

H. Ruoff<sup>1</sup>, H. Terheyden<sup>2</sup>

# Retrospektive radiographische Untersuchung zur Langzeitstabilität des Sinusaugmentats nach Augmentation mit xenogenem Knochenersatzmaterial (Geistlich Bio-Oss)

Das Bio-Oss-Augmentat erwies sich über den Beobachtungszeitraum von zehn Jahren als sehr stabil. Die Höhe über dem Implantatapex sank durchschnittlich nur um 0,1 mm/Jahr. Die Überlebensrate der 364 beobachteten, im Bio-Oss-Augmentat inserierten Implantate lag im Beobachtungszeitraum von 0 bis 12 Jahren mit sechs Implantatverlusten (zwei vor und vier nach Belastung) bei einem kumulativen Wert von 98,4 %. Der marginale Knochenabbau wurde über einen Zeitraum von fast sechs Jahren beobachtet. Der mesiale Abbau des crestalen Knochens betrug durchschnittlich 0,235 mm/a bei einem Standardfehler von 0,021 mm/a. Distal betrugen die Werte 0,211+/-0,018 mm/a. Da auch bei geringer präoperativer Restknochenhöhe die Implantate innerhalb der Beobachtungszeit immer noch vollständig osseointegriert waren, kann daraus geschlossen werden, dass das Bio-Oss Augmentat zur Stabilisierung des Implantats beigetragen hat.

*Schlüsselwörter: Sinusbodenelevation, Langzeitstabilität, marginaler Knochenabbau, Implantatüberlebensrate,*

<sup>1</sup> Herrenbergerstr. 68, 72070 Tübingen

<sup>2</sup> Rotes Kreuz Krankenhaus Kassel Gemeinnützige GmbH, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Hansteinstrasse 29, 34121 Kassel

## **Retrospective radiographic investigation of the long-term stability of xenografts (Geistlich Bio-Oss) in the sinus**

The Bio-Oss graft proved to be very stable over a 10-year investigation period. The height reduction over the apex of the implant averaged 0.1 mm per year. Six of the 364 implants in Bio-Oss grafts were lost (two before and four after loading) during the observation period of 0 to 12 years. Therefore, the cumulative survival rate was 98.4 %. Marginal bone loss was monitored for almost six years. Crestal bone resorption in the mesial aspect averaged 0.235 mm per year with a standard error of 0.021 mm per year. In the distal aspect, the resorption rate was 0.211+/-0.018 mm per year. Since the implants were still completely osseointegrated within the follow-up period, even in the case of low preoperative bone levels, it can be concluded that the Bio-Oss graft contributed to the stabilization of the implants.

*Keywords: Sinus elevation, long-term stability, marginal bone loss, implant survival rate,*

<sup>1</sup> Herrenbergerstr. 68, 72070 Tübingen

<sup>2</sup> Rotes Kreuz Krankenhaus Kassel Gemeinnützige GmbH, Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Hansteinstrasse 29, 34121 Kassel

Übersetzung: LinguaDent

## 1 Einleitung

Sowohl der Verlust der Molaren als auch der Prämolaren führt im Oberkiefer ohne Weiterbehandlung zu einer schnellen Verminderung der horizontalen und vertikalen Knochendimension in der posterioren Maxilla. Dieser Prozess wird durch die verstärkte Pneumatisation der Kieferhöhle noch verstärkt [17, 28]. Die Ursachen der Alveolarfortsatzresorption nach Zahnverlust sind vielfältig und zum Teil noch nicht vollständig geklärt. Umbauvorgänge und Abbauprozesse der leeren Alveolen führen zu einer Resorption von durchschnittlich 0,1 mm pro Jahr, wobei auch Werte bis zu 0,5 mm pro Jahr erreicht werden können [2, 22]. Durch das Fehlen eines vom Parodont ausgehenden adäquaten Reizes wird im Rahmen der physiologischen Umbauvorgänge des Alveolarknochens mehr Knochen ab- als angebaut. Außerdem verlieren die Sinuswände durch die Vergrößerung des Kieferhöhlenvolumens nach dem Zahnverlust im Oberkiefer und dem Wegfallen der einwirkenden Kaukräfte an Stärke [8, 24]. Die Ausdehnung der Pneumatisation in funktionslos gewordene Areale der Maxilla kann den zahnlosen Alveolarfortsatz vor allem bei älteren Menschen unterschiedlich stark, zuweilen sogar völlig aushöhlen. Oft beträgt die Dicke der die Kieferhöhle von der Mundhöhle trennenden Knochenlamelle weniger als 1 mm [25].

Die Rehabilitation der zahnlosen posterioren Maxilla mit osseointegrierten oralen Implantaten bei insuffizienten Knochenvolumen stellt heute eine Standardtherapie dar. Bei mehr als 4 mm bis 5 mm vertikalem Restknochen können simultan mit der Sinusbodenaugmentation Implantate gesetzt werden. Stehen weniger als 4 mm zur Verfügung und ist die Primärstabilität nicht garantiert, wird meist noch die zweizeitige Vorgehensweise empfohlen. Bei ausreichendem vertikalen Restknochenangebot von mehr als 6 mm kann auch die Technik nach *Summers* mit crestalem Zugang angewendet werden [18].

Der Sinuslift ist eine techniksensitive Prozedur, die mehr als durchschnittliche chirurgische und prothetische Fähigkeiten erfordert. Jedoch zeigt eine vergleichende Analyse der Literatur in Bezug auf die Implantatüberlebensrate, dass die Sinusbodenaugmentation mit Bio-Oss eine langfristig zuverlässige Methode darstellt [1]. Obwohl die Vorhersagbarkeit der Ergebnisse mit der exzellenten Volumenstabilität des in Bio-Oss regenerierten Knochens in Verbindung gebracht wird [14], sind metrische Daten zum zeitlichen Verhalten des Volumens rar.

Die vorliegende Studie untersucht zum ersten Mal radiologisch über einen Zeitraum von bis zu zehn Jahren die Stabilität der Augmentationshöhe, des crestalen Knochenniveaus und die Implantatüberlebensdauer bei Sinusbodenaugmentationen mit Bio-Oss.

## 2 Materialien und Methoden

Die Untersuchungsgruppe umfasste 112 Patienten mit 364 Implantaten (Camlog und IMZ), die simultan in die mit Bio-Oss (Geistlich) augmentierten Kieferhöhlen inseriert wurden. Die Implantatüberlebensrate wurde an allen 364 Implantaten bestimmt. Zur radiographischen Auswertung des zeitlichen Verlaufs der Augmentationshöhe wurden 690 digitalisierte Orthopantomogramme von 67 Patienten vermessen, an denen in der

## 1 Introduction

Without further treatment, loss of both molars and premolars in the maxilla leads to a rapid reduction of the horizontal and vertical dimensions of the bone in the posterior maxilla. This process is further reinforced by the increased pneumatisation of the maxillary sinus [17, 28]. The causes of alveolar process resorption after tooth loss are varied and some of them have not yet been fully elucidated. Remodelling processes and atrophy of the empty sockets lead to resorption of 0.1 mm per year on average, though figures of up to 0.5 mm per year can also be reached [2, 22]. Because of the absence of an adequate stimulus originating from the periodontium, more bone is lost than is produced in the course of the physiological alveolar bone remodelling processes. The thickness of the walls of the sinus also diminishes due to the increase in sinus volume after loss of maxillary teeth and the loss of masticatory forces [8, 24]. The expansion of pneumatisation into areas of the maxilla that have become nonfunctioning can hollow out the edentulous alveolar process to a varying degree, sometimes completely, especially in elderly persons. The layer of bone separating the sinus from the oral cavity is often less than 1 mm thick [25].

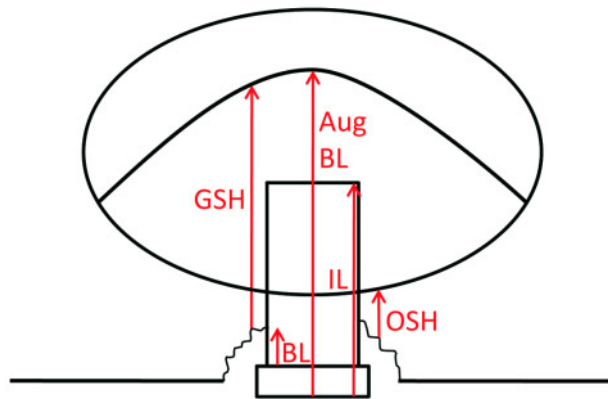
Rehabilitation of the edentulous posterior maxilla with osseointegrated oral implants when bone volume is insufficient is a standard treatment today. When there is more than 4 mm to 5 mm of residual vertical bone, implants can be placed simultaneously with sinus floor augmentation. If less than 4 mm is available and primary stability cannot be guaranteed, a two-stage procedure is still generally recommended. When there is adequate vertical bone of more than 6 mm, the *Summers* technique using a crestal approach can also be employed [18].

Sinus lift is a technique-sensitive procedure that demands above-average surgical and prosthetic skills. However, a comparative analysis of the literature with regard to the implant survival rate shows that sinus floor augmentation with Bio-Oss is a reliable long-term method [1]. Although the predictability of the results is linked with the excellent volume stability of the bone that is regenerated in Bio-Oss [14], metrical data on the behaviour of the volume over time are rare.

The present study is the first to investigate radiographically the stability of the augmentation height, the crestal bone level and the duration of implant survival in sinus floor augmentation with Bio-Oss over a period of up to ten years.

## 2 Materials and methods

The study included 112 patients with 364 implants (Camlog and IMZ), which were inserted simultaneously into maxillary sinuses augmented with Bio-Oss (Geistlich). The implant survival rate of all 364 implants was determined. For radiographic evaluation of the time course of augmentation height, 690 digitalised orthopantomographs of 67 patients were measured who had 99 one-stage sinus floor augmen-



**Abbildung 1** Schema der gemessenen Parameter:

die im Orthopantomogramm dargestellte Implantatlänge (IL), die Distanz vom Implantatkopf bis zur cranialen Grenze des Augmentats (AugBL), die Strecke von der unteren Implantatkopfseite bis zum crestalen Knochen am Implantatthals (BL), Höhe des ursprünglichen Alveolarknochens (OSH), die Strecke von der crestalen Knochenkante zur cranialen Grenze des Augmentats (GSH).

**Figure 1** Diagram of the evaluated parameters:

implant length (IL) as shown in the panoramic radiograph, distance from the implant shoulder to the cranial boundary of the graft (AugBL), distance from the machined/rough junction to the crestal bone in contact with the implant (BL), height of the original alveolar bone (OSH), distance from the crestal bone to the cranial boundary of the graft (GSH).

Zeit von 1995 – 2006 99 einzeitige Sinusbodenaugmentationen mit reinem Bio-Oss und mit 186 dort inserierten Camlog- und IMZ-Implantaten durchgeführt wurden. Die digital gemessenen Längen in den Orthopantomogrammen wurden mit Hilfe der bekannten originalen Implantatlängen kalibriert. Kalibrierungsfehler durch Deklinationen der Implantatachse gegenüber der Projektionsebene liegen bis zu einem Winkel von  $11^\circ$  unterhalb von 2 % und wurden deshalb im Vergleich zur Standardabweichung vernachlässigt. Der marginale Knochenabbau mesial und distal des jeweiligen Implantats wurde bei 57 Patienten mit 146 Camlog-Implantaten bestimmt, an denen auch der Verlauf der Augmentationshöhe vermessen wurde. Der Untersuchungszeitraum betrug im kürzesten Fall zwölf Monate, im längsten Fall 141 Monate. Orthopantomogramme zu folgenden Zeitpunkten wurden herangezogen:

- am Tag der OP oder ein bis zwei Tage später,
- am Tag der Eingliederung der Suprakonstruktion oder ein bis zwei Tage später,
- die den zeitlichen Verlauf zeigenden Orthopantomogramme im Abstand von ein bis zwei Jahren.

Für die quantitative Analyse bzw. für die Messung der Augmentationshöhe und des crestalen Knochenabbaus wurden die Röntgenbilder entweder durch einen Scanner oder fotografisch digitalisiert und mit Hilfe des Messwerkzeugs der Röntgensoftware Sidexis, Version 4.2 (Firma Sirona) vermessen.

Die aus Abbildung 1 zu entnehmenden Parameter wurden gemessen:

Die Zeitbasis für die Längenmessungen an Orthopantomogrammen ist inhomogen, da sie an die Verfügbarkeit der Verlaufs-Orthopantomogramme gebunden war. In solchen Fällen werden in der Statistik „gemischte Modelle“ (mixed models) angewendet“. Mixed Models schützen vor falschen Schlüssen aus Messwiederholungen. Die Modelle lassen die Kombination von Faktoren (kategoriale Vorhersagevariablen) zu, die fest oder auch zufällig sein können. Die statistische Auswertung wurde mit dem Open-Source Programm R, Version 2.1.1 [23] durchgeführt. Lineare Mixed-Modelle wurden mit dem Package *nlme* unter R [15] berechnet. Zur Berechnung der zeitlich geglätteten Mittelwertkurven wurden die Messwerte jedes Implantats so offset-versetzt, dass sie zum Zeitpunkt  $t = 0$  dem Mittelwert bei Belastung entsprechen. Danach wurde eine lokal-adaptive geglättete Kurve durch die Datenpunkte gelegt.

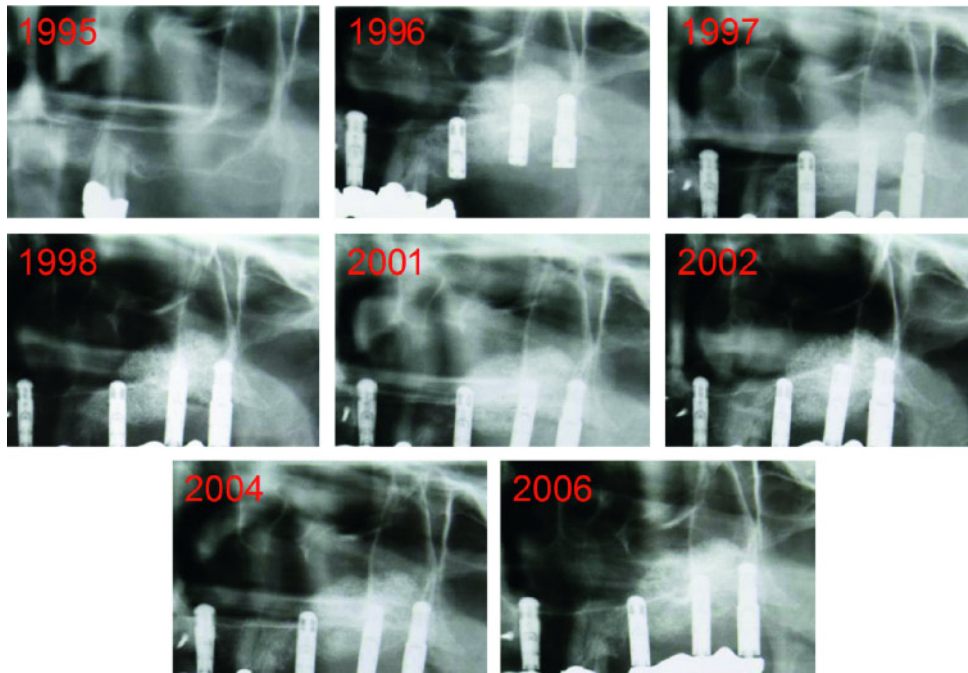
tations with pure Bio-Oss and insertion of 186 Camlog and IMZ implants in the period 1995 – 2006. The lengths measured digitally in the orthopantomographs were calibrated, using the known original implant lengths. Calibration errors due to declination of the implant axis, compared with the projection plane, are below 2 % up to an angle of  $11^\circ$ , and were therefore disregarded compared with the standard deviation. Marginal bone loss mesial and distal to each implant was determined in 57 patients with 146 Camlog implants, and the course of the augmentation height was also measured. The investigation period was twelve months in the shortest case and 141 months in the longest case. Orthopantomographs at the following times were used:

- on the day of operation or one to two days later,
- on the day of incorporation of the superstructure or one to two days later,
- orthopantomographs showing the time course at an interval of one to two years.

For quantitative analysis and to measure the augmentation height and crestal bone loss, the radiographs were digitalised either by a scanner or photographically, and were measured using the measuring tool of the Sidexis radiographic software, version 4.2 (Sirona).

The following parameters shown in Figure 1 were measured:

The time basis for measuring length on orthopantomographs is nonhomogeneous since this was linked to the availability of follow-up orthopantomographs. In such cases “mixed models“ were used in the statistics. Mixed models guard against false conclusions from repeated measurements. The models allow a combination of factors (categorical predictability variables), which can be fixed or random. Statistical analysis was performed with the Open Source Program R, version 2.1.1 [23]. Linear mixed models were calculated with the *nlme* package under R [15]. To calculate the temporally smoothed graphs of the means, the measurements of each implant were offset so that they correspond at time  $t = 0$  to the mean on loading. After that, a locally adaptive smoothed graph was drawn through the data points.



**Abbildung 2** Beispielhafte Darstellung der Stabilität des in den Orthopantomogrammen dargestellten Bio-Oss-Augmentats über einen Zeitraum von zehn Jahren.

**Figure 2** This demonstrates the stability of the graft over a period of ten years as shown in the panoramic radiographs.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Implantatüberlebensrate

Bei den 364 Implantaten gab es sechs Implantatverluste (Tab. 1), davon zwei vor Belastung und vier nach Belastung. Dies ergibt eine kumulative Implantatüberlebensrate von 98,4 %.

#### 3.2 Langzeitverhalten der Augmentationshöhe

Abbildung 3 zeigt die Augmentationshöhe bei Sinuslifts mit reinem Bio-Oss in Abhängigkeit von der Zeit.

In der Punktdarstellung links zeigt die mittlere Linie den lokal geglätteten Mittelwert, die Bänder den Bereich der Standardabweichung. Rechts ist die geglättete Trendkurve dargestellt. Der Kurvenverlauf vor „0“ stellt die Messwerte vom Implantationszeitpunkt bis zur Belastung dar.

Bei der Vermessung des Augmentationslevels über eine Beobachtungszeit von bis zu zehn Jahren erwies sich das Bio-Oss-Augmentat als sehr stabil. Im Mittel sank der Level mit einer geringen kontinuierlichen Abnahme von  $0,100 \pm 0,016$  mm/Jahr. ( $p < 0,0001$ )

#### 3.3 Marginaler Knochenabbau am Implantatkopf

Zur Untersuchung des marginalen Knochenabbaus am Implantatkopf wurden ausschließlich die Daten mit Camlog-Implantaten herangezogen. Dies sollte eine Beeinflussung der Statistik durch implantatspezifische Unterschiede verhindern [12]. Der Beobachtungszeitraum lag bei fünf bis sechs Jahren.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft an einem Camlog-Implantat regio 26 den marginalen Knochenabbau über eine Beobachtungszeit von drei Jahren.

Abbildung 5 zeigt die geglätteten Trendkurven des mesialen und distalen crestalen Knochenabbaus. Gemittelt ergab sich mesial ein crestaler Knochenabbau von  $0,235 \pm 0,021$  mm/a. Distal betrug der Wert  $0,211 \pm 0,018$  mm/a.

### 3 Results

#### 3.1 Implant survival rate

Out of the 364 implants, there were six implant losses (Tab. 1), two of them prior to loading and four after loading. This results in a cumulative implant survival rate of 98.4 %.

#### 3.2 Long-term behaviour of the augmentation height

Figure 3 shows the augmentation height following sinus lift with pure Bio-Oss as a function of time.

In the point diagram on the left, the middle line shows the locally smoothed mean, and the bands show the region of the standard deviation. The smoothed trend graph is shown on the right. The course of the graph before “0” represents the measurements from the time of implantation until loading.

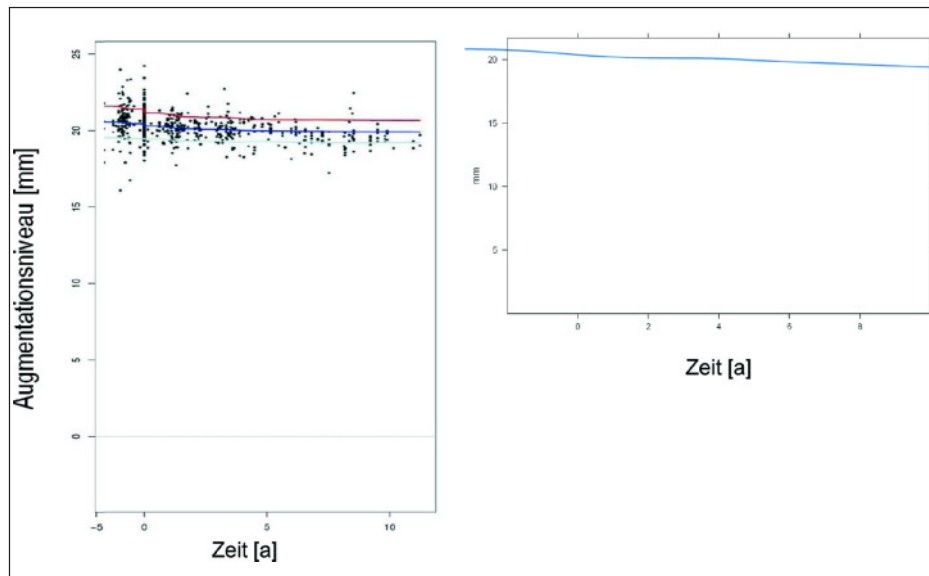
On measurement of the augmentation level over an observation period of up to ten years, the Bio-Oss augmentation material proved to be very stable. The level fell on average with a slight continuous reduction of  $0.100 \pm 0.016$  mm/year. ( $p < 0.0001$ ).

#### 3.3 Marginal bone loss at the implant shoulder

To investigate marginal bone loss at the implant shoulder, data with Camlog implants were used exclusively. This should prevent specific differences between implants from having an influence on the statistics [12]. The observation period was five to six years.

Figure 4 shows the marginal bone loss over an observation period of three years using the example of a Camlog implant in regio 26.

Figure 5 shows the smoothed graphs of the mesial and distal crestal bone loss trend. When averaged, the mesial crestal bone loss was  $0.235 \pm 0.021$  mm/y. Distally the figure was  $0.211 \pm 0.018$  mm/y.



**Abbildung 3** Zeitlicher Verlauf der Augmentationshöhe (AugBL) über einen Zeitraum von über zehn Jahren. Abbau: -0,1 mm/a; Standardfehler: 0,016 mm/a; p-Wert: < 0,0001.  
**Figure 3** Progression of the height of the graft (AugBL) over a period of more than ten years. Resorption: -0.1 mm per year; standard error: 0.016 mm per year; p-value: < 0.0001.

Beobachtungszeitraum (vollendete Jahre)	Anzahl der in diesem Zeitraum beobachteten Implantate	Anzahl der Implantate, die am Ende des Beobachtungszeitraums nicht mehr im Orthopantomogramm sichtbar waren	Absolute prozentuale Implantatüberlebensrate in diesem Zeitabschnitt
Observation period (completed years)	Number of implants followed up in this period	Number of implants that were no longer visible on the orthopantomograph at the end of the observation period	Absolute percentage implant survival rate in this period
1	45	0	100
2	64	1	98,4
3	81	1	98,8
4	79	0	100
5	37	2	94,6
6	11	1	90,9
9	22	0	100
10	17	1	94,1
11	8	0	100

**Tabelle 1** Erfassung der Überlebensrate.

**Table 1** Cumulative implant survival rate.

(Tab. 1 und Abb. 1, 2 u. 4: H. Ruoff)

#### 4 Diskussion

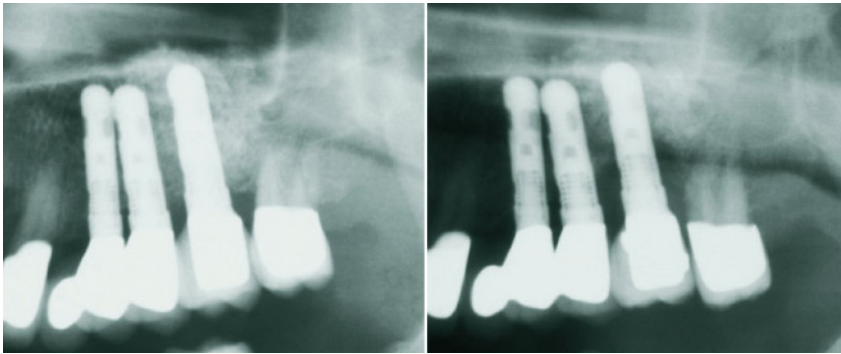
Von den 364 Implantaten gingen über einen Beobachtungszeitraum von zwei bis zehn Jahren sechs Implantate verloren. Daraus ergab sich eine kumulative Überlebensrate von 98,4 %. Sie stellt einen Durchschnittswert über die einzelnen Teilbeobachtungszeiträume von zwei bis zehn Jahren dar. Im streng statistischen Sinne ist die Angabe einer kumulativen Überlebensrate nicht korrekt, liefert aber eine Vergleichsmöglichkeit mit anderen Arbeiten.

Valentini et al. berichteten in einer Langzeitstudie an 15 Patienten mit 57 Implantaten von einer Überlebensrate von 98 % bei einer mittleren Funktionsdauer von  $4,0 \pm 0,5$  Jahren. [26]. Hallman et al. ermittelten 2002 bei einer Vergleichsstudie mit 21 Patienten mit zweizeitiger Sinusbodenaugmentation an 36 Sinusböden die Implantatüberlebensrate in Abhängigkeit des Verhältnisses von Bio-Oss und autologem Knochen. 33 Implantate wurden in rein mit autologem Knochen elevierten Sinus eingebracht, 35 Implantate in eine Mischung von Bio-Oss und autologem Knochen (80:20) und 43 Implantate in Bio-Oss allein, wo-

#### 4 Discussion

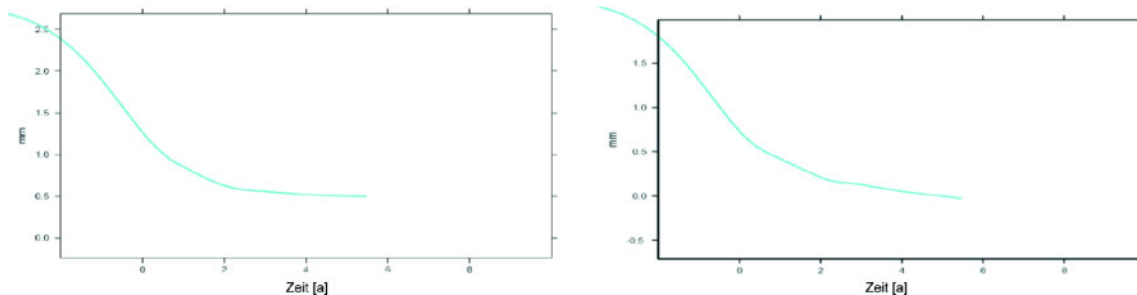
Of the 364 implants, six were lost over an observation period of two to ten years. This resulted in a cumulative survival rate of 98.4 %. This represents an average value over the individual observation periods of two to ten years. In the strictly statistical sense, statement of a cumulative survival rate is not correct but it provides a means of comparison with other studies.

In a long-term study of 15 patients with 57 implants, Valentini et al. reported a survival rate of 98 % with a mean functioning duration of  $4.0 \pm 0.5$  years. [26]. Hallman et al. in 2002 investigated the implant survival rate depending on the ratio of Bio-Oss and autologous bone in a comparative study in 21 patients with two-stage sinus floor augmentation of 36 sinus floors. 33 implants were inserted in a sinus elevated purely with autologous bone, 35 implants were inserted in a mixture of Bio-Oss and autologous bone (80:20) and 43 implants in Bio-Oss alone. In the last case, the lateral window was covered with a Bio-Gide membrane. The survival rates one year



**Abbildung 4** Marginaler Knochenverlust an einem Camlog Implantat regio 26 über einen Beobachtungszeitraum von drei Jahren.

**Figure 4** Marginal bone loss at a Camlog implant in region 26 over an observation period of 3 years.



**Abbildung 5** Marginaler Knochenabbau mesial und distal.

**Figure 5** Marginal bone loss at the mesial and distal aspects.

(Abb. 3 und 5: Dr. Dieter Menne)

bei im letzten Fall das laterale Fenster mit einer Bio-Gide Membran abgedeckt wurde. Die Überlebensraten waren ein Jahr nach Belastung 82,4 %, 94,4 % und 96,0 % [9]. Die histologischen Untersuchungen zeigten in allen drei Gruppen einen äquivalenten Anteil neuen Knochens nach einem Jahr. Die höchste Implantatüberlebensrate wurde für die Kombination Bio-Gide und Bio-Oss beobachtet. Die Verwendung von autologem Knochen im Sinus verbesserte die Implantatüberlebensrate nicht.

Wallace und Froum veröffentlichten 2003 ihren Review über 43 Studien mit 3354 OP's und 6443 Implantaten [27]. Der minimum Follow-Up betrug ein Jahr, jede Studie musste ein Minimum von 20 Fällen aufweisen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Zugabe von autologem Knochen zum Knochenersatzmaterial die Überlebensrate nicht steigert. Weiter fanden sie, dass die klinische Erfolgsrate signifikant höher ist bei Verwendung von Membranen zur Abdeckung des Sinusfensters (93,6 % vs. 88,7 %).

Aghaloo und Moy zeigten 2007 mit ihrem Review über 90 Publikationen qualitative und quantitative Unterschiede in der Vorhersagbarkeit der Therapie in Abhängigkeit des Augmentationsmaterials [8]. Insgesamt betrachteten sie für die externe Sinusbodenelevation 5128 Implantate mit einem Follow-up von zwölf bis 102 Monate. Das xenogene Knochenersatzmaterial Bio-Oss erwies sich als sehr zuverlässig (Überlebensrate 95,6 %), während die Autoren in den Gruppen der autologen (92,0 %), synthetischen (81 %) und allogenen (93,3 %) Materialien große Divergenzen in der Implantatüberlebensrate feststellten. Der Erfolg wird von McAllister und Haghghat mit der exzellenten Volumenstabilität des natürlichen Hydroxylapatits begründet [9] und es wird durch Esposito et al. bestätigt, dass Knochenersatz in bestimmten Indikationen autologen Knochen ersetzen kann [7]. Weitere Langzeitbeobachtungen von Del Fabbro et al. mit

after loading were 82.4 %, 94.4 % and 96.0 % respectively [9]. Histological examination showed an equivalent proportion of new bone in all three groups after one year. The highest implant survival rate was observed with the combination of Bio-Gide and Bio-Oss. Using autologous bone in the sinus did not improve the implant survival rate.

Wallace and Froum published their review of 43 studies with 3354 operations and 6443 implants in 2003 [27]. The minimum follow-up was one year and each study had to have a minimum of 20 cases. They came to the conclusion that the addition of autologous bone to the bone substitute does not increase the survival rate. They also found that the clinical success rate is significantly higher when membranes are used to cover the sinus fenestration (93.6 % vs. 88.7 %).

In their 2007 review of 90 publications Aghaloo and Moy showed qualitative and quantitative differences in the predictability of the treatment depending on the augmentation material [8]. For external sinus floor elevation, they considered a total of 5128 implants with a follow-up of twelve to 102 months. The xenogeneic bone substitute Bio-Oss proved to be very reliable (survival rate 95.6 %), while the authors found large divergences in the implant survival rate in the groups of autologous (92.0 %), synthetic (81 %) and allogenic (93.3 %) materials. McAllister and Haghghat attribute this success to the excellent volume stability of the natural hydroxyapatite [9] and Esposito et al. confirmed that bone substitute can replace autologous bone in certain indications [7]. Other long-term observations by Del Fabbro et al., with comparative data on the admixture of autologous bone, were able to confirm that the implant survival rate is highest in the sinus with bone substitute alone (96.0 %) [5], and appears to be as high as in healthy bone (96.4 %) [6].

Vergleichsdaten zur Beimischung von autologem Knochen konnten bestätigen, dass die Implantatüberlebensrate im Sinus mit Knochenersatz allein am höchsten (96,0 %) ist [5] und ähnlich hoch wie im gesunden Knochen erscheint (96,4 %) [6].

*Raghoobar* et al. augmentierten mit autologem Material von der Hüfte, der Symphysis und dem Tuber. Sie beobachteten zwölf bis 144 Monate und verloren von 392 inserierten Bränemark Implantaten 32. Das entsprach einer kumulativen Überlebensrate von 92,8 % [16]. *Block* und *Kent* verwendeten seit 1983 autologen Knochen und beobachteten zehn Jahre und mehr. Von 173 Implantaten verloren sie 20. Das entspricht einer kumulativen Überlebensrate von 88,5 % [3].

Das eigene Untersuchungsergebnis liegt mit einer Implantatüberlebensrate von 98,4 % somit im Vergleich mit anderen Bio-Oss Arbeiten. Da es in der Literatur keine Arbeit gibt, in der über einen Zeitraum von zehn Jahren die Stabilität des reinen Bio-Oss-Augmentats im Sinus röntgenologisch vermessen wurde, war es schwierig, die eigenen Ergebnisse diesbezüglich mit anderen Arbeiten zu vergleichen. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die Augmentationshöhe über dem Implantatapex ab dem Zeitpunkt der Belastung um 0,1 mm/Jahr abnahm. In zehn Jahren ergab sich also nur eine durchschnittliche Reduktion der Augmentationshöhe von 1 mm. Dabei war die Schrumpfung in der Zeit zwischen Implantatinsertion und Belastung etwas höher.

Die nach Kenntnis des Autors einzige Arbeit, die über einen Beobachtungszeitraum von zehn Jahren radiologisch regenerierte Sinusaugmentate vermessen hat, wurde 2004 von *Hatano* et al. veröffentlicht [11]. In der Studie verwendeten die Autoren zur Augmentation eine Mischung aus einem Drittel Bio-Oss und zwei Drittel autologem Knochen von Kinn und Kieferwinkel. Die ersten zwei bis drei Jahre hielt sich das Augmentat über dem Implantatapex, nach zwei bis drei Jahren befand es sich auf gleicher Höhe oder leicht darunter, ab dem dritten Jahr sank es bis fast zum ehemaligen Niveau des Sinus. Die kummulative Überlebensrate betrug 92,4 %, wobei alle Implantatverluste innerhalb der ersten drei Jahre verzeichnet wurden. *Hatano* et al. schlossen, dass der Pneumatisationsdruck die vorzeitige Resorption des Augmentats verursachte und dass gerade in der Anfangsphase die Stabilität des Augmentats einen wichtigen Faktor für den Widerstand der Kieferhöhle gegen den positiven Atmungsdruck darstellt [11].

In einer Studie von *Schlegel* et al. aus dem Jahre 2003 wurde das Volumenverhalten von autologen Knochenchips und Bio-Oss im Sinus von Hunden untersucht [20]. Nach 90 Tagen wies das Bio-Oss-Augmentat einen Volumenverlust von 14,6+/-4,4 % auf, das autologe Augmentat 3,8+/-2,5 %. Der Knochen-Implantatkontakt betrug bei Bio-Oss 52+/-13,15 %, bei Knochen 60,21+/-11,46 %. Nach 180 Tagen war eine Stabilisierung des Bio-Oss-Augmentats zu erkennen. Der Volumenverlust betrug 16,5+/-8,67 %, in der autologen Gruppe dagegen 39,8+/-16,14 %. Der Knochen-Implantatkontakt war bei Bio-Oss 63,43+/-19,56 %, beim Knochen nur 42,22+/-12,80 %. Das Einwachsen von Knochen in das Bio-Oss konnte gezeigt werden, beim autologen Knochen war keine Differenzierung zum ursprünglichen Knochen mehr möglich. Möglicherweise gewann das Bio-Oss-Augmentat erst durch das Einwachsen von Knochen nach 180 Tagen an Stabilität und konnte dem Pneumatisationsdruck Widerstand leisten.

Zu demselben Ergebnis kamen 2004 *Hui Xu* et al. bei ihrer Untersuchung an Hasen [29]. In der Kontrollgruppe wurde nur mit geronnenem Blut augmentiert, in der Experimentalgruppe

*Raghoobar* et al., using autologous material from the hip, augmented symphysis and tuber. They monitored for twelve to 144 months and lost 32 out of a total of 392 inserted Bränemark implants. This corresponded to a cumulative survival rate of 92.8 % [16]. *Block* and *Kent* have used autologous bone since 1983, with follow-up for ten years or more. They lost 20 out of 173 implants. This is equivalent to a cumulative survival rate of 88.5 % [3].

Thus, our study results, with an implant survival rate of 98.4 %, are comparable to other Bio-Oss studies. Since there is no study in the literature that measured the stability of the pure Bio-Oss graft in the sinus over a ten-year period radiographically, it was difficult to compare our results with other studies in this respect. The present study shows that the augmentation height over the implant apex fell by 0.1 mm/year from the time of loading. There was therefore an average reduction of the augmentation height of only 1 mm in ten years. The shrinkage in the period between implant insertion and loading was somewhat greater.

To the authors' knowledge, the only study that measured regenerated sinus grafts radiographically over an observation period of ten years was published in 2004 by *Hatano* et al. [11]. In this study, the authors used a mixture of one third Bio-Oss and two thirds autologous bone from the chin and angle of the mandible for augmentation. For the first two to three years, the graft remained over the implant apex, after two to three years it was located at the same level or slightly lower, and from the third year it sank almost to the former level of the sinus. The cumulative survival rate was 92.4 %, and all implant losses were recorded within the first three years. *Hatano* et al. concluded that the pneumatisation pressure caused premature absorption of the augmentation material, and that the stability of the augmentation material represents an important factor, particularly in the initial period, for the resistance of the sinus to the positive respiratory pressure [11].

In a study by *Schlegel* et al. in 2003, the volume behaviour of autologous bone chips and Bio-Oss in the sinus of dogs was investigated [20]. After 90 days, the Bio-Oss graft showed a volume loss of 14.6+/-4.4 % and the autologous bone graft 3.8+/-2.5 %. The bone-implant contact was 52+/-13.15 % with Bio-Oss and 60.21+/-11.46 % with bone. After 180 days, stabilisation of the Bio-Oss graft could be identified. The volume loss was 16.5+/-8.67 %, whereas it was 39.8+/-16.14 % in the autologous bone group. Bone-implant contact was 63.43+/-19.56 % with Bio-Oss, but only 42.22+/-12.80 % with bone. The ingrowth of bone into the Bio-Oss could be demonstrated, but in the case of autologous bone it was no longer possible to distinguish it from the original bone. Possibly the Bio-Oss graft gained stability and was able to withstand the pneumatisation pressure after 180 days, only through the ingrowth of bone.

*Hui Xu* et al. made the same observation in 2004 in their study in hares [29]. In the control group, augmentation was performed only with coagulated blood, and Bio-Oss was used in the experimental group. After two weeks, newly formed bone was found in both groups. In the experimental group, the Bio-Oss parts were coated by newly formed bone. After eight to ten weeks, the newly formed bone in the control group was nearly completely absorbed by the osteoclasts, activated by the positive membrane pressure, whereas the augmentation ma-

mit Bio-Oss. Nach zwei Wochen fand sich in beiden Gruppen neu gebildeter Knochen, in der Experimentalgruppe waren die Bio-Oss-Teile von neu gebildetem Knochen ummantelt. Nach acht bis zehn Wochen war der neu gebildete Knochen in der Kontrollgruppe durch die vom positiven Membrandruck aktivierten Osteoklasten fast vollständig resorbiert, während das Augmentat in der Bio-Oss-Gruppe weitgehend stabil blieb. Bei der Kontrollgruppe wurden im neu gebildeten Knochen, der sich in der Nähe der Membran befand, mehr Osteoklasten gefunden. Zu allen Untersuchungszeiten war die Augmentationshöhe in der Experimentalgruppe signifikant höher als in der Kontrollgruppe. Die Autoren schlossen daraus, dass die langsam resorbierenden Bio-Oss-Teilchen im Sinne eines Leitgerüsts zur Stabilität des Augmentats beitragen, indem sie die Resorption verhindern. Der Autor fand in seiner Histologie in der Nähe der Bio-Oss-Teilchen TRAP-befleckte Osteoklasten und schloss daraus auf eine sehr langsame Resorption des Bio-Oss.

*Sartori* et al. veröffentlichten 2003 in einem nur mit Bio-Oss augmentierten Patientenfall nach acht Monaten, zwei und zehn Jahren histomorphometrisch die Ossifikation [19]. In aufsteigender Folge fanden sie 29,8 %, 69,7 % und 86,7 % Eigenknochen. Alle Bio-Oss-Teilchen waren von neu gebildetem Lamellenknochen umgeben. Die potenzielle Metabolisation der Bio-Oss-Teilchen durch Osteoklasten konnte durch die Zunahme an relativem Knochenvolumen bestätigt werden. Bis zum zweiten Jahr konnte eine mittlere Umbaurate von 3,55 % pro Monat festgestellt werden. In den darauffolgenden acht Jahren betrug die mittlere Umbaurate 0,58 % pro Monat.

Diese Resorptionsrate des Bio-Oss entspricht damit etwa der natürlichen Umbaurate im menschlichen Knochen, wodurch das natürliche Hydroxylapatit im Sinus eine exzellente Volumenstabilität zeigt [1].

Verglichen mit anderen Untersuchungen kann bezüglich der vorliegenden Studie gesagt werden, dass Bio-Oss als Sinusaugmentationsmaterial eine sichere und stabile Alternative zu anderen Materialien darstellt.

Bei der Analyse des marginalen Knochenabbaus über einen Zeitraum von sechs Jahren ergab sich gemittelt ein Abbau von  $0,235 \pm 0,021$  mm/a mesial und  $0,211 \pm 0,018$  mm/a distal.

In der Literatur finden sich Arbeiten, die Daten zum periimplantären marginalen Knochenverlust in nicht-augmentiertem Knochen liefern. *Carlsson* et al. untersuchte Bränemark-Implantate, die in zahnlose Ober- und Unterkiefer inseriert wurden [4]. Im ersten Jahr nach Implantation wird dort ein Verlust von 0,6 mm beschrieben. Im Zeitraum von ein bis fünf Jahren schwand der Knochen um 0,2 mm/Jahr. Zwischen den Jahren fünf bis zehn zeigte sich nur noch ein Verlust von 0,1 mm/Jahr. Fester Zahnersatz schnitt etwas besser ab als herausnehmbarer. Der durchschnittliche Knochenabbau betrug hier ungefähr 0,1 mm/Jahr. *Lindquist* et al. kamen in ihrer 15-Jahresstudie mit festen implantatgetragenen Brücken im Unterkiefer auf ähnliche Resultate. Auch sie verwendeten Bränemark-Implantate [13]. *Shin* et al. untersuchten die marginale Knochenstabilität bei Implantaten mit rauer Oberfläche und Mikrogewindehals im Vergleich zu Implantaten mit rauer Oberfläche und maschinpolierten Implantaten. Zwölf Monate nach Belastung lag der marginale periimplantäre Knochenverlust bei respektive  $0,18 \pm 0,16$  mm,  $0,76 \pm 0,21$  mm und  $1,32 \pm 0,27$  mm [21].

*Hallman* et al. fanden in der 2005 erschienenen Studie nach Augmentation mit Onlaygrafts ein anderes Verhalten. Sie un-

terial in the Bio-Oss group remained largely stable. In the control group, more osteoclasts were found in the newly formed bone that was located close to the membrane. At all examination times, the augmentation height was significantly higher in the experimental group than in the control group. The authors concluded that the slowly absorbing Bio-Oss particles contribute to the stability of the augmented material by acting as a guide framework and preventing resorption. The author found TRAP-spotted osteoclasts in the vicinity of the Bio-Oss particles on histology, and concluded from this that the Bio-Oss is absorbed very slowly.

*Sartori* et al. published a patient case report in 2003 in which augmentation was performed with Bio-Oss only; ossification was seen histomorphometrically after eight months, two and ten years [19]. They found 29.8 %, 69.7 % and 86.7 % autologous bone in ascending order. All of the Bio-Oss particles were surrounded by newly formed lamellar bone. The potential metabolism of the Bio-Oss particles by osteoclasts was confirmed by the increase in relative bone volume. Up to the second year, a mean remodelling rate of 3.55 % per month was found. In the subsequent eight years, the mean remodelling rate was 0.58 % per month.

This Bio-Oss resorption rate thus corresponds roughly to the natural remodelling rate in human bone, so the natural hydroxyapatite demonstrates excellent volume stability in the sinus [1].

Compared with other investigations, it can be said with regard to the present study that Bio-Oss represents a safe and stable alternative to other materials as a sinus augmentation material.

When marginal bone loss over a six-year period was analysed, the mean mesial loss was  $0.235 \pm 0.021$  mm/y and distal loss was  $0.211 \pm 0.018$  mm/y.

There are studies in the literature that provide data on peri-implant marginal bone loss in non-augmented bone. *Carlsson* et al. investigated Bränemark implants inserted in edentulous maxillae and mandibles [4]. Loss of 0.6 mm was described in the first year after implantation. In the period from one to five years, the bone atrophied by 0.2 mm/year. Between years five and ten, they found a loss of only 0.1 mm/year. Fixed dentures compared somewhat better than removable dentures. The mean bone loss here was about 0.1 mm/year. *Lindquist* et al. arrived at similar results in their 15-year study of fixed implant-borne bridges. They also used Bränemark implants [13]. *Shin* et al. investigated marginal bone stability of implants with a rough surface and microthreaded neck, compared to implants with a rough surface and machine-polished implants. Twelve months after loading, the marginal peri-implant bone loss was  $0.18 \pm 0.16$  mm,  $0.76 \pm 0.21$  mm and  $1.32 \pm 0.27$  mm respectively [21].

*Hallman* et al. found different behaviour after augmentation with onlay grafts, in a study that appeared in 2005. They studied smooth Bränemark implants and rough Astra implants in a two-stage sinus lift. Surprisingly, the Bränemark implants proved somewhat better with regard to durability and marginal bone loss [24]. *Herzberg* et al. [12] defined an implant as a radiological failure if the marginal bone loss was greater than 0.2 mm/year. He correlated factors such as implant surface, one-/two-stage procedure, smoker/non-smoker with the rate of bone loss per year. Smoking, small implant



tersuchten glatte Bränemark-Implantate und raue Astra Implantate im zweizeitigen Sinuslift. Überraschenderweise schnitten die Bränemark-Implantate bezüglich Haltbarkeit und marginalem Knochenabbau etwas besser ab [24]. Herzberg et al. [12] definierten ein Implantat als röntgenologischen Misserfolg, wenn der marginale Knochenabbau größer als 0,2 mm/Jahr betrug. Er korrelierte Faktoren wie Implantatoberfläche, einzeitig-zweizeitiges Vorgehen, Raucher/Nichtraucher mit der Knochenabbaurate pro Jahr. Rauchen, kleine Implantatoberflächen und zweizeitiges Vorgehen korrelierten vor allem bei geringer Restknochenhöhe < 4 mm mit einem erhöhten marginalen Knochenverlust. Die Autoren schlagen auf Grund der Daten ein einzeitiges Vorgehen unter der Voraussetzung vor, dass Primärstabilität erreicht werden kann.

Da die zitierte Literatur in Bezug auf den marginalen Knochenverlust radiographische Auswertungen erst ab Belastung liefert, kann der in der vorliegenden Arbeit festgestellte Knochenabbau zwischen Implantatinsertion und Belastung nicht verglichen werden. Festzuhalten bleibt, dass vom Zeitpunkt der Insertion bis zwei Jahre nach Belastung im Schnitt ein Abbau von knapp 2 mm stattfindet, der im weiteren Verlauf fortschreitet. Bei geringen Restknochenstärken unter 4 mm ist nach dieser Zeit eine kritische Phase zu erwarten, in der die Volumenstabilität und Belastungsstabilität des mit Bio-Oss augmentierten Sinus für den langfristigen Erfolg von Bedeutung ist. Der verbleibende Restknochen von nur 1 mm bis 2 mm kann dem Implantat kaum noch Stabilität verleihen. Da die Implantate in der vorliegenden Arbeit nach einer Beobachtungszeit von 60 Monaten immer noch vollständig osseointegriert waren, ist davon auszugehen, dass das Augmentat diese Aufgabe zumindest teilweise übernommen hat. Möglicherweise lassen sich die von Hatano et al. beobachteten Verluste bis zum dritten Jahr nach Belastung als eine Folge des marginalen Knochenverlustes bei gleichzeitiger Volumeninstabilität des Augmentats erklären.

## Schlussfolgerung

Das Resultat bezüglich der Langzeitstabilität des Augmentats konnte nur bedingt mit Ergebnissen aus der Literatur verglichen werden. Die vorliegende Studie sucht Antworten auf bisherige Fragen zur langfristigen Implantatstabilität im augmentierten Sinus. Bei der Untersuchung der Stabilität der Augmentationshöhe nach Sinuslifts mit Bio-Oss wurden über eine Beobachtungszeit von maximal zehn Jahren an 67 Patienten mit 186 in die Kieferhöhle inserierten Implantaten 690 Orthopantomogramme vermessen. Die Auswertung der radiographischen Daten reicht aus, um die aus der Hypothese abgeleiteten Fragen positiv zu beantworten: Die Verwendung des bovinen Knochenersatzmaterials Bio-Oss bei der Sinusbodenaugmentation erzeugt ein stabiles Augmentat mit einer hohen Überlebensrate der dort inserierten Implantate und kann somit vom Kliniker zuverlässig eingesetzt werden. Der regenerierte Knochen widersteht durch seine langsame Resorption dem Pneumatisationsdruck und gibt dadurch selbst bei kritischen marginalen periimplantären Knochenverlusten langfristig Stabilität. Für den Kliniker bedeuten diese Ergebnisse, dass bei Sinusliftfällen, bei denen vertikal eine Auflagerungsplastik nicht notwendig ist, die Indikation einer Knochenentnahme aus der Hüfte neu überdacht werden sollte.

surfaces and two-stage procedures correlated with increased marginal bone loss, especially when the residual bone height was < 4 mm. On the basis of their results, the authors recommend a one-stage procedure, provided that primary stability can be achieved.

Since the cited literature provides radiographic analysis with regard to marginal bone loss only after loading, the bone loss found in the present study between implant insertion and loading cannot be compared. It should be noted that mean loss of just 2 mm takes place from the time of insertion to two years after loading, and this progresses subsequently. With low residual bone thickness of less than 4 mm, a critical phase can be anticipated after this time, in which the volume stability and loading stability of the sinus grafted with Bio-Oss are important for long-term success. The remaining bone of only 1 mm to 2 mm can hardly provide the implant with any stability. Since the implants in the present study were still completely osseointegrated after an observation period of 60 months, it can be assumed that the augmentation material has taken over this function at least partially. Possibly, the losses observed by Hatano et al., up to the third year after loading, can be explained as a consequence of the marginal bone loss with simultaneous volume instability of the augmentation material.

## Conclusion

With regard to the long-term stability of the augmentation material, the results could only be compared to a limited degree with those quoted in literature. The present study seeks answers to previous questions on long-term implant stability in the augmented sinus. To investigate the stability of the augmentation height after sinus lift with Bio-Oss, 690 orthopantomographs were measured in 67 patients with 186 implants inserted into the sinus over a period of up to ten years. The analysis of the radiographic data is sufficient to give a positive answer to the questions arising from the hypothesis: use of the bovine bone substitute Bio-Oss in sinus floor augmentation produces a stable graft with a high survival rate of the implants inserted there, and can thus be used reliably by the clinician. The regenerated bone resists the pneumatization pressure through its slow resorption and thus provides long-term stability, even in the case of critical marginal peri-implant bone loss. For the clinician, these results mean that in sinus lift where a vertical onlay graft is not necessary, the indication for bone harvesting from the hip should be reconsidered.

## Acknowledgement

Special thanks to the practice of Dr. A. Kirsch and Dr. K.-H. Ackermann in Filderstadt for providing the orthopantomographs and to Professor Dr. H. Terheyden of Kiel University for scientific support.

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt der Praxis Dr. A. Kirsch / Dr. K.-H. Ackermann in Filderstadt für die zur Verfügung gestellten Orthopantomogramme und der wissenschaftlichen Unterstützung durch Professor Dr. H. Terheyden der Universität Kiel.

## Korrespondenzadresse

Hanns Dieter Ruoff (M.Sc.)  
Herrenbergerstrasse 68  
D-72070 Tübingen  
Tel.: 0 70 71 / 4 99 23  
Fax: 0 70 71 / 4 28 58  
h-d.ruoff@zahnarztzuoff.de

## Literatur

- Aghaloo TL, Moy PK: Which hard tissue augmentation techniques are the most successful in furnishing bony support for implant placement? *J Oral Maxillofac Implants* 2007;22(Suppl): 49–70
- Atwood DA, Coy WA: Clinical, cephalometric, and densitometric study of reduction of residual ridges. *J Prosthet Dent* 1971;26(3):280–295
- Block MS, Kallukaran FU, Thunthy K, Weinberg R: Bone maintenance 5 to 10 years after sinus grafting. *J Oral Maxillofac Surg* 1998;56:706–714
- Carlsson GE, Jemt T: Long-term marginal periimplant bone loss in edentulous patients. *Int J Prosthodont* 2000;13:295–302
- Del Fabbro M, Testori T, Francetti L, Weinstein R: Systematic review of survival rates for implants placed in the grafted maxillary sinus. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2004;24(6): 565–577
- Del Fabbro M, Testori T, Francetti L, Tascieri S, Weinstein R: Systematic review of survival rates for immediately loaded dental implants. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2006;26(3): 249–263
- Esposito M, Grusovin MG, Coulthard P, Worthington HV: The efficacy of various bone augmentation procedures for dental implants: a Cochrane systematic review of randomized controlled clinical trials. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21(5):696–710
- Gruber H, Ulm C: Anatomie und atrophiebedingte Veränderungen der Kieferknochen. In Watzek G: *Enossale Implantate in der oralen Chirurgie*. Quintessenz, Berlin 1993, 29–62
- Hallman M, Sennerby L, Lundgren S: A clinical and histologic evaluation of implant integration in the posterior maxilla after sinus floor augmentation with autogenous bone, bovine hydroxyapatite, or a 20:80 mixture. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002;17(5): 635–643
- Hallman M, Strandkvist T: A retrospective 5-year follow-up study of two different titanium implant surfaces used after interpositional bone grafting for reconstruction of the atrophic edentulous maxilla. *Clin Implant Dent Relat Res* 2005;7:121–126
- Hatano N, Shimuzu Y, Ooyova 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 Implant Res* 2004;3:339–345
- Herzberg R, Schwartz-Arad D: Implant marginal bone loss in maxillary sinus grafts. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21:103–110
- Lindquist LW, Jemt T: A prospective 15-year follow-up study of mandibular fixed prostheses supported by osseointegrated implants. Clinical results and marginal bone loss. *Clin Oral Implants Res* 1966;7:329–336
- McAllister BS, Haghghat K: Bone Augmentation Techniques. *J Periodontol* 2007;78(3):377–396
- Pinheiro JCaDMB. Mixed-Effects Models in S and S-Plus. *The Statistician* 2001;50:351–352
- Raghoobar GM, Reintsema H, van Oort RP: Augmentation of the maxillary sinus floor with autogenous bone for the placement of endosseous implants: a preliminary report. *J Oral Maxillofac Surg* 1993;51:1198–1203; discussion 1203–1195
- Rosen MD, Sarnat BG: Change of volume of the maxillary sinus of the dog after extraction of adjacent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1955; 8:420–429
- Rosen PS, Mellado JR, Salkin LM, Shanaman RH, Marks MH, Fugazzotto PA: The bone-added osteotome sinus floor elevation technique: multicenter retrospective report of consecutively treated patients. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1999;14:853–858
- Sartori S, Silvestri M, Forni F, Icaro Cornaglia A, Tesi P, Cattaneo V: 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(3):369–372
- Schlegel KA, Fichtner G, Schultze-Mosgau S, Wiltfang J: Histologic findings in sinus augmentation with autogenous bone chips versus a bovine bone substitute. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2003;18(1):53–58
- Shin YK, Heo SJ, Kim S, Chun HJ: Radiographic evaluation of marginal bone level around implants with different neck designs after 1 year. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2006;21:789–794
- Tallgren A: The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: a mixed longitudinal study covering 25 years. *J Prosthet Dent* 1972;27:120–132
- Team RDC: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria 2005;ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>
- Ulm C, Matejka M, Watzek G: Die Atrophie des zahnlosen und teilbezahnten Processus alveolaris maxillae. In Watzek G: *Enossale Implantate in der oralen Chirurgie*. Quintessenz, Berlin 1993, 305–313
- Ulm C, Krennmair G, Matejka M, Watzek G: Incidence and suggested surgical management of septa in sinus-lift procedures. *Int J Maxillofac Implants* 1995;10:462–465
- Valentini P, Abensur D, Wenz B, Peetz M, Schenk R: Sinus grafting with porous bone mineral (Bio-Oss) for implant placement: a 5-year study on 15 patients. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2000;20(3):245–253
- Wallace SS, Froum SJ: Effect of maxillary sinus augmentation on the survival of endosseous dental implants. A systematic review. *Ann Periodontol* 2003;8(1):328–343
- Watzek G, Ulm CW, Haas R: The Sinus Bone Graft "Anatomic and physiologic fundamentals of sinus floor augmentation". In Jensen OT, Chicago, 1999
- Xu Hui SY, Asai S, Ooya K: Grafting of deproteinized bone particles inhibits bone resorption after maxillary sinus floor elevation. *Clin Oral Implants Res* 2004;15:126–133