

# Knochenersatzmaterialien in der oralen Implantologie

## Einteilung und Eigenschaften

Das knöchernerne Fundament ist für den langfristigen Implantationserfolg entscheidend. Besteht ein knöchernes Defizit, so muss es entweder präimplantologisch oder im Zuge der Implantation ausgeglichen werden. Um dieser Herausforderung zu begegnen, stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Einige bevorzugen das autologe Knochentransplantat, andere Knochenersatzmaterialien.

■ Das Hartgewebsmanagement, das heißt, die knöchernerne Rekonstruktion des Alveolarkamms und benachbarter skelettaler Strukturen, stellt eine der größten Herausforderungen in der zahnärztlichen Implantologie dar. Das knöchernerne Fundament ist für den langfristigen Implantationserfolg entscheidend. Verschiedene Atrophiegrade, Defektgrößen und unterschiedliche chirurgische Augmentationsverfahren (primär, sekundär und tertiär) haben zu einer weiten Spanne an verfügbaren Materialien und Meinungen geführt (Chiapasco et al. 2006, Zahrani 2007, Aghaloo et al. 2008, Schropp et al. 2008, Polini et al. 2009). Diese Aufgabe kann auf verschiedene Weise in Angriff genommen werden.

Unter dem Begriff Knochenersatzmaterialien werden alle nicht körpereigenen Substanzen, die zur Auffüllung knöcherner Defekte eingesetzt werden, zusammengefasst. Knochenaufbaumaterialien müssen bestimmte Kriterien erfüllen, um der Aufgabe des Knochenersatzes gerecht werden zu können.

Dieser Artikel gibt einen Überblick über die Funktion, die Einteilung sowie die Indikation von Knochenersatzmaterialien. Diese und auch ihre Abbauprodukte dürfen nicht toxisch sein und keine antigene Wirkung besitzen. Weiterhin dürfen Knochenersatzstoffe keinerlei kanzerogene oder mutagene Eigenschaften aufweisen. Die Indikationen und Ziele der Anwendung sind nach Terheyden (2007) folgend definiert:

1. Volumenstreckung bei partikulären autologen Knochentransplantaten
2. Reduktion der Oberflächenresorption bei autologen Transplantaten
3. Gerüst für die gesteuerte Knochenregeneration.
4. Verbesserung der Weichgewebkonturen am Alveolarfortsatz.

### *1. Volumenstreckung bei partikulären autologen Knochentransplantaten*

Um den Umfang der autologen Knochenspende zu reduzieren, kann es sinnvoll sein, partikulären Knochentransplantaten bestimmte Volumenanteile von Knochenersatzmaterialien beizufügen. Das Mischverhältnis zwischen autologem Transplantat und dem Kno-

chenersatzmaterial hängt von verschiedenen Faktoren, wie z. B. einem reduzierten allgemeinen Gesundheitszustand, Alter des Patienten und der Knochenqualität, ab. Weiterhin zählen Rauchen, Diabetes, anatomische Gegebenheiten und minderwertiger Qualität des Empfängergewebes dazu (Zitzmann et al. 2001, Schnurer et al. 2003, Garg 2006, Terheyden 2007).

### *2. Reduktion der Oberflächenresorption bei autologen Transplantaten*

Die Resorption eines freien Knochentransplantats durch Osteoklasten ist eine Voraussetzung für die funktionelle Einheilung. Sie wird auch als schleichender Ersatz oder „creeping substitution“ bezeichnet. Dabei sollte diese Resorption möglichst innerhalb des transplantierten Volumens stattfinden und die äußere Form des regenerierten Volumens intakt lassen. Eine Überschichtung eines autologen Knochentransplantats mit Ersatzmaterial kann diesen schleichenden Ersatz reduzieren (Erpenstein et al. 2004, Terheyden 2007).

### *3. Gerüst für die gesteuerte Knochenregeneration*

In diesem Falle hat das Ersatzmaterial eine Platzhalterfunktion und wirkt wie ein passives Gerüst, das den Knochenzellen Verankerungsmöglichkeiten bietet und die Membran gegen den Weichgewebedruck abstützt (Terheyden 2007).

### *4. Verbesserung der Weichgewebkonturen am Alveolarfortsatz*

Um die Kontur des Alveolarkamms zu erhalten oder als Stütze für das Weichgewebe zu dienen, kann ein langsam oder gar nicht resorbierendes Knochenersatzmaterial verwendet werden. Zu Zeiten der präprothetischen Chirurgie wurde dieser Effekt häufig mit  $\beta$ -Trikalziumphosphat und Hydroxylapatit für die Kieferkammplastiken genutzt (Erpenstein et al. 2004).

## Mechanismen der Knochenregeneration

Bestimmte Knochendefekte des Kiefers heilen bis zu einer gewissen Größe ohne Knochenersatz und Unter-

# NobelActive™

Ein neues richtungsweisendes Implantat



Prothetische Versorgung  
mit Doppelfunktion

Knochenverdichtende Eigenschaften

Anpassbare Implantatausrichtung  
für eine optimale Insertion

Integriertes Platform Switching

Hohe Primärstabilität, selbst bei  
ungünstigen Knochenverhältnissen

DIE TIUNITE® OBERFLÄCHE –  
SEIT 10 JAHREN IN DER  
PRAXIS BEWÄHRT

**Neue Daten belegen  
die langfristige Stabilität**

Fünf Gründe für NobelActive, die Sie fühlen können. Das Gewindedesign von NobelActive verdichtet den Knochen mit jeder Drehung bei der Insertion und erhöht somit die Primärstabilität. Dank der selbstschneidenden Implantatspitze kann die Implantatausrichtung angepasst werden, um die optimale Position der prothetischen Versorgung zu erzielen. Prothetiker profitieren von einer vielseitigen und sicheren Innenverbindung mit

konischer Passung und integriertem Platform Switching. Dank der Prothetikverbindung mit Doppelfunktion lassen sich Einzelzahnversorgungen sowie kostengünstige Stegversorgungen einfach realisieren. Mit der breiten Palette von konfektionierten und individuellen prothetischen Komponenten bietet Ihnen NobelActive ein flexibles System für Versorgungen mit hervorragender Ästhetik.

Nobel Biocare ist weltweit führend in innovativen, wissenschaftlich fundierten Lösungen im Dentalbereich. Weitere Informationen erhalten Sie von Ihrer Nobel Biocare Niederlassung vor Ort (Tel. 02 21-500 85-590) oder im Internet unter:

[www.nobelbiocare.com/nobelactive](http://www.nobelbiocare.com/nobelactive)

stützung spontan ab. Wird diese kritische Größe überschritten (critical size defect), muss der Defekt mit Ersatzmaterialien gefüllt und die Knochenheilung unterstützt werden. Drei verschiedene Vorgänge sind an einer erfolgreichen Knochen transplantation und am Heilungsprozess beteiligt (Garg 2006):

#### *Osteogenese, Osteokonduktion und Osteoinduktion*

Sie alle hängen von drei wichtigen Faktoren ab: Kontakt, Vitalität und Stabilität.

Osteogenese ist die Bildung und Entwicklung von Knochen. Ein osteogenes Transplantat bewirkt das natürliche Knochenwachstum und seine Heilung.

Diesem Prozess liegt eine Stimulation, die Osteoinduktion, zugrunde. Osteoinduktive Knochenersatzmaterialien können zur Steigerung der Knochenregeneration eingesetzt werden und sogar bewirken, dass Knochen in ein Gebiet vorwächst oder sich erstreckt, in dem normalerweise kein Knochen vorhanden ist.

Definitionsgemäß muss ein osteoinduktives Material fähig sein, im subkutanen Gewebe oder in der Muskulatur Knochen zu bilden (Garg 2006, Terheyden 2007). Die Osteokonduktion bietet ein passendes Gerüst zum Anbau neuen Knochens. Diese Materialien leiten das Knochenwachstum ausgehend vom bestehenden Gewebe und ermöglichen eine Knochenapposition und das Einwachsen von Gefäßen (Angiogenese), regen dabei jedoch keine Neubildung an.

Um das Knochenwachstum entlang seiner Oberfläche zu fördern, benötigt ein osteokonduktives Material die Anwesenheit von bereits bestehendem Knochen. Alle Knochenaufbaumaterialien besitzen wenigstens eine dieser drei Wirkungsweisen (Garg 2006). Nur die autologen Transplantate verfügen über alle drei Eigenschaften.

### **Herkunft und Typen von Knochenersatzmaterialien**

Es gibt unterschiedliche Arten von Knochenersatzmaterialien. Sie werden nach ihrer Herkunft und Art in fünf verschiedene Gruppen eingeteilt:

- autogen
- isogen
- allogen
- xenogen
- alloplastisch.

#### *Autogenes Material*

Autologer Knochen ist autogenes Material, d.h., es kommt vom selben Individuum. Transplantiertes autogener Knochen heilt als wachsender Knochen aufgrund von allen drei Vorgängen der Knochenbildung (Osteogenese, Osteoinduktion, Osteokonduktion) ein. Die Areale, an denen autologer Knochen gewonnen werden kann (Tab. 1), sind extraorale Gebiete wie Beckenkamm, Calvaria oder das Tibiaplateau und intraorale Gebiete, wie die Symphyse des Unterkiefers, das Tuber maxillae der Ramus mandibulae, Crista zygoma-

#### **Intraorale Regionen**

Symphysis mentalis  
Tuber maxillae  
Ramus mandibulae  
Exostosen des Ober- und Unterkiefers  
Crista zygomaticoalveolaris

#### **Extraorale Regionen**

Beckenkamm  
Calvaria  
Tibiaplateau  
Rippe

**Tab. 1:** Spenderregionen für autologe Transplantate.

ticoalveolaris oder intraorale Exostosen. Das Transplantat kann als Block gewonnen und transplantiert oder anschließend mit der Knochenmühle partikuliert werden. Weitere Möglichkeiten sind die Nutzung von anfallenden Bohrspänen oder die Entnahme von Knochenchips mit einem Knochenschaber (z. B. entlang der Linea obliqua der Mandibula).

#### *Isogenes Material*

Unter isogenem Material versteht man Transplantationsmaterial (in diesem Falle Knochen transplantat) von einem Zwilling, also von derselben Spezies, aber ohne eine Antigen-Antikörper-Reaktion auszulösen.

#### *Allogenes Material*

Allogenes Material ist ein Knochen transplantat von einem anderen Individuum derselben Spezies. Die natürliche Knochenmatrix von menschlichen Leichnamen wird gereinigt, entfettet und mit unterschiedlichen Methoden behandelt, um sie haltbar zu machen und zu desinfizieren. Da es nicht möglich ist, sämtliche antigenen Proteine dieser allogenen Transplantate zu entfernen, ohne die gewünschte positive Aktivität der Bone Morphogenetic Proteins (BMP) zu zerstören, verbleibt eine gewisse Immunogenität in solchen Transplantaten. Beispiele dafür sind der „Antigene extracted, Autolysed, Allogenic Bone“ (AAA-Knochen) und der „Demineralized Freezed Dried Bone Allograft“ (bekannt als DFDBA).

#### *Xenogenes Material*

Xenogenes Material ist ein Knochenimplantat von einer anderen Spezies, z. B. vom Rind (bovin), Pferd (equin) oder vom Schwein (porcin). Als Marktführer in Deutschland ist wohl Bio-Oss (Fa. Geistlich/Schweiz) zuerst zu nennen. Es ist bovinen Ursprungs und anorganisch. Die organische Komponente wurde entfernt. Es ist osteokonduktiv und wird in den umliegenden Knochen durch physiologische Remodellierungsprozesse eingebaut.

#### *Alloplastisches Material*

Alloplastisches Material ist synthetisch hergestelltes Knochenersatzmaterial mit osteokonduktiven Eigenschaften. Dazu gehören nichtkeramische Materialien wie Kalziumkarbonat, mikroporöser Komposit und bioaktive Glaskeramik. Weiterhin die bekannteren Ersatzmaterialien  $\beta$ -Trikalziumphosphat und Hydroxylapatit.

## Surgic XT Plus

### Chirurgie-Mikromotor

Mit Licht

Surgic XT Plus Komplettsset mit Ti-SG20L Licht-Winkelstück € 4.200,00\*

- 1 Surgic XT Plus inkl. Winkelstück Ti-SG20L
- + 1 gerades Chirurgie-Handstück Ti-SG65L
- + 1 sterilisierbarer Kühlmittelschlauch

**Sparen  
Sie  
€ 521,00\***

**€ 4.500,00\***



Ti-SG65L  
€ 772,00\*



€ 49,00\*



### Chirurgie-Mikromotor

Ohne Licht

Surgic XT Komplettsset mit SGM-ER20i Winkelstück

- 1 Surgic XT inkl. Winkelstück SGM-ER20i
- + 1 Handstück SGS-ES
- + 1 sterilisierbarer Kühlmittelschlauch

**Sparen  
Sie  
€ 430,00\***

**€ 3.200,00\***



SGS-ES  
€ 381,00\*



€ 49,00\*



SGMS-ER20i  
€ 580,00\*

### Chirurgie-Winkelstück

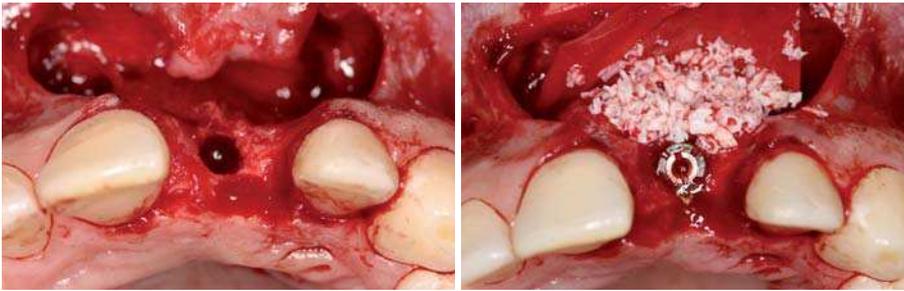
Mit Tiefenstoppfunktion 20:1 Untersetzung

- Mit Lineal, zwei Tiefenstopper

Optionales Zubehör:

Interne Sprühdüse, Spülschlauchklemme,  
Kühlmittelschlauch in Y-Form





**Abb. 1:** Lateraler Kieferkammdefekt. –  
**Abb. 2:** Laterale Augmentation des Defektes mit einem xenogenen Ersatzmaterial und einer resorbierbaren Membran.

Knochenbildende Zellen (Osteoblasten) besiedeln offensichtlich nicht nur die natürliche Knochengrundsubstanz als Unterlage, sondern akzeptieren auch geeignete technische und biologische Oberflächen und können dort Knochen bilden (Strietzel et al. 2007). Die meisten Knochenersatzmaterialien können mit Komponenten des natürlichen Knochens (Zellen/Knochenmatrix) in Verbindung gebracht werden. Die Guided Bone Regeneration (GBR) beschreibt den Einsatz dieser Materialien in Verbindung mit der Membrantechnik, welche die Proliferation von bindegewebigen Zellen in den augmentierten Bereich verhindert (Abb. 1, 2).

### Eigenschaften von Knochenersatzmaterialien

Die meisten Materialien, die zum Ersatz von Knochen geeignet sind, haben einen neutralen bis basischen pH-Wert unter Körperbedingungen. Diese Materialien und ihre Abbauprodukte dürfen nicht toxisch sein und keine antigene Wirkung besitzen. Ebenso dürfen Knochenersatzstoffe auch keinerlei kanzerogene oder mutagene Eigenschaften aufweisen. Das Ersatzmaterial muss bioaktiv sein, da die knöcherne Integration eines Biomaterials eine feste Verbindung zwischen vitalem Knochen und dem Ersatzmaterial fordert. Im Idealfall kann das Knochenersatzmaterial biologisch abgebaut werden und nach einiger Zeit von neu gebildetem Knochen ersetzt werden. Ein weiteres wichtiges Merkmal ist ihre Makroporosität, da die Neubildung von Knochen, über eine klinisch relevante Distanz, immer an das Einwachsen von Blutgefäßen gekoppelt ist (Aghaloo et al. 2007). Knochenersatzmaterialien sollten interkonnektierende Makroporen enthalten.

Erneut zu benennen ist das xenogene Knochenersatzmaterial Bio-Oss, da es als natürlich gewonnenes Ersatzmaterial eine physiologische Porengröße und Porenverteilung besitzt (Aghaloo et al. 2007). Es ist die Mineralienstruktur bovinen Knochens, die ehemals dem internen knöchernen Weichgewebe (Knochenzellen, Gefäßen und Nerven) Platz gelassen hat (Peters 2005).

Die künstliche Herstellung von interkonnektierenden Poren ist schwierig. Dieser Aussage hat man versucht, mit NanoBone (Fa. ARTOSS/Rostock) entgegenzuwirken. NanoBone verfügt durch die Einlagerung von ungesintertem Hydroxylapatit in eine Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ )-Struktur über eine große Oberfläche und weist eine

interkonnektierende Porenstruktur auf (Gerber et al. 2006).

Aufgrund dieser Eigenschaften kommt es zu einer schnellen Knochenbildung und zu einem vollständigem Remodelling (Götz et al. 2008).

Karageorgiou und Kaplan zeigten 2005, dass eine Makroporosität von 40% und eine zusammenhängende Porengröße von 300 bis 565  $\mu\text{m}$  optimal sind. Eine höhere oder geringere Porengröße hat das Ergebnis verschlechtert. Partikuläre Materialien weisen allein deshalb eine Makroporosität auf, da sie bei lockerer Schüttung Zwischenräume zwischen den einzelnen Partikeln erzeugen, deren Größe vom Partikelmaß abhängig ist. Eine tierexperimentelle Studie von Murai et al. 2006 belegte, dass die 250 bis 500  $\mu\text{m}$  großen Partikel Erfolg versprechender waren als kleinere, und die Partikel mit einer Größe von mehr als 1 mm weniger Erfolg versprechend waren als kleinere. Abschließend lässt sich noch hinzufügen, dass ein geeignetes Knochenersatzmaterial gewisse Anforderungen bezüglich der Handhabung erfüllen muss. Es sollte sterilisierbar sein, wobei sich aber seine chemischen und biomechanischen Eigenschaften nicht verändern dürfen. Das Material muss in ausreichenden Mengen synthetisierbar sein und eine einfache Applikation und Bearbeitung durch den Operateur gewährleisten.

### Vorteile

Zusammenfassend spiegeln diese Eigenschaften die Vorteile der Knochenersatzmaterialien wider. Der bedeutendste Vorteil ist ihre unbegrenzte Verfügbarkeit. Sie sind nicht auf ein Spenderareal begrenzt, sondern werden in großen Mengen gefertigt. Weiterhin sollte das geringe Infektionsrisiko, die kaum vorhandene Abstoßungsreaktion und die verminderte postoperative Morbidität genannt werden.

### Zukünftiges Vorgehen/Trends

Die klinische sowie experimentelle Forschung auf dem weiten Gebiet der dentoalveolären Augmentation wird sicherlich in den nächsten Jahrzehnten noch zahlreiche Fragen unbeantwortet lassen. Da der autologe Knochen, trotz einiger Nachteile, noch immer als Goldstandard zählt, wäre ein Tissue Engineering, wie es bereits in der Forschung steht, wünschenswert. Doch dieser Knochen sollte im Gegensatz zu dem heute erhältlichen Knochen zusätzlich anfängliche aber auch endgültige Formstabilität aufweisen. Nichtsdestotrotz

sind momentan künstliche Produkte wie bioaktive Glaskeramiken aufgrund eines makroporösen Gerüsts mit stark verzweigten interkonnektierenden Poren in den Mittelpunkt von Diskussion geraten (Vitale-Brovare et al. 2007). Auch gibt es Forschungsgruppen, die sich mit biodegradierbarem Hydroxylapatit beschäftigen, welches in der Vergangenheit nur schwer vorstellbar gewesen wäre. (Gerber et al. 2006, Bienengräber et al. 2007, Strietzel et al. 2007, Götz et al. 2008). Die Forschung um die dentoalveoläre Augmentation ist demnach ein weites Feld, das selbst eine Konferenz mit eigens hierfür eingeladenen Experten nach mehreren Tagen zu keinem adäquaten Ergebnis der weiteren Forschung, geschweige denn deren Ausgang, gelangen würde. Es besteht weiterhin Forschungsbedarf und es wird sich zeigen, in welche Richtung dieser Bedarf führt. Aufgrund der rasanten Neu- und Weiterentwicklungen auf diesem Gebiet ist das Angebot von Knochenersatzmaterialien vielfältig und somit schwer zu überschauen. Jegliche Art von Knochenersatz, sei es z.B. allogen, xenogen oder alloplastisch, wird in unterschiedlichen Formen angeboten. Welches Material am besten geeignet ist, hängt sowohl von der Indikation als auch den individuellen Wünschen von Patient und Behandler ab.

Auf den folgenden Seiten erhalten Sie einen Überblick über die aktuell erhältlichen Ersatzmaterialien. Dies soll Vergleichsmöglichkeiten bieten und Einsicht in den reichhaltigen Markt verschaffen. ■

Eine Literaturliste kann in der Redaktion angefordert werden.

#### Anmerkung der Redaktion

Die folgende Übersicht beruht auf den Angaben der Hersteller bzw. Vertreiber. Wir bitten unsere Leser um Verständnis dafür, dass die Redaktion für deren Richtigkeit und Vollständigkeit weder Gewähr noch Haftung übernehmen kann.

## KONTAKT

### Bergen Pak, cand. med. dent.

Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main  
Theodor-Stern-Kai 7, Haus 29  
60590 Frankfurt am Main  
E-Mail: Bergen-Pak@t-online.de

### OA Dr. Pablo Hess, Oralchirurg

Poliklinik für Zahnärztliche Chirurgie und Implantologie  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main  
Theodor-Stern-Kai 7, Haus 29  
60590 Frankfurt am Main  
Zahnärztliche Gemeinschaftspraxis u. Fortbildungszentrum  
für Zahnheilkunde Dres. Kempf & Dr. Hess  
Jahnstr. 8 und 14, 65451 Kelsterbach  
E-Mail: p.hess@em.uni-frankfurt.de

**CERASORN M**

**Knochenaufbaumaterial  
Bone Substitution Material**

**IMPLANTS**

**Membranen  
Membranes**

**Endodontie  
Endodontia**

**Prophylaxe  
Prophylaxis**

**RIENSER**

RIENSER, Arzneimittel AG | Gesundheitswirtschaft GmbH  
Lindigstraße 4 | 65501 Hainhausen | Germany  
Tel. +49 6927 4896-0 | Fax. +49 6927 4896-894  
e-mail: dental@RIENSER.de | www.RIENSER.com

**INFOCOUPON**

Bitte, ebenfalls im 06027 4896-898 faxen

Ja, ich möchte weitere Informationen erhalten zu:

- CERASORN® - mit Bioaktivem Kollagen
- IMPLANTS® - zahnfach und implantation
- Membranen - für die Füll
- Endodontische Produkte, mit der Ledermix® - Produktfamilie
- Prophylaxe Produkte, u.a. vom spezialisierten Marketing- und Laboratorien K&L

Prüfungspfad

Name / Straße / Ort

Ja, ich möchte gerne persönliche Daten erhalten. Bitte senden Sie mir nur Kontakt.