
Bei einer subgingival gelegenen Implantatschulter wurden die Messwerte als negativer Wert notiert. (Buser et al. 1990)
  - **Attachmentlevel (AL)**  
Dieser Wert wurde für jede Implantatfläche aus der Summe von PD und DIM berechnet (Buser et al. 1990)
  - **Breite der keratinisierten Gingiva (in mm)**  
Gemessen an der Schultermitte eines Implantates (Buser et al. 1990)

Zur Untersuchung der Implantatbeweglichkeit wurden folgende Parameter erhoben:

- Klopfeschall

Erhebung mittels eines Hu – Friedy Untersuchungsspiegels. Folgende Messwerte wurden notiert:

1 = heller Klopfeschall

2 = gedämpfter Klopfeschall

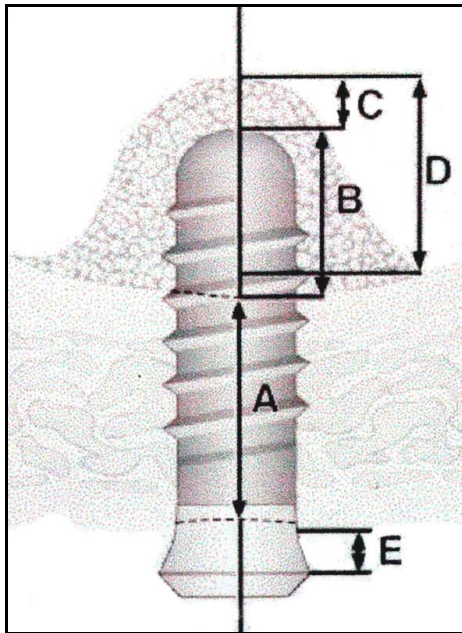
Die Mobilität der Implantate wurde mit Hilfe von zwei Spiegelgriffen per Hand getestet (Buser et al. 1990). Dazu wurden keine Implantatkronen abgenommen, Implantatverbunde mit verblockten Kronen oder Stegkonstruktionen wurden als Einheit getestet.

Zur Diagnose des marginalen Knochenverlustes wurde bei der Nachuntersuchung ein Panoramaröntgenbild von jedem Patienten angefertigt. Dieses Röntgenbild konnte mit den Messwerten des postoperativ angefertigten Kontrollpanoramabildes verglichen werden. Die Röntgenbilder wurden an einem Röntgenbetrachter mit einem transparenten Millimetermaß vermessen. Der jeweilige individuelle Vergrößerungsfaktor konnte anhand der Implantatlänge im Röntgenbild errechnet und berücksichtigt werden (Adel et al. 1981).

Folgende Messwerte wurden mesial und distal des Implantates erhoben (Brägger et al. 2004)

1. Strecke zwischen Implantatschulter und Alveolarknochen (E)
2. Strecke zwischen Alveolarknochen und Kieferhöhlenboden (A)
3. Strecken zwischen Kieferhöhlenboden und Implantatapex (B)
4. Strecke zwischen Implantatapex und Augmentationshöhe (C)
5. Augmentathöhe als Summe von Strecke B und C (D)

Die Abbildung 5 (S. 35) zeigt die dazu gehörige Schemazeichnung.



**Abbildung 5** Schemazeichnung der vermessenen Strecken im Röntgenbild. (Aus Brägger et al. 2004)

Als letztes wurde die Patientenzufriedenheit mit der jeweiligen Versorgung mündlich abgefragt und dokumentiert. Die Patienten sollten ähnlich dem Schulnotensystem (1-6) ihre Zufriedenheit zum Ausdruck bringen.

#### 4. Statistik

Das Signifikanz – Niveau wurde auf  $\alpha = 0.05$  festgesetzt. Dies bedeutet, dass man akzeptiert, sich in 5 von 100 Tests mit der Testaussage (z.B. dass ein Unterschied zwischen Stichproben besteht) zu irren.

Das Ergebnis jedes statistischen Tests war ein so genannter p – Wert. Dieser p – Wert beinhaltet die Irrtumswahrscheinlichkeit mit der die Nullhypothese zurückgewiesen werden kann. Als Nullhypothese wird die Hypothese des nicht vorhandenen Unterschieds zwischen den jeweiligen Stichproben verstanden. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass Unterschiede zwischen den Stichproben mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von p statistisch zu sichern sind. Liegt dieser p-Wert unterhalb des gewählten Signifikanz-Niveaus so wird der Unterschied als signifikant bezeichnet (Bortz et al. 2000)

#### Matrix der Korrelationskoeffizienten

Falls beide zu korrelierenden Variablen Gauss – verteilt sind und das Skalenniveau von Messwerten besitzen, ist der Korrelationskoeffizient r nach Pearson-Bravais zu verwenden, ansonsten Kendall's Tau (Bortz et al. 2000). Die Signifikanz des Korrelationskoeffizienten ist für Kendall's Tau und  $N \leq 40$  exakt berechnet, ansonsten asymptotisch.

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Überlebensrate der inserierten Implantate

Alle inserierten Implantate befanden sich zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung noch in situ. Folglich konnte in der vorliegenden Studie eine Überlebenswahrscheinlichkeit der Implantate von 100% über die mittlere Nachuntersuchungszeit von 39 Monaten erreicht werden.

Zur Qualifizierung eines Implantaterfolges oder Misserfolges fanden die Kriterien nach Buser et al. 1990 Verwendung.

Einen Implantaterfolg definierten dadurch folgende Eckpunkte:

1. Abwesenheit von persistierenden Beschwerden wie Schmerz, Fremdkörperreaktionen und oder Dysästhesien
2. Abwesenheit einer wiederholenden eitrigen Periimplantitis
3. Abwesenheit von Mobilität
4. Abwesenheit einer Radioluzenz um das Implantat herum

Keines der in dieser Studie nachuntersuchten Implantate verfehlte die für einen Erfolg der Implantation zu wertenden Kriterien. So konnte ebenfalls eine Erfolgsquote von 100% über unseren Untersuchungszeitraum erzielt werden.

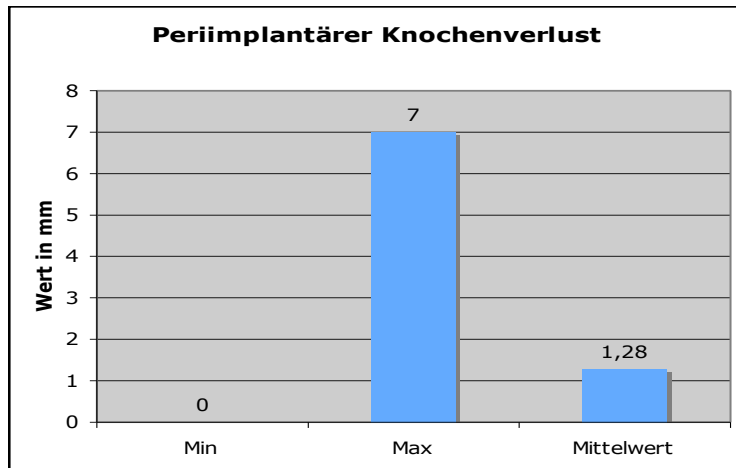
Allerdings zeigten n=7 Implantate, die sich auf n=4 Patienten verteilten, akute periimplantäre Entzündungszeichen, jedoch ohne Anzeichen einer putriden Entzündung. So konnten auch diese Implantate als ein Erfolg der Implantation gewertet werden.

### 5.2 Periimplantärer Knochenverlust

Bei allen 138 nachuntersuchten Implantaten wurde der Knochenabbau mesial und distal der Implantatschulter ermittelt.

Dabei ergaben sich über den mittleren Untersuchungszeitraum dieser Studie von 39 Monaten Minimalwerte für die mesiale und distale Seite von 0 mm und Maximalwerte

von 7 mm. Den Maximalwert von 7 mm zeigten nur zwei Implantate, die beide bei einer Patientin lokalisiert waren. Der gemittelte Knochenabbau aller mesialen und distalen Messwerte der Implantate liegt bei 1,28 mm. Vergleiche dazu auch Abbildung 6.



**Abbildung 6** Minimum und Maximum des periimplantärer Knochenverlust der mesialen und distalen Messpunkte in mm, Min = Minimum, Max = Maximum

Die Verteilung des Knochenabbaus pro Implantatfläche wird in Tabelle 3 veranschaulicht. Dabei zeigten 87,67% aller mesialen und 85,51% aller distalen Flächen einen Knochenabbau von 2 mm oder weniger. Lediglich bei 1,45% der mesialen und 2,17% der distalen Implantatflächen konnte ein Knochenabbau von mehr als 5 mm nachgewiesen werden.

**Tabelle 3** Anzahl der Implantatflächen mit jeweiligem Knochenabbau mesial und distal

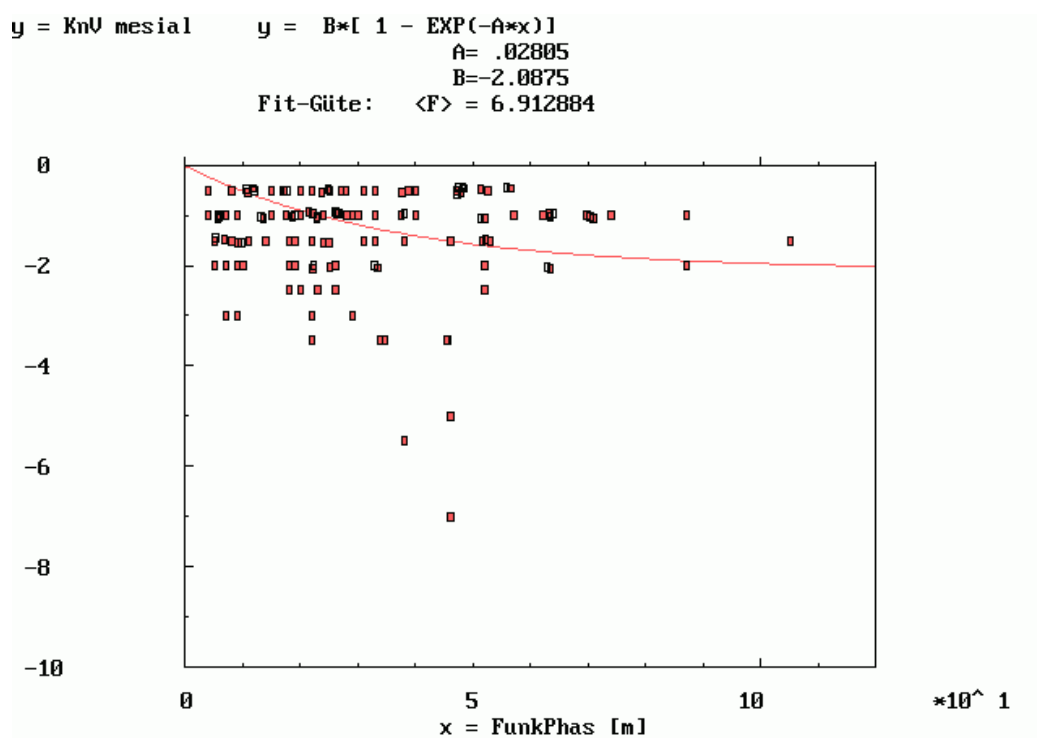
Knochenabbau	mesial	distal
0 – 2 mm	121	118
2,5 – 5 mm	15	17
> 5 mm	2	3



### 5.3 Knochenverlust (KnV) und Funktionsphase (FunkPhas)

In Kombination mit dem periimplantären Knochenverlust sollte in dieser Studie untersucht werden, ob die Höhe des Knochenabbaus mit steigender Dauer der funktionellen Belastung der Implantate zunimmt.

Die Verknüpfung der beiden Parameter für die mesiale und die distale Seite zeigen die Abbildung 7 und 8.



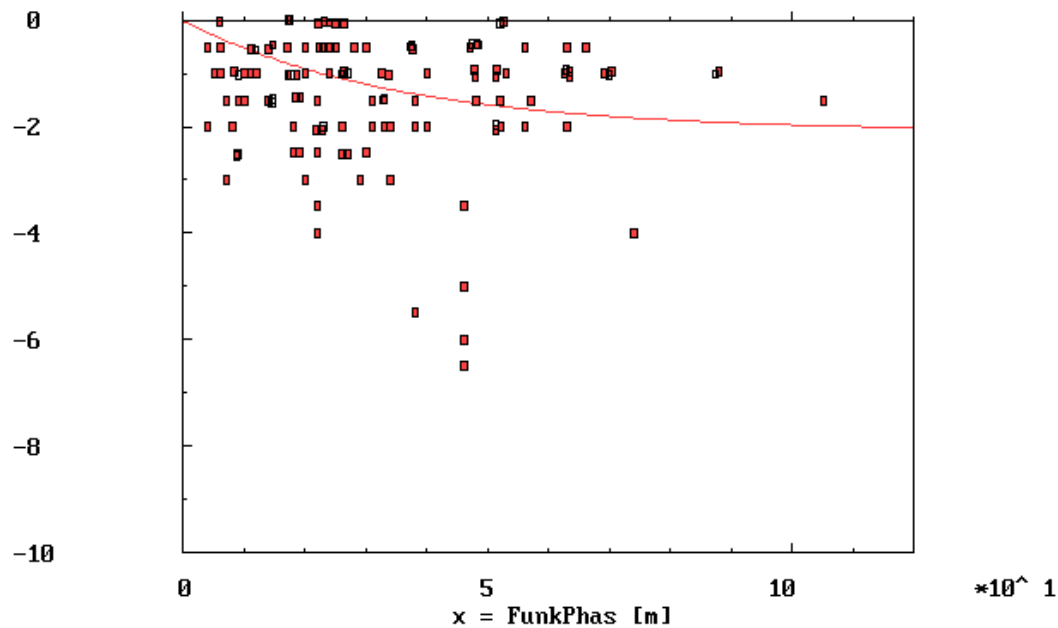
**Abbildung 7** Höhe des periimplantären Knochenabbaus der mesialen Seite bezogen auf die Belastungszeit der Implantate, FunkPhas = Funktionsphase in Monaten, KnV mesial = Knochenverlust mesial in mm

$$y = \text{KnV distal} \quad y = B \cdot [1 - \text{EXP}(-A \cdot x)]$$

$$A = .0286$$

$$B = -2.086526$$

$$\text{Fit-Güte: } \langle F \rangle = 5.952539$$



**Abbildung 8** Höhe des periimplantären Knochenabbaus der distalen Seite bezogen auf die Belastungszeit der Implantate, FunkPhas = Funktionsphase in Monaten, KnV distal= Knochenverlust mesial in mm

Um den Zusammenhang zu veranschaulichen, wurde als Modell eine spezielle Form der Exponentialfunktion gewählt, die für kurze Zeiten einen Abfall aufweist und sich dann an einer Parallele zur t-Achse asymptotisch annähert. Dafür eignet sich die Form

$$\text{KnV} = B \cdot [1 - \text{Exp}(-A \cdot t)]$$

worin der Parameter A die Steilheit des Anfangsverlaufs und B die Lage der Langzeit-Asymptote bestimmen.

Durch einen Least – Square – Fit können die Parameter A und B aus den Daten so bestimmt werden, dass die Verlaufskurve optimal ist, das heißt, dass ihre Abweichung von allen Datenpunkten minimal ist.

Für den Wert B ergab sich durch mathematische Annäherung ein Wert für die mesiale und die distale Seite von -2,09 mm. Dies bedeutet, dass sich der zu erwartende periimplantäre Knochenabbau in dieser Studie über den gesamten Untersuchungszeitraum an eine Größenordnung von 2,09 mm annähert.

---

Darüber hinaus konnte der jährliche durchschnittliche Knochenabbau für die mesiale und distale Seite berechnet werden.

Er betrug für beide Seiten je 0,33 mm pro Jahr bezogen auf den mittleren Untersuchungszeitraum von 39 Monaten.

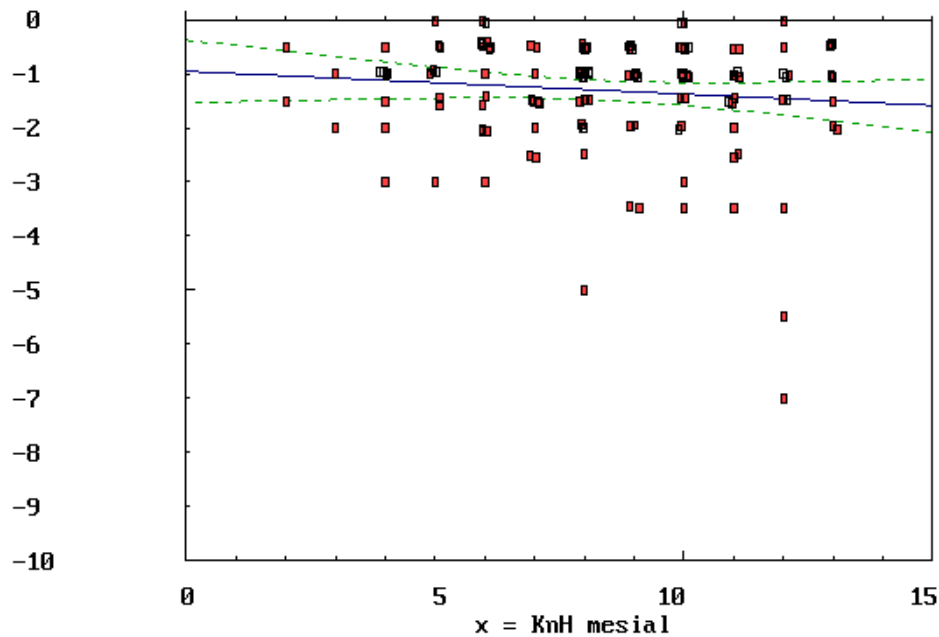
#### 5.4 Periimplantärer Knochenverlust (KnV) im Verhältnis zur Restknochenhöhe (KnH)

Alle Messwerte für den mesialen und distalen periimplantären Knochenverlust, der im Rahmen dieser Studie nachuntersuchten Implantate, wurden in Bezug zu der jeweiligen mesialen und distalen präoperativen Knochenhöhe gesetzt.

Dabei sollte statistisch untersucht werden, ob die vorhandene Restknochenhöhe einen Einfluss auf die Höhe des periimplantären Knochenabbaus ausübt. Die statistische Auswertung zeigt einige Implantate bei denen mit Restknochenhöhen von 10 mm und mehr Augmentationen durchgeführt wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass diese Implantate im Rahmen einer umfangreichen Sinusbodenelevation mit mehreren Implantaten im Bereich der ventralen Kieferhöhlenwand gesetzt wurden.

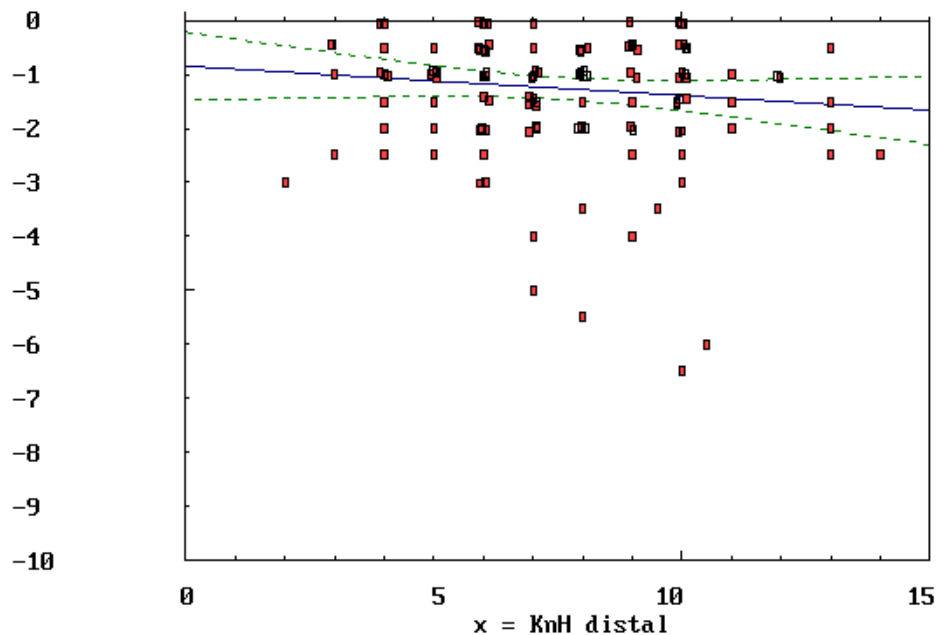
Die Abbildungen 9 und 10 auf Seite 42 zeigen den Zusammenhang zwischen den mesialen und distalen Messwerten.

$y = \text{KnV mesial}$       Model:       $y = A + B \cdot x$       (N= 138)  
 $A = -.9523891$  \*\*      (95% VB  $-1.536135 < A < -.3686429$  )  
 $B = -4.216173E-02$  n.s.      (95% VB  $-.1086608 < B < .0243373$  )  
 $r = -.1069096$  n.s.      [Asympt.Sig.:  $p = 2.1199E-01$  (2-seit.)]  
 $\text{Tau} = -3.094415E-02$  n.s.      [Asympt.Sig.:  $p = 6.4407E-01$  (2-seit.)]



**Abbildung 9** Zusammenhang der mesialen Werte des Knochenverlustes (KnV) in mm und der präoperativen Knochenhöhe (KnH) in mm

$y = \text{KnV distal}$       Model:       $y = A + B \cdot x$       (N= 138)  
 $A = -.8450385$  \*\*      (95% VB  $-1.479851 < A < -.210226$  )  
 $B = -5.453949E-02$  n.s.      (95% VB  $-.1340827 < B < 2.500368E-02$  )  
 $r = -.1155052$  n.s.      [Asympt.Sig.:  $p = 1.7730E-01$  (2-seit.)]  
 $\text{Tau} = -6.467638E-02$  n.s.      [Asympt.Sig.:  $p = 3.2837E-01$  (2-seit.)]



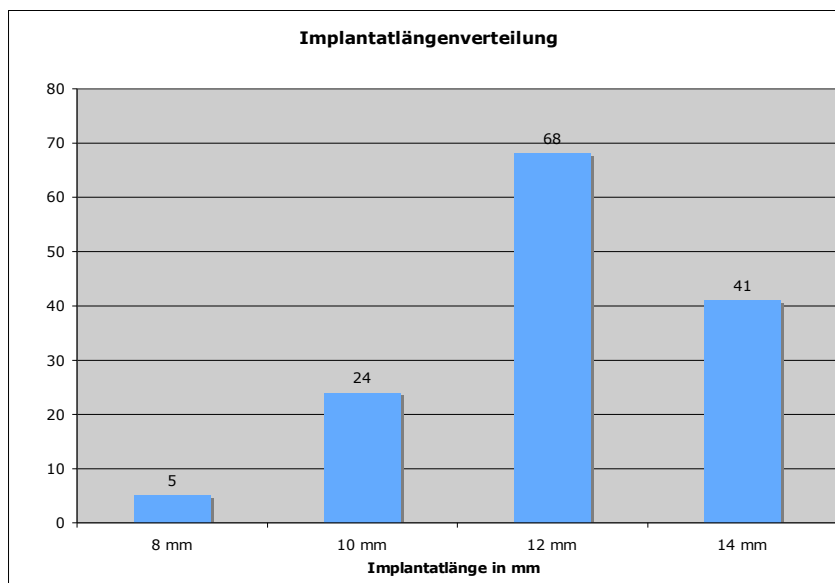
**Abbildung 10** Zusammenhang der distalen Werte des Knochenverlustes (KnV) in mm und der präoperativen Knochenhöhe (KnH) in mm

Es konnten jedoch weder für die mesiale noch für die distale Seite ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen beiden Parametern nachgewiesen werden. Die zugehörigen Kendall's Tau Werte von -0,06 für die mesiale als auch für die distale Seite bestätigen die statistische Unabhängigkeit der Messgrößen.

### 5.5 Periimplantärer Knochenverlust in Bezug auf die Implantatlänge

Als weiterer Aspekt sollte der Zusammenhang zwischen der verwendeten Implantatlänge der inserierten Implantate und dem gemessen periimplantären Knochenverlust statistisch geprüft werden.

Abb. 11 veranschaulicht die Verteilung der einzelnen Implantatlängen.



**Abbildung 11** Implantatlängenverteilung

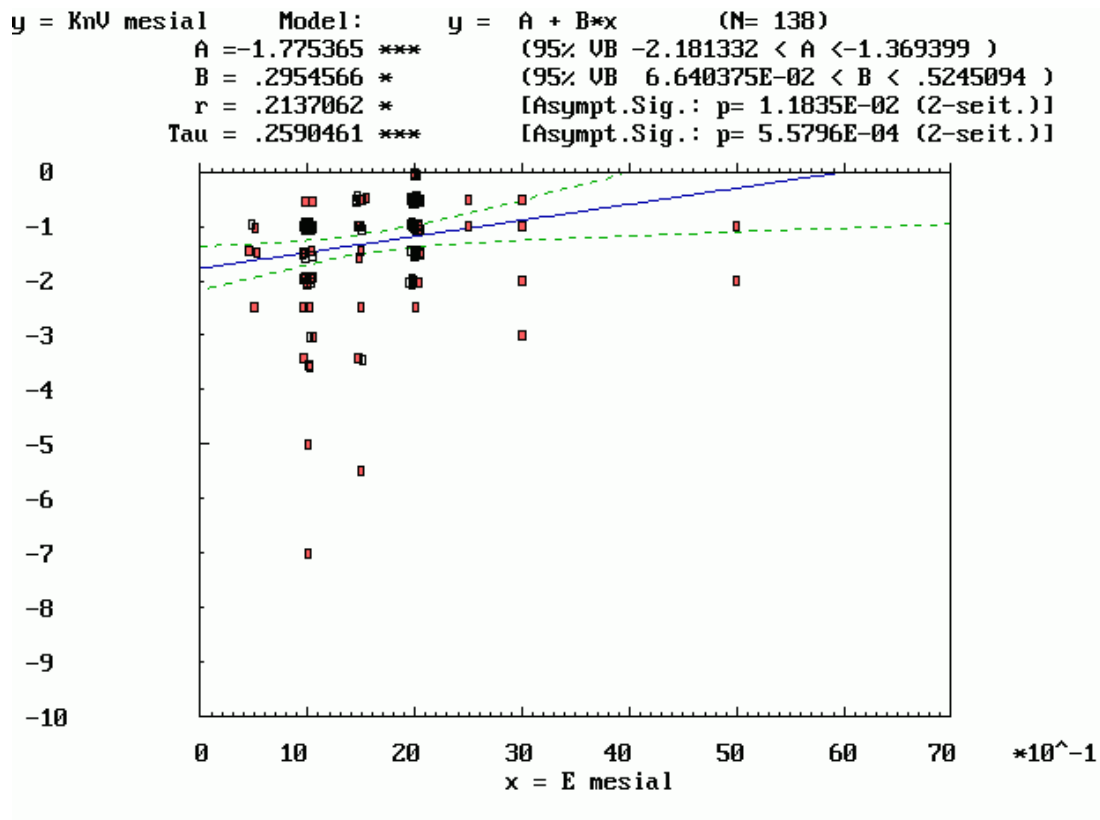
Im Patientenkollektiv dieser Studie konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Länge der inserierten Implantate und dem eingetretenen Knochenverlust festgestellt werden. Der berechnete Korrelationskoeffizient für Kendall's Tau von 0,023 zeigt zudem die statistische Unabhängigkeit beider Messgrößen.

## 5.6 Periimplantärer Knochenverlust (KnV) und Insertionstiefe (E)

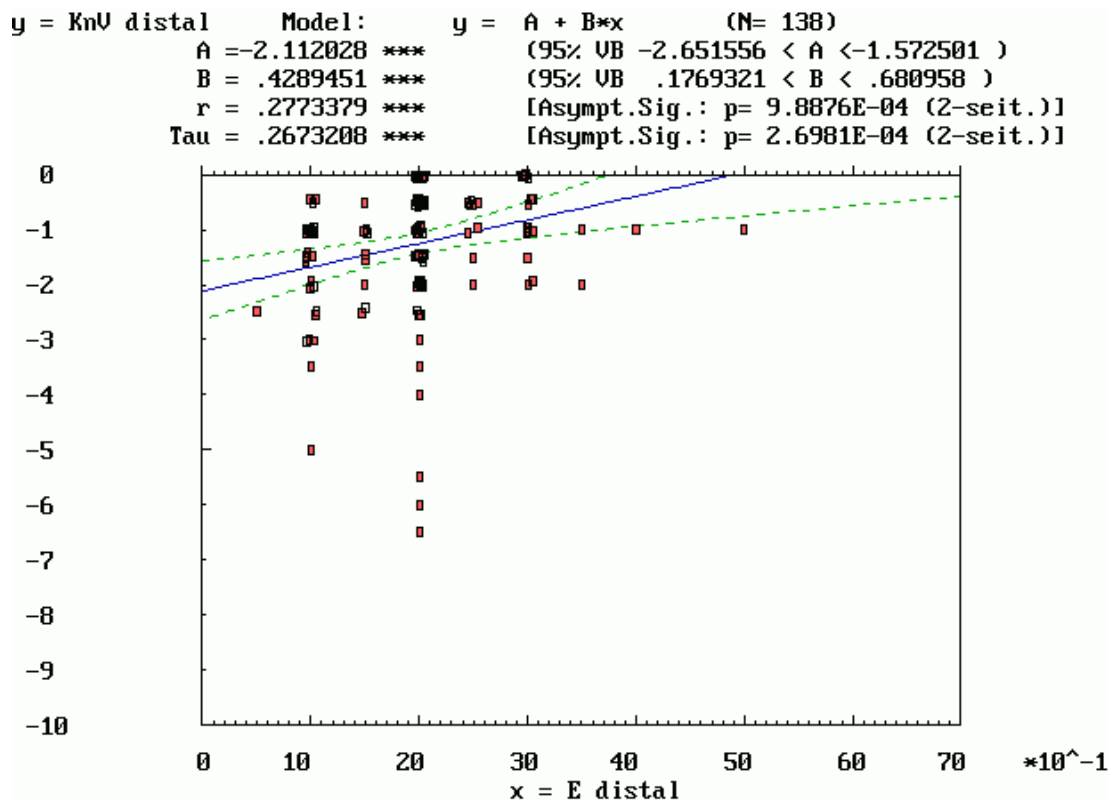
Als vierter Parameter wurde die Insertionstiefe, also die Distanz zwischen Implantatschulter und Knochenoberkante, in Verhältnis zum periimplantären Knochenverlust gesetzt.

Dabei wurden erneut alle zugehörigen mesialen und distalen Messwerte statistisch miteinander verglichen.

Die Abbildungen 12 und 13 veranschaulichen graphisch den Zusammenhang.



**Abbildung 12** Höhe des mesialen Knochenverlustes (KnV mesial) in mm bezogen auf die Insertionstiefe (E mesial) in mm



**Abbildung 13** Höhe des distalen Knochenverlustes (KnV distal) in mm bezogen auf die Insertionstiefe (E distal) in mm

Die Abbildungen 12 und 13 zeigen Werte von 4 und 5 mm für die Insertionstiefe bei zwei Implantaten. Diese Implantate wurden in noch nicht vollständig reossifizierte und kalzifizierte Knochendefekte inseriert. Als Messpunkt wurde auch hier der erste radiologisch erkennbare Knochen – Implantat – Kontakt gewählt, wodurch in diesen beiden Fällen die hohen Messwerte zu erklären sind.

Es konnte ein höchst signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Parametern KnV und E sowohl für die mesiale ( $p=0,00056$ ) als auch für die distale ( $p=0,00027$ ) Seite statistisch nachgewiesen werden.

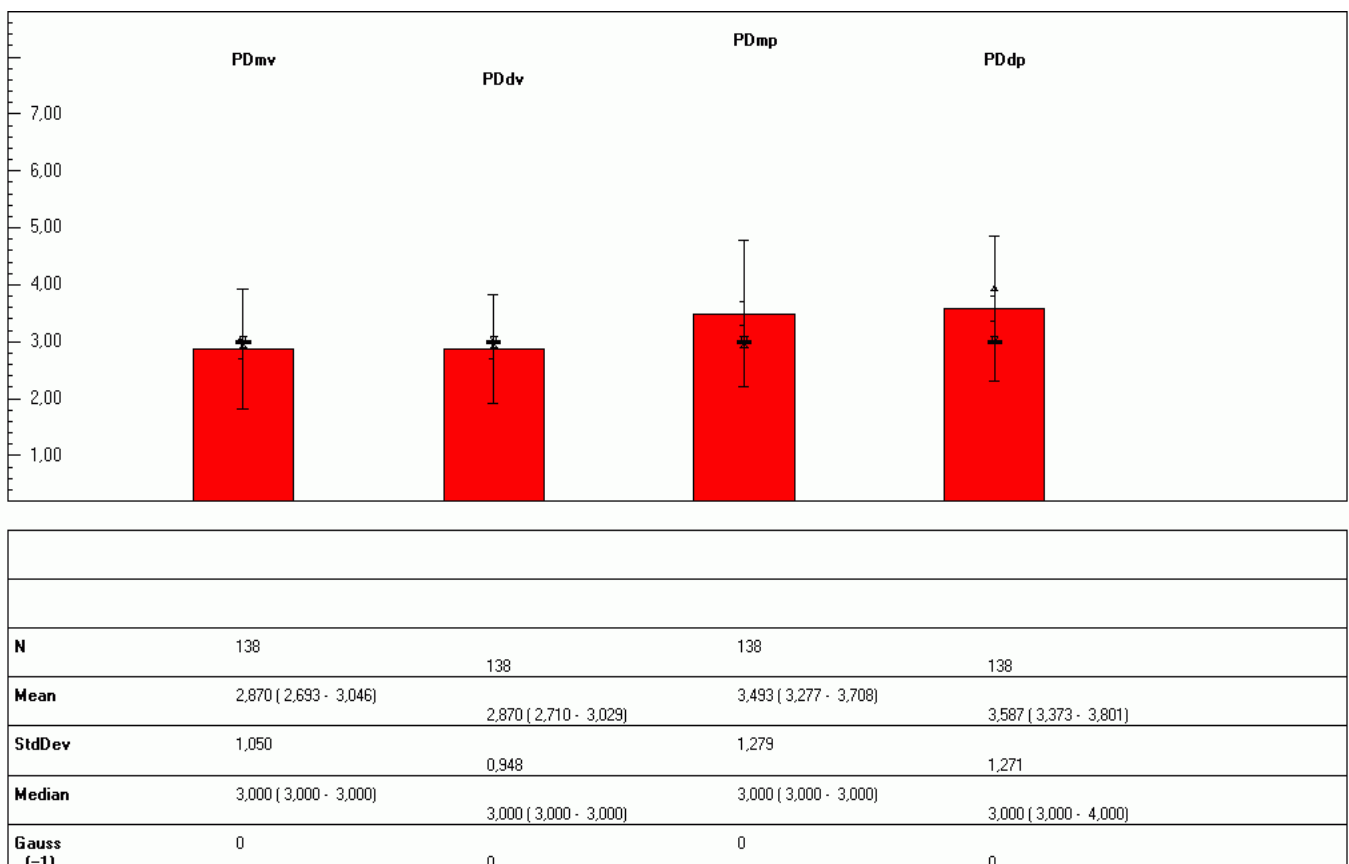
Je tiefer ein Implantat, also je kleiner der Abstand zwischen Implantatschulter und Knochenoberkante war, umso höher war der resultierende Knochenverlust.

Die beiden Korrelationskoeffizienten nach Kendall Tau mit 0,26 für die mesiale und 0,27 für die distale Seite bestätigen darüber hinaus statistisch die Verknüpftheit der Parameter.

## 5.7 Knochenabbau und Hygienefaktoren

Es wurden sämtliche erhobene Hygienefaktoren wie Klopfeschall, Mobilität, modifizierter Blutungsindex (mBI), modifizierter Plaqueindex (mPI), periimplantäre Taschentiefe (PD), Breite der periimplantär vorhandenen keratinisierte Gingiva, die jeweils mittig von der Implantatschulter aus gemessen wurde, sowie Art der Suprakonstruktion als Einflussfaktoren für den periimplantären Knochenabbau statistisch geprüft. Es konnte an n=48 Implantaten eine Blutung auf Sondierung nachgewiesen werden, insgesamt n=77 Implantate zeigten Plaqueanlagerungen unterschiedlicher Stärke. Alle n=138 inserierten Implantate waren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung klinisch fest und besaßen einen hellen Klopfeschall, wobei zu diesem Test die Suprakonstruktion nicht entfernt wurde.

Die Verteilung der periimplantären Sondierungstiefen kann der Abbildung 14 entnommen werden.



**Abbildung 14** Verteilung der Sondierungstiefen PD an allen vier Messstellen; mv=mesiovestibulär, mp=mesiopalatal, dv=distovestibulär, dp=distopalatal

N=Anzahl der Implantate, Mean=Mittelwert, StdDev=Standardabweichung, Median=Medianwert



Allerdings konnte bei keinem der Messwerte ein statistisch valider Zusammenhang zur Höhe des aufgetretenen Knochenverlustes gefunden werden.

Lediglich die Art der angefertigten Suprakonstruktion schien einen Einfluss auf den Knochenverlust zu haben (Kendall's Tau Werte von 0,18 und 0,22 mit einfacher und hoher Signifikanz). So konnten an Implantaten, die mit einem individuell gefrästem Goldsteg zur Fixierung einer Deckprothese versorgt wurden, die höchsten Knochenabbauraten gemessen werden. Bei näherer mathematischer Betrachtung stellte sich jedoch heraus, dass der Unterschied und vor allem die Fallzahlen innerhalb der einzelnen Untergruppierungen zu gering waren um diese These wirklich valide statistisch sichern zu können.

In Tabelle 4 im Anhang befindet sich die Auflistung aller dazu errechneten Korrelationskoeffizienten.

## **6. Diskussion**

### 6.1. Diskussion der Ergebnisse

#### 6.1.1. Knochenabbau an Implantaten

Zur Ermittlung des periimplantären Knochenabbaus wurden in dieser Studie das Orthopantomogramm nach Implantatinsertion und das Orthopantomogramm zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung miteinander verglichen. Da keine standardisierten Röntgenbilder angefertigt wurden, könnte es durch Unterschiede des Strahlengangs sowie der Projektion zu leichten Verfälschungen der gemessenen Strecken gekommen sein. Es ergaben sich über unseren Untersuchungszeitraum von im Mittel 39 Monaten jeweils mittlere Knochenabbauwerte von 1,3 mm für die mesiale und für die distale Seite.

Die Werte des durchschnittlichen Knochenabbaus bei unseren Patienten entsprechen den Werten vergleichbarer Studien (Simoni et al. 2004, Christensen et al. 2003, Mericske-Stern et al. 2001, Weber et al. 2000, Lekholm et al. 1999, Nevis et al. 1998, Watzek et al. 1998, Jovanovic et al. 1992). Watzek et al. konnten in einer Studie aus dem Jahr 1998 ebenfalls einen periimplantären Knochenabbau von 1,3 mm über einen Beobachtungszeitraum von 70 Monaten nachweisen. In den Studien von Simoni et al. 2004 und Jovanovic et al. 1992 wurden jeweils Knochenabbauraten von 1,7 mm über einen Zeitraum von 1-7 Jahren angegeben. Bei Christensen et al. 2003 wurde über einen Beobachtungszeitraum von 3 Jahren ein Wert von 1,5 mm errechnet. Nur in der Studie von Lekholm et al. 1999 konnte ein im Vergleich zu unserer Studie geringerer periimplantärer Knochenabbau von 0,8 mm über einen Beobachtungszeitraum von 10 Jahren angegeben werden. Es ist jedoch anzumerken, dass die errechneten Werte aus den oben angeführten Studien jeweils die höheren Knochenabbauraten im ersten Jahr nach prothetischer Versorgung nicht mit einbeziehen. In der vorliegenden Arbeit wurde zur Messung des Knochenabbaus das postoperative angefertigte Röntgenbild herangezogen. Aus diesem Grund sind die höheren Knochenabbauraten im ersten Jahr nach prothetischer Versorgung in

die Ergebnisse mit eingeflossen. Dies konnte aufgrund des retrospektiven Charakters dieser Studie nicht anders errechnet werden.

In zahlreichen Studien wurde die Problematik des periimplantären Knochenabbaus genau untersucht. Schon Adell et al. 1981 und Albrektsson et al. 1986 bezeichneten den vertikalen Knochenverlust an Implantaten als ein Kriterium für die Ermittlung eines implantologischen Langzeiterfolges.

Bei jedem osseointegrierten Implantat kommt es während der Einheilungsphase und im ersten Jahr der funktionellen Belastung durch den Zahnersatz zu erhöhten Knochenabbauraten (Adell et al. 1986, Buser et al. 1990, Cox & Zarb 1887). Dabei werden Werte von bis zu 1,6 mm an vertikalem Knochenverlust im ersten Jahr nach der Implantation angegeben (Hämmerle et al. 1996). Auch Hürzeler et al. konnten in einer Studie von 1997 eindeutig den erhöhten Knochenabbau in der ersten Phase der prothetischen Belastung belegen. In dieser Studie wurden bei Rhesusaffen beidseitig Sinusbodenelevationen durchgeführt und Implantate inseriert. Nach erfolgreicher Osseointegration der gesetzten Implantate wurde eine Seite prothetisch belastet, die Implantate der kontralateralen Seite blieben unbelastet. Nach einer Belastungszeit von 6 Monaten wurde der periimplantäre Knochenabbau beider Gruppen ermittelt. Dabei war der Knochenabbau an den belasteten Implantaten etwa drei Mal so hoch wie an den unbelasteten. Allerdings konnte auch an den unbelasteten Implantaten ein wenn auch wesentlich geringeren Knochenabbau gemessen werden. Es stellt sich die Frage warum es auch an den prothetisch unbelasteten Implantaten zu einem Knochenabbau kam. Zur Erklärung dieses Ereignisses werden in der Literatur mehrere Einflussfaktoren genannt.

Der Knochenabbau, der vor prothetischer Belastung stattgefunden hat, kann auf folgende Faktoren zurückgeführt werden:

- Ein unvermeidbares chirurgisches Trauma während der Operation
- Das forcierte Eindrehen der Implantate in die Knochenkavität (Adell et al. 1981)
- Das Einstellen einer neuen biologischen Breite (Cochran et al. 1997). Darunter wird die Breite der periimplantären epithelialen und bindegewebigen Weichgewebsmanschette verstanden, welche die Distanz zwischen dem Rand des periimplantären Gewebes und erstem Knochen – Implantat – Kontakt determiniert.

- Speziell bei ITI Implantaten die Insertion des maschinieren Implantatanteils unterhalb des Knochenniveaus (Hämmerle et al. 1996)

So kann es alleine durch die Deperiostierung und Freilegung des Alveolarkamms während der Operation zu einem Knochenverlust von bis zu 1 mm kommen. Auch ein zu schnelles Eindrehen der Implantate muss vermieden werden, da es hier, durch den zu großen Druck zwischen Implantat und Kieferknochen, zu Drucknekrosen im Knochenlager kommen kann. Dies kann zu einer verschlechterten Osseointegration bis hin zur völligen bindegewebigen Umscheidung des Implantats führen. Auf die Problematik der biologischen Breite wird weiter unten gesondert eingegangen.

Der größere Teil des Knochenabbaus, der innerhalb der ersten Belastungsphase auftritt, kann auf die Einleitung von Kräften in den Knochen und die daraus resultierenden adaptativen Vorgänge (Remodelling) verantwortlich gemacht werden. Kitamura et al. konnten dies in einer Studie von 2003 explizit belegen. Dabei wurde die auftretende Belastung bei ITI Implantaten in einem Modell dreidimensional ermittelt. Jede einwirkende Kraft auf das Implantat wird direkt in den Knochen weitergeleitet. Dabei entstehen bei axialer, also physiologischer Belastung, die größten Druckspitzen in der kortikalen Zone um den Implantathals herum. Diese Erkenntnis aus dem Modellversuch wurde folgendermaßen biologisch gedeutet:

Durch den erhöhten Druck kommt es zu einer Verminderung der Blutversorgung innerhalb des kortikalen Knochenanteils. Ist dieser Druckanstieg zu groß, kann es zu Zellnekrosen im Lagergewebe kommen. Diese nekrotisch gewordenen Knochenanteile werden dann in einem zweiten Schritt vom Körper abgebaut.

Die Resorption des marginalen Knochenanteils unter Belastungseinfluss ist folglich eine physiologische Anpassung des knöchernen Komplexes an die Belastungssituation. Allerdings ist auch nach Abschluss dieser ersten physiologischen Reaktionen die Höhe des periimplantären Knochens keine konstante Größe, sondern wird zeitlebens An- und Umbauvorgängen unterworfen.

In der Folgezeit der prothetischen Belastungsperiode der Implantate resultiert ebenfalls ein wenn auch viel geringerer, aber dennoch langsam fortschreitender periimplantärer Knochenverlust. Dieser Knochenabbau findet auch ohne klinisch erkennbare periimplantäre Entzündungszeichen statt.

Berücksichtigung fand in der vorliegenden Studie auch der Zusammenhang zwischen der inserierten Implantatlänge und des resultierten periimplantären Knochenabbaus. Dabei konnte in diesem Patientengut kein statistisch signifikanter Zusammenhang der beiden Messgrößen gefunden werden. Da im Rahmen dieser Studie versucht wurde, möglichst Implantate mit einer Länge von 10 mm oder mehr zu inserieren, konnte bei der späteren prothetischen Versorgung der Implantate ein günstiges Implantat- Kronenlängenverhältnis realisiert werden. Somit wurden die durch die Suprakonstruktion auf das Implantat einwirkenden Hebelkräfte reduziert.

In der internationalen Literatur wird immer wieder ein Wert von 0,2 mm pro Jahr für den periimplantären Knochenabbau, den Albrektson et al. 1986 in einer Studie als ein Erfolgskriterium der Implantation postulierten, angegeben und allgemein anerkannt.

Bei unseren Patienten konnte ein mittlerer jährlicher Knochenabbau von 0,33 mm sowohl für die mesiale als auch für die distale Seite ermittelt werden. Dieser Wert liegt über dem Wert von 0,2 mm. Allerdings zeigten n=7 Implantate in der vorliegenden Studie entzündlich bedingt deutlich höhere Knochenabbauraten. Bei dem von Albrektson et al. 1986 postuliertem Wert von 0,2 mm pro Jahr wurde der höhere Knochenabbau im ersten Jahr nach prothetischer Belastung des Implantates nicht berücksichtigt. Als Ausgangspunkt zur Berechnung des jährlichen periimplantären Knochenabbaus wurde die knöcherne Situation nach einem Jahr der prothetischen Belastung gewählt.

In unserer Studie konnte wie schon oben erwähnt dieses erste Jahr nicht herausgerechnet werden. Dadurch bezieht sich der Wert von 0,33 mm für die mesiale und distale Seite aus der hier vorliegenden Studie auf den jährlichen Knochenabbau über einen maximalen Beobachtungszeitraum von sieben Jahren und einer mittleren Nachbeobachtungszeit von 39 Monaten.

Hämmerle et al. untersuchten in einer Studie von 1996 die Höhe des im ersten Jahr nach Implantatinsertion eintretendem Knochenverlustes an ITI Implantaten am Menschen. Dabei resultierte ein Knochenverlust zwischen 1 – 2 mm, je nachdem, ob die Grenzfläche zwischen rauher und polierter Oberfläche auf Knochenniveau oder darunter inseriert worden war.

Wäre es möglich gewesen, die hohen Werte des periimplantären Knochenabbaus während des ersten Jahres auch in unserer Untersuchung exakt zu bestimmen und

herauszurechnen, so wäre der Wert für den jährlichen Knochenverlust wahrscheinlich unter die Marke von 0,2 mm pro Jahr gefallen.

Ein weiteres Augenmerk lag in der hier vorliegenden Studie auf der Höhe des zu erwartenden Knochenabbaus über die Funktionsphase der Implantate in unserem Untersuchungszeitraum. Dabei war von Interesse, in welcher Weise der periimplantäre Knochenabbau mit steigender Funktionsdauer der Implantate ansteigt oder ob sich eine weitgehend konstante Situation einstellen wird.

Wir verwendeten zur Veranschaulichung unserer Datenlage ein exponentielles Modell (vgl. Abbildung 7 und 8, S. 39 und 40), weil wir aufgrund der gewonnenen Daten nicht davon ausgehen konnten, dass sich der Knochenabbau in unserem Modell stetig erhöht, sondern eher die Tendenz ersichtlich war, dass er sich einem Grenzwert annähert.

Durch statistische Annäherung konnte ein Wert von 2,09 mm für den periimplantären Knochenabbau über einen Zeitraum von 7 Jahren errechnet werden.

Die Aussagekraft dieses Wertes ist aufgrund der kleinen Anzahl unserer untersuchten Implantate und der nicht vorhersagbaren möglicherweise entzündlich bedingten höheren Knochenabbauraten eingeschränkt. Um darüber wirklich fundierte Aussagen treffen zu können, bedarf es Studien mit größeren Fallzahlen und längerer Nachbeobachtungszeiten.

#### 6.1.2. Knochenbau und Restknochenhöhe

Die Fragestellung ob die präoperativ vorhandene Restknochenhöhe einen Einfluss auf den gemessenen periimplantären Knochenabbau ausübt, sollte in dieser Studie statistisch geprüft werden. Hierzu wurden die im Rahmen der Nachuntersuchung angefertigten Orthopantomogramme vermessen, der Knochenabbau ermittelt und in Bezug zur präoperativ vorhandenen Restknochenhöhe gesetzt. Es konnte im Patientengut dieser Studie kein statistisch signifikanter Zusammenhang dieser beiden Faktoren gefunden werden. Dies bedeutet, dass in unserem Patientengut der gemessene periimplantäre Knochenabbau unabhängig von dem Ausmaß der erfolgten Augmentation gewesen ist.

Aus nachfolgenden Gesichtspunkten heraus sollte die Bedeutung der zur Verfügung stehenden Restknochenhöhe nicht unterschätzt werden. Der vitale eigenständige Knochen besitzt immer noch die besten Voraussetzungen für die erfolgreiche Osseointegration von dentalen Implantaten. Er bietet bei ausreichender Höhe ein primärstabiles Implantatlager und determiniert nicht zuletzt durch seine jeweilige dreidimensionale Ausdehnung die Wahl eines offenen oder geschlossenen Operationsverfahrens. So wird in vielen Studien bestätigt, dass die Sinusbodenelevation nach Summers mit simultaner Implantatinsertion nur in Oberkieferbereichen mit ausreichend hohem Restalveolarkamm, der den Implantaten eine sichere Primärstabilität gewährt, angewendet werden soll (Ferrigno et al. 2005, Brägger et al. 2003, Rosen et al. 1999). Viele Autoren sehen in der Restknochenhöhe einen der wichtigsten Einflussfaktoren für den implantologischen Langzeiterfolg beim einzeitigen Vorgehen (Rosen et al. 1999, Toffler 2004). Demzufolge werden in der Literatur bei Restknochenhöhen von 4 mm und weniger verminderte Überlebensraten der Implantate bei einzeitigen Vorgehen angegeben. So konnte Toffler 2004 in einer Studie eine generelle Überlebensrate von 93,5% für alle untersuchten Implantate in Zusammenhang mit Augmentationen nachweisen. Wurden nur die Implantate herangezogen, die bei einer Restknochenhöhe von 4 mm und weniger einzeitig in Kombination mit einer Augmentation des Kieferhöhlenbodens inseriert wurden, fiel die Überlebensrate auf 73,4% ab. Auch andere Autoren berichteten ähnliche Ergebnisse (van den Berg et al. 1998, Hirsch et al. 1991). Dieser Sachverhalt konnte in der hier vorliegenden Studie nicht bestätigt werden, da es in dem in dieser Studie nachuntersuchten Patientengut zu keinem Implantatverlust über unseren Untersuchungszeitraum gekommen war.

Damit auch bei reduzierter Restknochenhöhe eine simultane Implantation und Augmentation möglich wird kann eine weitere operative Methode, die so genannte Knochenkondensationstechnik, angewendet werden.

Bei dieser Technik kommt es durch den ausgeübten Druck im Knochenlager zur Kompression der Blutversorgung und zu Mikrofrakturen im trabekulärem Knochengeflecht. Durch die daraus resultierende intraossäre Druckerhöhung kann ein Grossteil der in angrenzenden Knochenbereichen befindlichen Zellen nicht vital erhalten werden. Hierdurch wird die Knochenregeneration in direkter Implantatnähe in der Frühphase der Osseointegration gestört. Folge ist ein verminderter Knochen – Implantat – Kontakt im Vergleich zu konventionell inserierten Implantaten (Büchter

et al. 2004). Aufgrund der oftmals grobmaschigen spongiösen Strukturen des Oberkieferalveolarfortsatzes ist es häufig trotz anfänglicher negativer Einflüsse sinnvoll, eine Knochenkondensation durchzuführen, da durch sie eine erhöhte Primärstabilität der Implantate erreicht werden kann. So kann nicht selten auch im schlechten Lagerknochen eine simultane Implantation und Augmentation ermöglicht werden. Die anfängliche Problematik des verschlechterten Knochen – Implantat – Kontaktes egalisiert sich über den Einheilzeitraum von 3 – 4 Monaten gegenüber den konventionell mit Bohrern inserierten Implantaten (Büchter et al. 2004). Aus diesem Grund findet diese Operationsmethode im posterioren Oberkiefer durchaus ihre Berechtigung und Anwendung (Ferrigno et al. 2005, Brägger et al. 2004, Nkenke et al. 2002, Rosen et al. 1999)

Ein weiteres Problem bei geringen Restknochenhöhen besteht in dem daraus nötig werdenden großen Augmentationsvolumen. Hürzeler et al. untersuchten in einer Studie von 1997 den unterschiedlichen Implantat – Knochen – Kontakt im ortständigem Knochen des Oberkiefers und im Augmentat der Kieferhöhle. Als Augmentationsmaterial wurde Bio Oss® alleine oder in Kombination mit autologem Knochen verwendet. Hürzeler et al. konnten eindeutig zeigen, dass der Implantat – Knochen – Kontakt im Augmentat bei beiden Gruppen schlechter war als im kristallinen Anteil des ortständigen Knochens. So wurden Werte für den direkten Knochen – Implantat – Kontakt zwischen 70% und 80% für den kristallinen Knochen und Werte um die 50% im Augmentat angegeben. Zudem konnten Hürzeler und Mitarbeiter feststellen, dass die Vaskularisierung des Augmentats geringer ist als die des eigenständigen Knochens. Daraus resultiert eine geringere Abwehrlage des Augmentats im Vergleich zum ortständigen Knochen. Ob die sich hieraus ergebende verringerte Resistenz des Augmentats gegenüber eintretenden Keimen, zum Beispiel bei einer progredienten Periimplantitis, zu einem erhöhten Verlustrisiko solcher Implantate führt ist bis zu diesem Zeitpunkt aufgrund fehlender Datenlage noch nicht abzuschätzen.

Als zukunftsorientiert seien die neuen, von vielen Implantatherstellern entwickelten, bioaktiven Oberflächen genannt. Wie schon in der Literaturübersicht erwähnt, sollen diese zukünftigen Implantate aufgrund ihrer neuartigen Oberflächenstruktur einen innigeren und schnelleren Knochen – Implantat – Kontakt herstellen können. Ob dies auch im Augmentat möglich ist, ist fraglich. Die geringe Kontaktfläche zwischen



Implantatoberfläche und Knochen liegt vornehmlich auf der Morphologie des Augmentats begründet und nicht auf dem Oberflächendesign des Implantates.

### 6.1.3. Knochenabbau im Verhältnis zur Insertionstiefe der Implantatschulter

Die Frage nach der anzustrebenden Insertionstiefe, also der Distanz zwischen Implantatschulter und dem krestalen Kieferkammniveau, stellt den Behandler speziell beim ITI System oftmals vor schwierige Entscheidungen. Probleme ergeben sich aufgrund des Implantatdesings: ITI Implantate besitzen in der Standardvariante einen 2,8 mm langen maschinenpolierten Halsbereich. In der Variante „Standard Plus“ wurde dieser Halsbereich, speziell für die Anwendung im ästhetisch sichtbaren Bereich, auf 1,8 mm reduziert. Nach Firmenangaben soll die Grenze zwischen rauher Oberfläche und maschinenpoliertem Anteil der Implantate auf dem Knocheniveau zu liegen kommen, oder sich höchstens 1 mm darunter befinden. Sinn dieses Implantatdesings ist es, den entstehenden Mikrospace, der zwangsläufig zwischen dem Abutment und der Implantatschraube auftritt, möglichst auf oder nur gering unterhalb des Gingivaniveaus zu legen.

Speziell im ästhetisch sichtbaren Bereich stellt dieser polierte Implantatshals jedoch oftmals ein Problem für die Patienten dar. So kann es trotz korrekter Implantatinsertion durch Resorptionserscheinungen der periimplantären Hart- und Weichgewebe zur Demarkation der Implantatschulter kommen. Als Folge können der dunkle titanfarbene Anteil des Implantats sowie der Kronenrand sichtbar werden.

Um diese ästhetische Einbuße, die von vielen Patienten als sehr störend empfunden wird, zu reduzieren, wird der Operateur teilweise dazu verleitet den Halsbereich der ITI Implantate tiefer in die Knochenkavität einzubringen um ein sekundäres Sichtbarwerden der Implantatanteile zu vermeiden. Die Frage nach der individuell korrekten Implantatpositionierung stellt den Behandler immer wieder vor Kompromisslösungen und erfordert viel Erfahrung im Umgang mit diesem Implantatsystem.

In der vorliegenden Studie wurde untersucht, ob die Insertionstiefe der Implantate in unserem Patientengut einen Einfluss auf die Größe des periimplantären Knochenabbaus ausübt. Es konnte eine statistisch höchst signifikante Korrelation zwischen der Insertionstiefe der gesetzten Implantate und dem resultierenden Knochenabbau gefunden werden. So konnten wir anhand unserer Ergebnisse belegen, dass es zu einer erhöhten Knochenresorption periimplantär kam, je näher

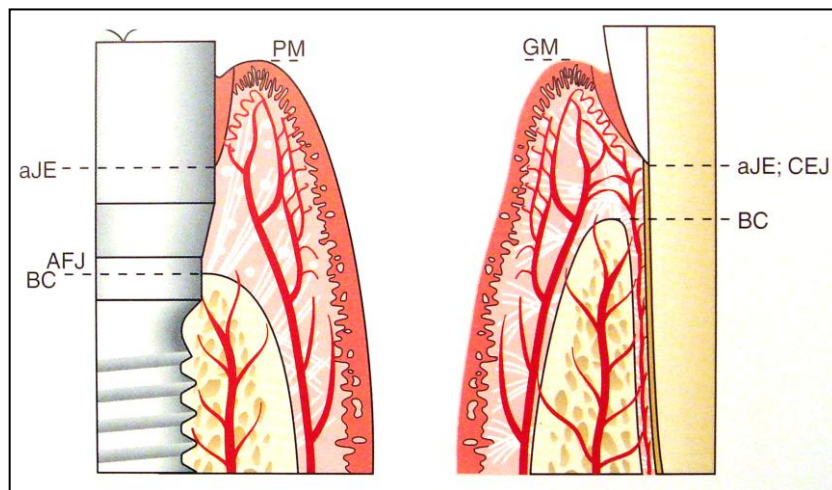
die Implantatschulter mit dem Kieferknochen in Kontakt stand. Dieses Phänomen konnten auch Hämmerle et al. in ihrer Studie von 1996 beobachten. Sie untersuchten den Effekt auf den periimplantären Knochen, wenn die Grenzfläche zwischen rauer und maschinenpolierter Oberfläche von ITI Implantaten unterhalb des Knochenlevels gesetzt wurde. In der Studie von Hämmerle et al. wurden bei Patienten zwei ITI Implantate nebeneinander im selben Quadranten implantiert. Bei einem Implantat lag die Grenze zwischen rauer und polierter Oberfläche direkt auf Höhe des Alveolarknochens, beim anderen Implantat wurde diese Grenze 1 mm unter das Alveolarkammniveau gelegt. Nach erfolgreicher Osseointegration wurden die Implantate prothetisch belastet und die Höhe des periimplantären Knochenabbaus beider Implantate miteinander verglichen. Die Implantate, deren glatte Oberfläche direkt auf dem Kieferkammniveau begann, zeigten einen durchschnittlichen Knochenabbau von 1,02 mm, die 1 mm tiefer liegenden Implantate zeigten einen durchschnittlichen Knochenabbau von 2,26 mm. Als Erklärung für den erhöhten Knochenabbau der tiefer liegenden Implantate wird der Begriff der „biologischen Breite“ an Implantaten genannt, also die Distanz zwischen Implantatschulter und erstem Knochen – Implantat – Kontakt. Gargiulo et al. fanden schon 1961 in einer Studie an Humanpräparaten eine sich immer wieder gleichende Distanz zwischen Weich- und Knochengewebe an menschlichen Zähnen. Dabei wurden Werte von 0,97 mm für das epitheliale Attachment und von 1,07 mm für das bindegewebige Attachment ermittelt. Beide Werte zusammen ergeben die „biologische Breite“ an natürlichen Zähnen.

Brägger et al. konnten 1992 auch an dentalen Implantaten das Auftreten einer solchen bindegewebigen und epithelialen Zone nachweisen. In dieser Studie wurde sämtliches Gewebe am Hals von osseointegrierten Implantaten chirurgisch entfernt. Nach Abheilung der Wunden konnte eine erneute Bildung der epithelialen und bindegewebigen Schicht erkannt werden. Diese Zone blieb stabil solange das periimplantäre Weichgewebe in gesundem Zustand war.

Auch in Tierversuchen wurde das Interface zwischen Implantatoberfläche und Weichgewebe genau untersucht. Es konnten suprakrestale bindegewebige Faserapparate ähnliche denen an natürlichen Zähnen nachgewiesen werden. Dabei wurden Werte zwischen 1,5 und 1,7 mm für ein bindegewebiges Attachment gemessen. Dieses bindegewebige Attachment ist vergleichbar mit der Funktion der biologischen Breite an natürlichen Zähnen, da es ebenfalls das Epithel an einer

Apikalproliferation hindert. Histomorphologisch besteht ein großer Unterschied zwischen dem bindegewebigen Attachment an Zahn und Implantat. Aufgrund der fehlenden Zementschicht an Implantaten ist es den Bindegewebsfasern unmöglich, wie am natürlichen Zahn, direkt am Implantat zu inserieren. In direkter Implantatnähe sind die kollagenen Fasern parallel zur Implantatoberfläche ausgerichtet. Sie bilden also kein direktes Attachment im eigentlichen Sinne, sondern formen mehr eine Art dicht anliegenden Narbenring um das Implantat herum. Das epitheliale Attachment gleicht in seiner Form und Ausdehnung weitgehend dem an natürlichen Zähnen. Hier findet genau wie am Zahn auch eine epitheliale Anhaftung über ein Saumepithel statt. So wird ein dichter Abschluss zwischen Implantat und Epithel, der zum Schutz der darunter liegenden Strukturen von großer Bedeutung ist, im gesunden Zustand erreicht (Palacci et al. 1995).

All diese Gesichtspunkte werden in Abbildung 15 bildlich verdeutlicht.



**Abbildung 15** Anatomie der Hart- und Weichgewebe am Implantat (links) und natürlichem Zahn (rechts). Die epithelialen Strukturen des Zahnes und am Implantat gleichen sich weitgehend. Die Kollagenfasern des Bindegewebes inserieren nicht direkt an der

Implantatoberfläche. Im Parodont erfolgt gegenüber der periimplantären Mukosa eine zusätzliche Blutversorgung aus dem Desmodontalspalt. PM = periimplantärer Margo, aJE = apikales Ende des Saumepithels, AFJ = Verbindung der Distanzhülse mit dem Implantat, BC = erster krestaler Knochen – Implantat – Kontakt, GM = Gingivarand, CEJ = Schmelzzementgrenze (Abb. aus Palacci et al. 1995)

#### 6.1.4. Knochenabbau und Hygienefaktoren

Dentale Implantate penetrieren genau wie natürliche Zähne die Mundschleimhaut und stehen so direkt mit der Mundhöhle in Kontakt. Sie benötigen aus diesem Grund in Analogie zum Zahnapparat eine stabile und schützende Schleimhautmanschette, welche die intraossären Anteile des Implantats vor den Einflussfaktoren der Mundhöhle schützt. Im gesunden Zustand ist die periimplantäre Weichgewebsmanschette bestehend aus epithelialen und bindegewebigen Anteilen in der Lage, diese Schutzfunktion, ähnlich wie am natürlichen Zahn, auszuüben und somit den knöchernen Komplex zu schützen. Möglicherweise ist die Infektabwehr des periimplantären Gewebes gegenüber dessen an natürlichen Zähnen jedoch eingeschränkt. Das periimplantäre Weichgewebe ähnelt einem minderdurchblutetem Narbengewebe. Zudem fehlt im Vergleich zum Parodont die Blutversorgung aus dem Desmodont (Berglundh et al. 1994), was zu einer verminderten Immunantwort auf eindringende Mikroorganismen führen kann. (Vgl. dazu auch Abb. 15)

Diese Faktoren verdeutlichen, dass eine adäquate Mundhygiene zum Langzeiterfolg dentaler Implantate von essentieller Bedeutung ist. Linquist et al. untersuchten 1988 in einer Studie zahnlose Patienten. Zahnlose Menschen besitzen keinerlei parodontale pathogene Mikroflora in der Mundhöhle. Alle Patienten in dieser Studie wurden mit einem implantatgetragenen Zahnersatz prothetisch versorgt. Bei den Patienten die eine schlechte Mundhygiene aufwiesen, zeigte sich ein signifikant höherer periimplantärer Knochenabbau als in der Kontrollgruppe mit guter Mundhygiene.

Es ist folglich von entscheidender Bedeutung, ein Implantat genauso intensiv zu pflegen und zu reinigen wie einen natürlichen Zahn. Kommt es aufgrund mangelnder Pflege zur Plaqueretention an Implantaten, reagiert das periimplantäre Weichgewebe mit Entzündungsreaktionen.

Im ersten Schritt der periimplantären Entzündung kommt es zur begrenzten Entzündungsreaktion der periimplantären Weichgewebe. Dieser Pathomechanismus wird als periimplantäre Mukositis bezeichnet.

Folgende klinisch auftretende Symptome beschreiben das Krankheitsbild (Mombelli & Lang 1998):

- Radiologisch erkennbarer periimplantärer Knochenverlust. Dabei ist oft ein schüsselförmiger Defekt um das Implantat erkennbar, wobei der untere Anteil des Implantats vollständig osseointegriert bleibt
- Auftreten von periimplantären Zahnfleischtaschen
- Eine Schwellung der periimplantären Weichgewebe kann auftreten
- Schmerzen sind für das Krankheitsbild atypisch

Die qualitative zelluläre Zusammensetzung des auftretenden Infiltrats entspricht weitgehend der eines Infiltrats bei einer Gingivitis (Leonhardt et al. 1992). Die periimplantäre Mukositis stellt immer eine reversible Erkrankung dar. Durch entsprechende Entfernung der am Implantat anhaftenden Beläge eventuell in Kombination mit der Anwendung von keimzahlreduzierenden Mundspüllösungen kann im Idealfall eine vollständige Ausheilung erreicht werden (Koeck & Wagner 2004).

Im Patientengut dieser Studie konnte an n=48 Implantaten eine periimplantäre Entzündungsreaktion in Form von Blutung auf Sondierung nachgewiesen werden. Dies entspricht einem Anteil von 34,78 % aller untersuchten Implantate. Roos-Jansaker et al. konnten in einer kürzlich veröffentlichten Studie von 2006(a) eine ähnliche Verteilung feststellen. Im Rahmen unseres Recall – Programms wurden die betroffenen Implantate gründlich gereinigt und mit Chlorhexidin-Lösung gespült, was in allen Fällen zu einer Ausheilung der Entzündungsreaktion führte. Zusätzlich wurden am Restgebiss alle anhaftenden Beläge entfernt und die Zahnflächen poliert, um eine Keimzahlreduktion in der gesamten Mundhöhle zu erreichen.

Dass die initiale periimplantäre Entzündung nicht zu einem Knochenabbau führt, bestätigt auch die Datenlage der hier vorliegenden Studie. So wurden alle erhobenen Hygienefaktoren (mBI, mPI, PD) in Relation zum gemessenen Knochenabbau gesetzt. Dabei konnte keine signifikante Korrelation der Ereignisse mit dem periimplantären Knochenabbau gefunden werden (Vgl. Tab. 5 Anhang).

---

Schreitet die entzündliche Erkrankung fort, entsteht das Krankheitsbild der Periimplantitis. Die Periimplantitis ist definiert als ein entzündlicher Prozess, der das periimplantäre Gewebe von osseointegrierten und in Funktion stehenden Implantaten betrifft und in einem Verlust des umgebenden Knochens resultiert (1st European Workshop on Periodontolog, Publiziert von Lang et al. 1994).

Von allen Implantaten, die im Rahmen dieser Studie nachuntersucht worden waren, konnten an n=7 von n=138 osseointegrierten Implantaten, die auf 4 Patienten verteilt waren, periimplantäre Entzündungszeichen mit Knochenabbau gefunden werden. All diese Implantate zeigten erhöhte Sondierungstiefen und größere periimplantäre Knochenabbauraten. Bei Taschensondierung resultierte eine starke Blutung jedoch ohne putride Sekretion.

Wieso war es bei diesen Patienten zu einer solch fortgeschrittenen Entzündungsreaktion gekommen?

Fest steht, dass das Auftreten einer periimplantären Erkrankung mit einer bakteriellen Besiedlung des umliegenden Weichgewebes einhergeht (Mombelli et al. 1998, Beikler et al. 2005). Lindhe und Mitarbeiter waren die ersten, die in einer 1992 veröffentlichten Studie an Hunden zeigen konnten, dass eine Plaqueakkumulation um das Implantat herum, die durch das Legen von Ligaturen induziert wurde, eine periimplantäre Entzündungsreaktion mit Knochenabbau auslöst. Die dabei ablaufenden Reaktionen sind mit denen an natürlichen Zähnen vergleichbar. Zahlreiche weitere Untersuchungen an Tiermodellen folgten und bestätigten diese Ergebnisse (Warrer et al. 1995, Persson et al. 1996, Tillmann et al. 1997 und 1998, Nociti Jr et al. 2001).

Auch an verloren gegangenen Implantaten von Menschen konnten durch histologische Aufarbeitungen hohe Bakterienzahlen, besonders die der gram-negativen anaeroben Gattungen, gefunden werden (Mombelli et al. 1987, Becker et al. 1990).

Die im Rahmen dieser Untersuchung gewonnen klinischen Erkenntnisse stimmen mit dieser plaqueinduzierten Hypothese für die Entstehung einer Periimplantitis überein. Alle vier Patienten kamen nicht regelmäßig in unser Recall – Programm. Weiterhin zeigten sich bei diesen Patienten erhöhte Plaquemengen um das Implantat herum und ließen auch Pflegedefizite im Restgebiss erkennen. Bei allen anderen Patienten, die regelmäßig zum Recall erschienen und eine adäquate Mundhygiene zeigten,

konnten keine periimplantären Entzündungsreaktionen mit Knochenabbau beobachtet werden.

Für eine erfolgreiche Prävention von periimplantären Erkrankungen sind nicht nur die Hygienemaßnahmen des Patienten ausschlaggebend, sondern auch eine korrekte Gestaltung der Suprakonstruktion sowie die Etablierung optimaler periimplantärer Weichteilverhältnisse durch den Behandler. Dabei kann oftmals schon der Eingriff der Implantatinsertion entscheidend sein. Im vorherigen Kapitel konnte gezeigt werden, dass je tiefer die Implantate in den Knochen inseriert worden waren, der periimplantäre Knochenabbau anstieg. Dieser Knochenabbau resultiert in einer erhöhten Sondierungstiefe am Implantat. Rutar et al. konnten 2001 zeigen, dass die bakterielle Besiedlung von periimplantären Zahnfleischtaschen mit steigender Taschentiefe signifikant zunimmt. Dabei verschiebt sich das Keimspektrum in Richtung der gram-negativen anaeroben Bakterienkolonien. Es konnten Keime, die für eine Parodontalerkrankung an Zähnen hauptverantwortlich sind, wie bewegliche Spirochätenfamilien, oder *Porphyromonas Gingivalis*, aus den Taschenkolonien extrahiert werden. Auch Mombelli & Mericske-Stern 1990 und Papioannou et al. 1996 kamen zu einer vergleichbaren Korrelation zwischen klinischen Messwerten und mikrobiologischen Daten. Es scheint anhand der Literaturdatenlage, dass allein durch eine ungünstige Implantatpositionierung eine Prädisposition für eine periimplantäre Erkrankung vorliegen kann. Da keiner der im Rahmen dieser Studie untersuchten Patienten mit geringen Sondierungstiefen das Bild einer periimplantären Erkrankung mit Knochenverlust aufwies, ist die Taschentiefe als Prädispositionsfaktor anzunehmen. Alle sieben betroffenen Implantate zeigten höhere Sondierungstiefen als 4 mm.

Als wichtiger Kofaktor für die Pathogenese einer Periimplantitis ist das Rauchen bekannt. Die Rauchgewohnheiten wurden jedoch in der hier vorliegenden retrospektiven Studie nicht mit erfasst.

Die gemessene Höhe der periimplantären befestigten Schleimhaut wurde in Bezug zum resultierten Knochenabbau gesetzt. Dieser Parameter zeigte ebenfalls keine statistisch signifikante Korrelation zur Höhe des Knochenabbaus. Ob das Vorhandensein einer periimplantären, fest angewachsenen, nicht beweglichen Schleimhaut für einen Langzeiterfolg der Implantation notwendig ist, wird bis heute



kontrovers diskutiert. In zahlreichen Studien konnten wie auch in dieser Studie keine Korrelation zwischen der Breite der keratinisierten Gingiva und klinischen Entzündungsfaktoren (Plaqueindex, Blutungsindex, Sondierungstiefe) oder dem resultierendem Knochenabbau gefunden werden (Behneke et al. 1999, Brägger et al. 1997, Mericske-Stern et al. 1994). Das Vorhandensein einer unbeweglichen periimplantären Schleimhaut erleichtert dem Patienten eine adäquate Reinigung des Implantates, indem sie eine feste Gewebemanschette um den Implantathals bildet und so eine subgingivale Plaqueretention weitgehend verhindert. Ist ein Implantat nur von beweglicher Schleimhaut umgeben, so kann es im Oberkiefer – Seitenzahnbereich durch die Wangenbewegung zur Bewegung dieser periimplantären Schleimhaut kommen. Bei jeder Bewegung der Wange wird so die periimplantäre Schleimhaut leicht von der Implantatoberfläche abgehoben. Dadurch bildet sich eine Art Pseudotasche, die eine Reinigung des Implantates für den Patienten deutlich erschwert und eine subgingivale Plaqueretention eher ermöglicht als bei einer festen periimplantären Mukosa.

### 6.1.5. Langzeiterfolge der Implantation

Langzeiterfolge in der Literatur sind nur bedingt miteinander vergleichbar. Ein Problem besteht durch die herangezogenen Auswahlkriterien welche für die Definition eines implantologischen Erfolgs herangezogen wurden. Manche Autoren bezeichnen nur den Implantatverlust an sich in ihren Überlebenszeitanalysen als Misserfolg (Adell et al. 1981, Naert et al. 1991, Richter et al. 1992). Andere Autoren verwenden ganz spezielle Parameter zur Klassifikation eines Implantaterfolges. Dabei war die Arbeitsgruppe um Albrektsson et al. 1986 die erste, die mehrere Kriterien für einen zu wertenden Implantaterfolg postulierte. In den Folgejahren wurden auch von anderen Arbeitsgruppen unterschiedliche Kriterien definiert. In Tabelle 4 befindet sich eine detaillierte Zusammenstellung der verschiedenen aufgestellten und anerkannten Erfolgskriterien.

**Tabelle 4** Erfolgskriterien für enossale Implantate. Zusammenfassung nach Weibrich et al. 2000

<b>Albrektsson et al. 1986</b>	<b>Buser et al. 1990</b>	<b>Schnittman &amp; Shulman 1990</b>	<b>Jahn &amp; d'Hoedt 1992</b>
Implantat in situ	Implantat in situ	Implantat in situ	Implantat in situ
Lockerungsgrad 0	Lockerungsgrad 0	Lockerungsgrad 0	Lockerungsgrad 0
Keine periimplantäre Radiotransluzenz	Keine persistierende periimplantäre Radiotransluzenz	Eine röntgenologische periimplantäre Radioluzenz wird graduiert, trägt aber nicht zur Erfolgsdefinition bei	Das Implantat darf keinen zweiseitig durchgehenden Spalt mit einer Breite von 0,5 mm im Röntgenbild aufweisen
Der vertikale Knochenabbau ist geringer als 0,2mm/Jahr nach dem ersten Jahr der Liegedauer		Der vertikale Knochenabbau ist nicht größer als ein Drittel der vertikalen Implantatlänge	Der anguläre Knochendefekt darf nicht mehr als drei Zehntel des konstruktiv enossalen Implantatabschnitts betragen
Keine Zeichen einer Infektion (PD ab 4mm wurde als Infektion gewertet)	Keine periimplantäre Infektion mit putrider Sekretion	Gingivitis der Therapie zugänglich. Keine Zeichen der Infektion	Die Sulkustiefe darf nicht mehr als 4 mm bei zwei aufeinander folgenden Kontrollen zeigen
Keine Verletzung von Nerven; Zufriedenheit mit der proth. Versorgung	Keine andauernden Beschwerden (Schmerz, Fremdkörpergefühl, Dysästhesien)	Keine Verletzung von Nerven, Zähnen, Kieferhöhle oder Nasenboden	die subjektive Bewertung des Implantates durch den Patienten nicht schlechter als 3

Die Erfolgskriterien nach Albrektsson et al. 1986 stellen bis heute einen allgemein akzeptierten und in vielen Studien verwendeten Maßstab zur Beurteilung eines Langzeitimplantaterfolges dar. In der hier vorliegenden Studie wurden die Kriterien nach Buser et al. 1990 herangezogen. Sie beziehen als einzige den periimplantären Knochenabbau nicht in die Überlebensprognose mit ein. Vielmehr spielt hier der Entzündungsgrad des periimplantären Weichgewebes für einen Langzeiterfolg eine entscheidende Rolle. Dass der Entzündungsgrad des periimplantären Gewebes ein maßgebender Faktor für einen Implantaterfolg über viele Jahre darstellt, konnte Buser et al. 1997 in einer Studie zeigen. Sie untersuchten 2359 ITI Implantate in einem Beobachtungszeitraum von acht Jahren. Über diesen Zeitraum mussten wegen periimplantärer Entzündungsreaktionen nur fünf Implantate chirurgisch entfernt werden, obwohl periimplantäre Entzündungszeichen an zahlreichen Implantaten klinisch nachgewiesen werden konnten. Buser et al. schlossen daraus, dass Implantatverluste auf ein Minimum reduziert werden können, wenn Entzündungen in ihrem initialen Stadium erkannt und entsprechend therapiert werden. Die Gesundheit der periimplantären Weichgewebe scheint ein maßgebender Faktor für einen Langzeiterhalt dentaler Implantate zu sein. In der vorliegenden Studie konnte eine Erfolgsquote von 100% über einen mittleren Untersuchungszeitraum von 39 Monaten erzielt werden. So wurden die guten Langzeitergebnisse einer dentalen Implantation in Kombination mit einer Sinusbodenelevationsoperation erneut bestätigt. Wie schon im Kapitel 6.1.4 erwähnt wurden an mehreren Implantaten Zeichen einer diskreten periimplantären Entzündungsreaktion beobachtet. Aufgrund der frühzeitigen Diagnose konnte durch entsprechende Therapien sämtliche Entzündungen ausgeheilt werden. Ein derart gutes Langzeitergebnis konnte nur durch größte chirurgische Sorgfalt während der Implantation in Kombination mit einem engmaschigen Recall – Programm erreicht werden.

Als abschließende Aussage konnte auch in dieser Studie gezeigt werden, dass dentale Implantate selbst in der schwierigen posterioren Oberkieferregion eine zuverlässige und auf lange Sicht stabile Art der prothetischen Rehabilitation bei Zahnverlust darstellen.

## 7. Zusammenfassung

Die dentale Implantologie stellt heute eine allgemein akzeptierte und anerkannte Therapievariante bei Zahnverlust dar. Speziell der posteriore Oberkiefer besitzt aufgrund der oftmals fortgeschrittenen Atrophie des Alveolarknochens verbunden mit einer Expansion der Kieferhöhle eine Sonderstellung in der Implantologie. So ist es in diesem Bereich von entscheidender Bedeutung ein Knochenlager zu schaffen, das die primärstabile Aufnahme von dentalen Implantaten ermöglicht. Um dieses Ziel zu erreichen hat sich heutzutage die Sinusbodenaugmentation nach Tatum oder ihre Modifikation nach Summers etabliert.

In dieser Studie wurden 72 Patienten mit insgesamt 138 ITI Implantaten, die in 95 augmentierten Kieferhöhlen lokalisiert waren, klinisch und radiologisch nachuntersucht. 98 der inserierten 138 Implantate wurden im offenen Verfahren nach Tatum, davon 75 simultan und 23 in einem Zweiteingriff, inseriert. Die restlichen 40 Implantate wurden im geschlossenen Vorgehen nach Summers gesetzt.

Ziel dieser Studie war es, unterschiedliche Einflussfaktoren für den periimplantären Knochenabbau an Implantaten, die in Kombination mit einer Sinusbodenelevationsoperatin inseriert wurden, klinisch und radiologisch zu untersuchen. Spezielles Augenmerk wurde dabei der präoperativ vorhandenen Restalveolarkammhöhe gewidmet. Es sollte untersucht werden, ob sie in direktem Zusammenhang mit der Höhe des zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung gemessenen Knochenabbaus steht. Folgende klinischen Messgrößen zur Untersuchung des periimplantären Weich- und Hartgewebes wurden im Rahmen dieser Nachuntersuchung erhoben:

Klopfschall, Mobilität, modifizierter Blutungsindex (mBI), modifizierter Plaqueindex (mPI), Breite der keratinisierten periimplantären Gingiva sowie die Art der Suprakonstruktion. Die vorhandenen periimplantären knöchernen Strukturen wurden auf Basis von Orthopantomogrammen interpretiert. Die auf den postoperativen Röntgenbildern gemessenen Strecken wurden verglichen und daraus der resultierte Knochenabbau errechnet. Es ergab sich in unserem Patientengut ein über einen mittleren Beobachtungszeitraum von 39 Monaten gemittelter periimplantärer

Knochenabbau von 1,28 mm. Der jährliche durchschnittliche Knochenabbau betrug 0,33 mm. Allerdings stieg der gemessene Knochenabbau in diesem Patientengut nicht linear über den Untersuchungszeitraum an, sondern folgte eher einem exponentiellen Modell. Durch mathematische Annäherung konnte ein Grenzwert von 2,09 mm für den zu erwartenden Knochenabbau errechnet werden.

Zu der Frage, ob die periimplantär vorhandene Restknochenhöhe einen Einfluss auf die Höhe des resultierenden Knochenabbaus am Implantat ausübt, konnten wir in unserem Patientengut keine statistisch signifikante Korrelation finden ( $p = 0,1$  n.s.;  $\tau = -0,06$  n.s.).

Ein Parameter, der jedoch in dieser Studie direkt mit der Höhe des periimplantären Knochenverlustes in Beziehung stand, war die Insertionstiefe der Implantate. Je tiefer die Schulter der ITI Implantate unter dem krestalen Kieferknochen lag, umso höher war der bei der Nachuntersuchung gemessene Knochenverlust. Statistisch konnte dieser Zusammenhang mit Werten von  $p = 0,00056$  bzw.  $0,00027$  für die mesiale und distale Seite sowie Kendall Tau Werten von  $0,26$  bzw.  $0,27$  gesichert werden. Im Einklang mit anderen vergleichbaren Studien wurde dies der Entstehung einer neuen biologischen Breite am Implantat zugeschrieben.

In unserem Patientengut zeigte kein anderer klinisch erhobener Parameter (mBI, mPI, PD, Breite der keratinisierten Gingiva, Art der Suprakonstruktion) einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit der Höhe des periimplantär gemessenen Knochenverlustes.

Alle inserierten und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchungen kontrollierten Implantate befanden sich in situ und unter prothetischer Belastung. Somit ergab sich eine Überlebensrate von 100% über unseren Untersuchungszeitraum. Keines der Implantate verfehlte die in dieser Studie verwendeten Erfolgskriterien von Buser et al. 1990. So konnte eine Implantaterfolgsquote von 100% erzielt werden.

Der periimplantäre Knochenabbau ist ein multifaktoriell entstehendes Ereignis und konnte in unserem Patientengut keinem Parameter direkt zugeschrieben werden. Ein wesentlicher Einflussfaktor ist in der vorliegenden Studie die primäre Insertionstiefe der Implantate. Für einen langfristigen Implantaterfolg ist nach unserer Auffassung ein

regelmäßiges und engmaschiges Recall – Programm zur Kontrolle und Reinigung der Implantate von entscheidender Bedeutung.

## 8. Literaturverzeichnis

Abensur D, Valentini P.

Welches Material eignet sich zur Sinusaugmentation?

Parodontologie 1999; 1:21-34

Adell R, Lekholm U, Rockler B, et al.

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

Int J Oral Surgery 1981; 10:387-416

Adell R, Lekholm U, Rockler B, et al.

Marginal tissue reactions at osseointegrated titanium fixtures

Int J Oral Maxillofac Implants 1986; 15:39-52

Albrektsson T, Zarb GA, Worthington P, et al.

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

Int J Oral Maxillofac Implants 1986; 1:11-25

Anitua EA

Enhancement of osseointegration by generating a dynamic implant surface

J Oral Implantol 2006; 32:72-76

Artzi Z, Kozlovsky A, Nemcovsky CE, et al.

The amount of newly formed bone in sinus grafting procedures depends on tissue depth as well as the type and residual amount of the grafted material

J Clin Periodontol 2005; 32:193-199

Artzi Z, Weinreb M, Givol N, et al.

Biomaterial resorbability and healing site morphology of inorganic bovine bone and beta tricalcium phosphate in the canine. A 24-month longitudinal histologic study and morphometric analysis

Int J Oral Maxillofac Implants 2004; 19:357-368

Bahat O

Branemark system implants in the posterior maxilla: clinical study of 660 implants followed for 5 to 12 years

Int J Oral Maxillofac Implants 2000; 15:646-653

Becker J, Kirsch A, Schwarz F, et al.

Bone apposition to titanium implants biocoated with a recombinant human bone morphogenetic protein-2 (rhBMP-2). A pilot study in dogs

Clin Oral Investig. 2006; 10:217-224

Becker W, Becker BE, Newman MG, et al.

Clinical and microbiologic findings that may contribute to dental implant failure

Int J Oral Maxillofac Implants 1990; 5:31-38

Behneke A, Behneke M.

Korrelation und Prädikation klinischer und radiologischer Parameter enossaler Implantate.

Ergebnisse anhand einer Longitudinalstudie über 7 Jahre.

Z Zahnärztliche Implantol 1999; 15:209-215

Behrens E, Kolenda I, Terheyden H, et al.

Langzeitergebnisse des ITI – Implantatsystems

Implantologie 2004; 12/2:133-47

Beikler T, Schäfer I, Flemming TF

Strategien zur Diagnose, Prävention und konservativer Therapie periimplantärer Komplikationen

Implantologie 2005; 13:211-222

Berglundh T, Lindhe J

Healing around implants placed in bone defects treated with Bio Oss

Clin Oral Implants Res 1997; 8:117-124

Berglundh T, Lindhe J, Jonsson K, et al.

The topography of the vascular system in the periodontal and peri-implant tissues in the dog

J Clin Periodontol 1994; 21:189-193

Boenninghaus HG, Lenarz T

Hals – Nasen – Ohren – Heilkunde

Springer Verlag 2004, 12. Auflage

Bortz J, Lienert G, Boehnke K

Verteilungsfreie Methoden in der Biostatistik

Springer Verlag 2000; 2. Auflage



---

Boyne PJ, James RA

Grafting of the maxillary sinus floor with autogenous marrow and bone  
J. Oral Surg 1980, 38:613

Branemark PI, Adell R, Albrektsson T, et al.

An experimental and clinical study of osseointegrated implants penetrating the nasal cavity and maxillary sinus

Int J Oral Maxillofac Surg 1984; 42:497-505

Brägger U, Burgin WB, Hämmerle CH, et al.

Associations between clinical parameters assessed around titanium implants and teeth

Clin Oral Implants Res 1997; 8:412-21

Brägger U, Gerber C, Joss A, et al.

Patterns of tissue remodeling after placement of ITI® dental implants using an osteotome technique: a longitudinal radiographic case cohort study

Clin Oral Implants Res 2004, 15:158-66

Büchter A, Kleinheinz J, Meyer U, et al.

Biologisches und biomechanisches Knochenzellverhalten nach Knochenkondensation

Implantologie 2004; 12:271-279

Buser D, Brägger U, Lang NP, et al.

Regeneration and enlargement of jaw bone using guided tissue regeneration

Clin Oral Implants Res 1990; 1:22-32

Buser D, Weber HP, Lang NP.

Tissue integration of non-submerged implants. One-year results of a prospective study with 100 ITI hollow-screen and hollow-cylinder implants

Clin Oral Implants Res 1990; 1:33-40

Cardaropoli G, Wennström JL, Lekholm U.

Peri-implant bone alterations in relation to inter-unit distances

Clin Oral Implants Res 2003; 14:430-436

Chanavaz M.

Maxillary Sinus: Anatomy, Physiology, Surgery and Bone Grafting Related to Implantology – Eleven Years of Surgical Experience (1979-1990)

J Oral Impl. 1990;16:199-209

Christensen DK, Karoussis IK, Joss A, et al.  
Simultaneous or staged installation with guided bone augmentation or transmucosal titanium implants. A 3 – year prospective cohort study  
Clin Oral Implants Res 2003; 14:680-686

Cochran D  
Experimental studies with the new SLActive surface. International Team for Implantology  
World Symposium  
June 18-20, 2005 Munich, Germany

Cochran DL, Nummikoski PV, Higginbottom FL, et al.  
Evaluation of endosseous titanium implants with a sandblasted and acid-etched surface in the canine mandible: radiographic results  
Clin Oral Implants Res 1996; 7:240-252

Cox JF, Zarb GA  
The Longitudinal clinical efficacy of osseointegrated denal implants: A 3 – year report  
Int J Oral Maxillofac Implants 1987; 2:91-100

De Carvalho PS, Vasconcellos LW, Pi J  
Influence of bed preparation on the incorporation of autogenous bone grafts: a study in dogs  
Int J Oral Maxillofac Implants 2000; 15:565-70

Del Fabro M, Testori T, Francetti L, et al.  
Systematic review of survival rates for implants placed in the grafted maxillary sinus  
Int J Periodontics and Restorative Dent. 2004; 24:565-577

Engelke W, Sennhenn-Kirchner S, Schubert C, et al.  
Untersuchungen zur Primärstabilität von Implantaten in Abhängigkeit von der  
Implantatlagerstruktur  
Z Zahnärztl Impl 2005; 21:82-87

Engquist B, Astrand P, Dahlgren S, et al.  
Marginal bone reaction to oral implants: a prospective comparative study of Astra Tech and  
Branemark System implants  
Clin Oral Implants Res 2002; 13:30-37

Ferguson SJ, Brogini N, Wieland M, et al.  
Biomechanical evaluation of the interfacial strength of a chemically modified sandblasted and  
acid-etched titanium surface.  
J Biomed Mater Res A. 2006 Apr 24

---

Ferrigno N, Laureti M, Fanali S, et al.

A long-term follow-up study of non-submerged ITI implants in the treatment of totally edentulous jaws

Clin Oral Implants Res 2002;13:260-73

Ferrigno N, Laureti M, Fanali S

Dental implant placement in conjunction with osteotome sinus floor elevation: a 12 – year life-table analysis from a prospective study on 588 ITI® implants

Clin Oral Implants Res 2006; 17:194-205

Gargiulo AW, Wentz FM, Orban B

Dimensions and relations of the dentogingival junction in humans

Journal of Periodontology 1961; 32; 261-266

Graziani F, Donos N, Needleman I, et al.

Comparison of implant survival following sinus floor augmentation procedures with implants placed in pristine posterior maxillary bone: a systematic review

Clin Oral Implants Res 2004; 15:677-82

Gualini F, Berglundh T

Immunohistochemical characteristics of inflammatory lesions at implants

J Clin Periodontol 2003; 30:14-18

Haas R, Donath K, Födinger M, et al.

Bovine hydroxyapatite for maxillary sinus grafting: comparative histomorphometric findings in sheep

Clin Oral Implants Res 1998; 9:107-116

Hahn TR, Kübler NR.

Die Schaffung eines geeigneten Implantatlagers: Knochentransplantate, Knochenersatzmaterialien und Membranen

Implantologie Journal 2006; 5:6-14

Hallman M, Cederlund A, Lindskog S, et al.

A clinical histologic study of bovine hydroxyapatite in combination with autogenous bone and fibrin glue for maxillary sinus floor augmentation. Results after 6 to 8 months of healing

Clin Oral Implants Res 2001; 12:135-143

Hallman M, Hedin M, Sennerby L, et al.

A Prospective 1-Year Clinical and Radiographic Study of Implants Placed after maxillary Sinus Floor Augmentation With Bovine Hydroxyapatite and Autogenous Bone

J Oral Maxillofac Surg 2002a; 60:277-284

Hallman M, Sennerby L, Llundgren S.

A clinical and histologic evaluation of implant integration in the posterior maxilla after sinus floor augmentation with autogenous bone, bovine hydroxyapatite, or a 20:80 mixture  
Int J Oral Maxillofac Implants 2002b; 17:635-643

Hallman M, Sennerby L, Zetterqvist L, et al.

A 3-year prospective follow-up study of implant-supported fixed prostheses in patients subjected to maxillary sinus floor augmentation with a 80:20 mixture of deproteinized bovine bone and autogenous bone Clinical, radiographic and resonance frequency analysis.  
Int J Oral Maxillofac Surg. 2005;34(3):273-80.

Hallmann M, Zetterqvist L.

A 5-year prospective follow-up study of implant-supported fixed prostheses in patients subjected to maxillary sinus floor augmentation with an 80:20 mixture of bovine hydroxyapatite and autogenous bone.  
Clin Implant Dent Relat Res. 2004;6(2):82-89

Hämmerle CHF, Brägger U, Bürgin W, et al.

The effect of subcrestal placement of the polished surface of ITI implants on marginal soft and hard tissues  
Clin Oral Implants Res 1996; 7:111-119

Hämmerle CHF, Olah AJ, Schmid J, et al.

The biological effect of deproteinized bovine bone on bone neoformation on the rabbit skull  
Clin Oral Implants Res 1997; 8:198-207

Hatano N, Shimizu Y, Ooya K.

A clinical long-term radiographic evaluation of graft height changes after maxillary sinus floor augmentation with a 2:1 autogenous bone/xenograft mixture and simultaneous placement of dental implants.  
Clin Oral Implants Res 2004;15(3):339-45.

Hermann JS, Buser D, Schenk RK, et al.

Biological width around titanium implants. A physiologically formed and stable dimension over time  
Clin Oral Implants Res 2000; 11:1-11

Hermann JS, Buser D, Schenk RK, et al.

Crestal Bone Changes Around Titanium Implants. A Histometric Evaluation of Unloaded Non-Submerged and Submerged Implants in Canine Mandible  
J Periodontol 2000; 71:1412-1424

- 
- Hess P, Romanos G, Nentwig G.  
Sinusbodenaugmentation mit Unterkieferknochenblock und simultaner Implantation.  
Langzeitergebnisse und Literaturvergleich  
Z Zahnärztl Impl 2004;20(3):144-48
- Hürzeler MB, Kirsch A, Ackermann KL, et al.  
Reconstruction of the severely resorbed maxilla with dental implants in the augmented  
maxillary sinus: a 5 – year clinical investigation  
Int J Of Maxillofac Implants 1996;11:466-75
- Jahn M, d'Hoedt B  
Zur Definition des Erfolges bei dentalen Implantaten. Ein Vergleich verschiedener Kriterien.  
Z Zahnärztl Implantol 1992; 8:221-226
- Jensen SS, Aaboe M, Pinholt EM, et al.  
Tissue reaction and material characteristics of four bone substitutes  
Int J Oral Maxillofac Implants 1996; 11:55-66
- Jensen OT, Shulman LB, Block MS, et al.  
Report of the Sinus Consensus Conference of 1996  
Int J Oral Maxillofac Implants 1998, 13:11-32
- John HD, Wenz B  
Histomorphometric analysis of natural bone mineral for maxillary sinus augmentation  
Int J Oral Maxillofac Implants 2004; 19:199-207
- Jovanovic SA, Spiekermann H, Richter EJ.  
Bone regeneration around titanium dental implants in dehiscend defect sites: A clinical study  
Int J Oral Maxillofac Implants 1992; 7:233-245
- Keller W, Brägger U, Mombelli A.  
Peri-implant microflora of implants with cemented and screw retained suprastructures  
Clin Oral Implants Res 1998; 9:209-217
- Kent JN, Block MS  
Simultaneous maxillary sinus floor bone grafting and placement of hydroxapatite coated  
implants  
J Oral Maxillofac Surg 1989, 47:238

Khoury F.

Augmentation of the sinus floor with mandibular bone block and simultaneous implantation: a 6-year clinical investigation

Int J Oral Maxillofac Implants 1999; 14:557-564

Kim YE, Koak JY, Chang IT, et al.

A Histomorphometric Analysis of the Effects of Various Surface Treatment Methods on Osseointegration

Int J Oral Maxillofac Implants 2003; 18:349-356

Kitamura E, Stegaroiu R, Nomura S, et al.

Biomechanical aspects of marginal bone resorption around osseointegrated implants: consideration based on a three-dimensional finite element analysis

Clin Oral Implants Res 2004; 15:401-412

Koeck B & Wagner W

Praxis der Zahnheilkunde Implantologie

Urban & Fischer 2. Auflage 2004

Krekeler G, Schilli W, ten Buggenkate C, et al

Sinusbodenaugmentation – eine zuverlässige Methode zur Verbesserung der Implantatregion?

Z Zahnärztl Implantol 1998;14:198-207

Lang J.

Clinical Anatomy of the Nose, Nasal Cavity and Paranasal Sinuses

New York: Medical Publishers, 1989

Lang NP, Karring T.

Proceedings of the First European Workshop on Periodontology

London: Quintessence 1994: 365-369

Lee YM, Shin SY, Kim JY, et al.

Bone reaction to bovine hydroxyapatite for maxillary sinus floor augmentation: histologic results in human

Int J Periodontics Restorative Dent 2006; 26:471-481

Legholm U, Gunne J, Henry P, et al.

Survival of the Branemark implant in partially edentulous jaws: a 10-year prospective multicenter study

Int J Oral Maxillofac Implants 1999; 14 639-645

---

Leonhardt A, Berglundh T, Ericsson I, et al.  
Putative periodontal pathogens on titanium implants and teeth in experimental gingivitis and periodontitis in beagle dogs  
Clin Oral Implants Res 1992; 3:112-119

Lindquist LW, Rockler B, Carlsson GB.  
Bone resorption around fixtures in edentulous treated with mandibular fixed tissue – integrated prostheses  
J Prosthet Dent 1988; 59:59-63

Lindhe J, Berglundh T, Ericsson I, et al.  
Experimental breakdown of peri-implant and periodontal tissues. A study in the beagle dog  
Clin Oral Implants Res 1992; 3:9-16

Maiorana C, Beretta M, Salina S, et al.  
Reduction of autogenous bone graft resorption by means of Bio-Oss coverage: a prospective study  
Int J Periodontics Restorative Dent 2005; 25:19-25

Maiorana C, Redemagni M, Rabagliati M, et al.  
Treatment of maxillary ridge resorption by sinus augmentation with iliac cancellous bone, anorganic bovine bone, and endosseous implants: a clinical and histological report  
Int J Oral Maxillofac Implants 2000; 15:873-878

Mericske-Stern R, Steinlin Schaffner T, Marti P, et al.  
Peri-implant mucosal aspects of ITI implants supporting overdentures. A five-year longitudinal study  
Clin Oral Implants Res 1994; 5:9-18

Mericske-Stern R, Grüter L, Rösch R, et al.  
Long-term evaluation of non-submerged hollow cylinder implants. Clinical and radiographic results  
Clin Oral Implants Res 2001; 12:252-59

Mombelli A.  
Aging and the periodontal and peri-implant microbiota  
Periodontology 2000 1998, 16:44-52

Mombelli A, Feloutzis A, Brägger U, et al.  
Treatment of peri-implantitis by local delivery of tetracycline  
Clinical, microbiological and radiological results  
Clin Oral Implants Res 2001, 12:287-94

Mombelli A & Lang NP.

The diagnosis and treatment of peri-implantitis

Periodontology 2000 1998, 17:63-76

Mombelli A, von Oosten MA, Schurch Jr. E, et al.

The microbiota associated with successful or failing osseointegrated titanium implants

Oral Microbiology and Immunology 1987; 2: 145-151

Naert I, Quirynen M, Theuniers G, et al.

Prosthetic aspects of osseointegrated fixtures supporting overdentures. A 4 – year report

J Prosthet Dent 1991; 65:671-680

Naoki H, Yoshinaka S, Kiyoshi O.

A clinical long-term radiographic evaluation of graft height changes after maxillary sinus floor augmentation with a 2 : 1 autogenous bone/xenograft mixture and simultaneous placement of dental implants

Clin Oral Implants Res 2004;15:339-345

Nevis M, Mellonig JT, Clem DS III, et al.

Implants in regenerated bone: Long-term survival

Int J Periodontics Restorative Dent 1998; 18:34-45

Nkenke E, Schlegel A, Schulze-Mosgau S, et al.

The Endoscopically Controlled Osteotome Sinus Floor Elevation: A Preliminary Prospective Study

Int J Oral Maxillofac Implants 2002; 17:557-566

Nociti Jr. FH, de Toledo RC, Machado MA, et al.

Clinical and microbiological evaluation of ligature-induced peri-implantitis and periodontitis in dogs

Clin Oral Implants Res 2001, 12:295-300

Olson JW, Dent CD, Morris HF, Ochi S.

Long-term assessment (5 to 71 months) of endosseous dental implants placed in the augmented maxillary sinus.

Ann Periodontol. 2000 Dec; 5:152-6.

Palacci P, Ericsson I, Engstrad P, et al.

Optimal Implant Positioning & Soft Tissue Management for the Branemark System  
Quintessence 1995, Chicago



---

Persson LG, Ericsson I, Berglundh T, et al.

Guided bone regeneration in the treatment of periimplantitis

Clin Oral Implants Res 1996; 7:366-372

Piattelli M, Favero GA, Scarano G, et al.

Bone Reactions to Anorganic Bovine Bone (Bio-Oss) Used in Sinus Augmentation

Procedures: A Histologic Long-Term Report of 20 Cases in Humans

Int J Oral Maxillofac Implants 1999; 14:835-840

Raghoobar GM, Batenburg RH, Timmenga NM, et al.

Morbidity and complications of bone grafting of the floor of the maxillary sinus for the placement of endosseous implants

Mund Kiefer Gesichtschir. 1999; 1:65-69

Raghoobar GM, Timmenga NM, Reitsema H, et al.

Maxillary bone grafting for insertion of endosseous implants: results after 12-124 months

Clin Oral Implants Res 2001; 12:279-86

Reddi AH, Gay R

Transitions in collagen types during matrix-reduced cartilage bone and bone marrow formation

Proc Natl Acad Sci USA 1977; 74:5589

Reddi AH, Hascall VC

Changes in proteoglycan types during matrix-induced cartilage and bone development

J Biol Chem 1978; 253:2429

Richter EJ, Jovanovic SA, Spiekermann H

Bone regeneration around titanium dental implants in dehiscence defect sites. A clinical study

Int J Oral Maxillofac Implants 1992; 7:233-245

Rodoni L, Glauser R, Feloutzis A, et al.

Implants in the Posterior Maxilla: A Comparative Clinical and Radiologic Study

Int J Oral Maxillofac Implants 2005; 20:231-237

Roos-Jansaker AM, Lindahl C, Renvert H, et al.

Nine- to fourteen-year follow-up of implant treatment. Part II: presence of peri-implant lesions

J Clin Periodontol 2006(a); 33:290-295

Roos-Jansaker AM, Renvert H, Lindahl C, et al.  
Nine- to fourteen-year follow-up of implant treatment. Part III: factors associated with peri-implant lesions  
J Clin Periodontol 2006(b); 33:296-301

Rosen PS, Summers R, Mellado JR, et al.  
The bone-added osteotome sinus floor elevation technique: multicenter retrospective report of consecutively treated patients.  
Int J Oral Maxillofac Implants. 1999;14:853-8.

Rutar A, Lang N, Buser D, et al.  
Retrospective assessment of clinical and microbiological factors affecting periimplant tissue conditions  
Clin Oral Implants Res 2001;12:189-95

Sartori S, Silvestri M, Forni F, et al.  
Ten-year follow-up in a maxillary sinus augmentation using anorganic bovine bone (Bio-Oss). A case report with histomorphometric evaluation  
Clin Oral Implants Res 2003; 14:369-372

Schliephage H, Neukam F, Scheller H  
Osteointegrierte Schraubenimplantate zur Wiederherstellung der Kaufunktion im zahnlosen Oberkiefer  
Dtsch Zahnärztl Z 1996, 2:2-12

Schnittman RA, Shulman LB  
Dental implants. Benefit and risk. Proceedings of an NIH Harvard Consensus Development Conference 1987. National Institute of Health (NIH), Harvard Consensus Development Conference  
US Department of Health and Human Services Bethesda 1990, 81-1531

Schroeder HE  
Orale Strukturbiologie  
Thieme Verlag 2000, 5. Auflage

Schumacher GH  
Anatomie für Zahnmediziner  
Hüthig Verlag Heidelberg 1997, 3. Auflage

Simon Z, Deporter DA, Pillar RM, et al.  
Heterotrophic bone formation around sintered porous-surfaced Ti-6Al-4V implants coated with native bone morphogenetic proteins

---

Implant Dent 2006; 15:265-274

Simoni M, Fontana F, Rasperini G, et al.

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 2004; 24:208-21.

Smiler DG, Holmes RE

Sinus lift procedure using porous hydroxyapatite. A preliminary report

J Oral Impl 1987; 13:239

Solar P, Geyerhofer U, Taxler H, et al.

Blood supply to the maxillary sinus relevant to sinus floor elevation procedures

Clin Oral Implants Res 1999; 10:34-44

Stickler A, Voss P, Gutwald R, et al.

Maxillary sinus floor augmentation with autogenous bone grafts to enable placement of SLA-surfaced implants: preliminary results after 15-40 months

Clin Oral Implants Res. 2003; 14:207-12

Summers RB.

Sinus floor elevation with osteotomes

J Esthet Dent. 1998; 10:164-171

Summers RB.

A new concept in maxillary implant surgery: the osteotome technique.

Compend Contin Educ Dent. 1994; 15:152-158.

Summers RB.

The osteotome technique: Part 2. The ridge expansion osteotomy (REO) procedure.

Compend Contin Educ Dent. 1994; 15:422-426

Summers RB.

The osteotome technique: Part 3. Less invasive methods of elevating the sinus floor.

Compend Contin Educ Dent. 1994; 15:698-708

Summers RB.

The osteotome technique: Part 4. Future site development.

Compend Contin Educ Dent. 1995; 16:1080-1092

Sykaras N, Iacopino AM, Triplett RG et al.  
Effect of recombinant human bone morphogenetic protein-2 on the osseointegration of dental implants: a biomechanics study  
Clin Oral Invest. 2004; 3:196-205

Tada S, Stegaroiu R, Kitamura E, et al.  
Influence of Implant Design and Bone Quality on Stress/Stain Distribution in Bone Around Implants: A 3-dimensional Finite Element Analysis  
Int J Oral Maxillofac Implants 2003; 18:357-368

Tatum OH.  
Maxillary and sinus implant reconstruction  
Dent Clin North Amer 1987, 30:207-229

Tepper G, Haas R, Zechner W, et al.  
Three-dimensional finite element analysis of implant stability in the atrophic maxilla  
Clin Oral Implants Res 2002; 13:657-65

Tetsch J.  
Langzeitergebnisse dentaler Implantationen nach Sinusbodenelevationen – Eine retrospective Studie von 1291 Implantaten aus einem zwölfjährigem Zeitraum  
Z Zahnärztl Impl 2006; 22(1):64-67

Tillmanns HW, Hermann JS, Cagna DR, et al.  
Evaluation of three different dental implants in lignature-induced peri-implantitis in the beagle dog. Part I. Clinical evaluation  
Int J Oral Maxillofac Implants 1997; 12:611-620

Tillmanns HW, Hermann JS, Tiffée JC, et al.  
Evaluation of three different dental implants in lignature-induced peri-implantitis in the beagle dog. Part II. Histology and microbiology  
Int J Oral Maxillofac Implants 1998; 13:59-68

Timmenga N, Raghoobar G, Weissenbruch R, et al.  
Maxillary sinus floor elevation surgery  
Clin Oral Implants Res 2003; 13:322-28

Toffler M.  
Osteotome-Mediated Sinus Floor Elevation: A Clinical Report  
Int J Oral Maxillofac Implants 2004; 19:266-273

---

Vlassis J, Hürzeler M, Quinones C  
Sinus Lift Augmentation To Facilitate Placement Of Nonsubmerged Implants: A Clinical and Histological Report  
Pract Periodontics Aesthet Dent. 1993; 5:15-23

Wallace SS, Froum SJ  
Effect of maxillary sinus augmentation on the survival rate of endosseus dental implants: A systematic review  
Ann Periodontol 2003; 8:328-343

Wallace SS, Froum SJ, Cho SC, et al.  
Sinus augmentation utilizing anorganic bovine bone (Bio Oss) with adsorbable and nonabsorbable membranes placed over the lateral window: histomorphometric and clinical analysis  
Int J Periodontics Restorative Dent 2005; 25:551-559

Warrer K, Buser D, Lang NP, et al.  
Plaque-induced peri-implantitis in the presence or absence of keratinized mucosa. An experimental study in monkeys  
Clin Oral Implants Res 1995; 6:131-138

Watzek G, Weber R, Bernhart T, et al.  
Treatment of patients with extreme maxillary atrophy using sinus floor augmentation and implants: preliminary results  
Int J Oral Maxillofac Surg 1998; 27: 428-434

Weber HP, Crohin CC, Fiorellini JP.  
A 5-year prospective clinical and radiographic study of non-submerged dental implants.  
Clin Oral Implants Res 2000; 11:144-153

Weibrich G, Gnoth SH, Buch RS, et al.  
Versorgung des zahnlosen Unterkiefers mit dem ASTRA-Implantatsystem  
Z Zahnärztl Implantol 2000; 16:81-86

Wenz B, Oesch B, Horst M  
Analysis of the risk of transmitting bovine spongiform encephalopathy through bone grafts derived from bovine bone  
Biomaterials 2001; 22:1599-1606

Widmark G, Andersson B, Carisson GE, et al.  
Rehabilitation of patients with severely resorbed maxillae by means of implants with or without bone grafts: a 3- to 5- year follow-up clinical report

Int J Oral Maxillofac Implants 2001; 16:73-7

Wildfang J, Merten HA, Schlegel KA, et al.

Degradation characteristics of alpha and beta tricalcium-phosphate (TCP) in minipigs

Journal of Biomedical Materials Res 2002; 63:115-121

Winkler S, Morris HF, Ochi S

Implant survival to 36 months as related to length and diameter

Ann Periodontol 2000 Dec; 5:22-31

Wood RM, Moore DL

Grafting of maxillary sinus with intraorally autogenous bone prior to implant placement

Int J Oral Maxillofac Implants 1988; 3:209-214

Yamada S, Heymann D, Bouler JM, et al.

Osteoclastic resorption of calcium phosphate ceramics with different hydroxyapatite/beta-tricalcium phosphate ratios

Biomaterials 1997; 18:1037-1041

Yerit K, Posch M, Hainich S, et al.

Long-term implant survival in the grafted maxilla: results of a 12-year retrospective study

Clin Oral Implants Res 2004; 15:693-699

## 9. Anhang

**Tabelle 5** Auflistung der berechneten Korrelationskoeffizienten

PD=Sondierungstiefe (mv=mesiovestibulär, dv=disto-vestibulär, mp=mesiopalatal, dp=distopalatal), mPI=modifizierter Plaqueindex, mBI=modifizierter Blutungsindex, Ging. m=Gingiva propria periimplantär mesial, Ging. d= Gingiva propria periimplantär distal, Supra-konstr.=Art der Suprakonstruktion, KnV mesial=Knochenabbau periimplantär mesial, KnV distal= Knochenabbau periimplantär distal, \*=statistisch signifikant, \*\*=statistisch hoch signifikant, \*\*\*= statistisch höchst signifikant

	PDmv	PDdv	PDmp	PDdp	mPI	mBI	Ging. m (mm)	Ging. d (mm)	Supra-konstr.	KnV mesial	KnV distal
PDmv	No	.593 ***	.4381 ***	.5114 ***	.1318	.2495 **	.2352 **	.2216 **	.0234	-.0144	-.0665
PDdv	.5454 ***	No	.3996 ***	.4243 ***	.0815	.2394 **	.1681 *	.19 *	-.0456	-.0446	-.1434
PDmp	.4095 ***	.3771 ***	No	.7569 ***	.3273 ***	.3492 ***	-.0269	-.069	-.0554	-.1278	-.0635
PDdp	.431 ***	.3791 ***	.6963 ***	No	.23 **	.2547 **	-.0393	-.0388	-.047	-.0499	-.0055
mPI	.0378	.0248	.2258 **	.1696 *	No	.7281 ***	-.0405	-.0884	.1865 *	-.2445 **	-.2145 *
mBI	.1618	.149	.3197 ***	.2034 *	.6242 ***	No	.0118	-.0273	.1197	-.279 ***	-.244 **
Ging. m (mm)	.174 *	.155 *	.0413	.0032	-.0284	-.0064	No	.9532 ***	-.028	.2406 **	.1088
Ging. d (mm)	.1538 *	.165 *	.0068	-.0032	-.0557	-.0355	.8962 ***	No	-.0369	.2458 **	.1148
Supra-konstr.	.0278	-.0685	-.025	-.0214	.1738 *	.047	-.0303	-.0253	No	-.2158 *	-.198 *
KnV mesial	-.0177	-.0102	-.0294	-.0298	-.0137	-.0698	.2094 **	.2108 **	-.1811 *	No	.723 ***
KnV distal	-.0649	-.074	.0556	.0601	-.0212	-.0717	.0755	.0814	-.2206 **	.417 ***	No

## **10. Danksagung**

Ich danke Herrn Prof. Dr. Dr. M. Ehrenfeld für die freundliche Überlassung des Dissertationsthemas.

Bei Herrn Dr. S. Hafner bedanke ich mich für die stets freundliche und hilfreiche Unterstützung während der Durchführung der Untersuchungen und der Abfassung dieser Arbeit.

Ebenso möchte ich Herrn Dr. Hamm für die freundliche Hilfe und die guten Anregungen bei der Auswertung der statistischen Untersuchungsdaten herzlich danken.

Für die in jeglicher Weise liebe Unterstützung während der Abfassung dieser Arbeit möchte ich meinen Eltern und meiner Freundin Sylvia ganz besonders danken. Zuletzt gilt mein Dank auch allen Patienten, die an dieser Studie beteiligt waren.

Die vorliegende Arbeit ist auf der Grundlage meines Gedankengutes erstellt worden und außer den oben genannten Quellen habe ich keine weiteren Hilfen in Anspruch genommen.



## 11. Lebenslauf

Name: Christian Gradl

Geburtsdatum: 26.04.1980

Geburtsort: Tirschenreuth

Schulische Ausbildung: 1986 – 1990 Grundschule Neufahrn  
 1990 – 1993 Werner-Heisenberg-Gymnasium Garching  
 1993 – 1999 Obermenzinger Gymnasium München  
 1999 Erwerb der Allgemeinen Hochschulreife

Grundwehrdienst: 1999 – 2000

Studium: 2000 – 2005 Studium der Zahnmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München  
 25.02.2005 Approbation als Zahnarzt  
 2005 - 2008 Postgraduierten Studium an der Universität in Krems zum „Master of Science Implantology“

Beruf: 03/05 – 12/06 Vorbereitungsassistent in freier Praxis  
 Seit 01/07 Weiterbildung zum Oralchirurgen