

MEMBRANGESCHÜTZTE KNOCHENREGENERATION

in der Implantologie

Herausgegeben von:

Prof. Dr. med. dent. Daniel Buser, DDS
Direktor der Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie
Zahnmedizinische Kliniken
Universität Bern

Deutsche Übersetzung:

Dr. med. Sibylle Tönjes, Kiel

 **QUINTESSENZ VERLAG**

Berlin, Chicago, Tokio, Barcelona, Istanbul, London, Mailand,
Moskau, Neu-Delhi, Paris, Prag, São Paulo, Seoul und Warschau

Titel der englischen Originalausgabe:
20 Years of Guided Bone Regeneration in Implant Dentistry, Second Edition
© 2009 Quintessenz Publishing Co, Inc

Bibliografische Informationen der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-86867-010-3



Quintessenz Verlags-GmbH
Komturstraße 18
12099 Berlin
www.quintessenz.de

© 2010 Quintessenz Verlag-GmbH

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Übersetzung: Dr. med. Sibylle Tönjes, Kiel
Lektorat, Herstellung und Reproduktionen: Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin
Druck: Bosch Druck, Landshut/Ergolding

Printed in Germany

Inhalt

Widmung *vi*
Geleitwort *vii*
Vorwort *ix*
Autoren *xi*

- 1 Die membrangeschützte Knochenregeneration in den letzten 20 Jahren** 1
Daniel Buser
- 2 Biologische Grundlagen der Knochenregeneration** 15
Dieter D. Bosshardt und Robert K. Schenk
- 3 Eigenschaften von Barrieremembranen** 47
Michael M. Bornstein, Thomas von Arx und Dieter D. Bosshardt
- 4 Knochentransplantate und Knochenersatzmaterialien** 71
Simon Storgård Jensen, Dieter D. Bosshardt und Daniel Buser
- 5 Intraorale Knochenentnahme** 97
Thomas von Arx
- 6 Implantation mit simultaner GBR-Technik: Selektion der Biomaterialien und chirurgische Grundlagen** 123
Daniel Buser
- 7 Implantation nach Extraktion** 155
Daniel Buser und Stephen T. Chen
- 8 Membrangeschützte Knochenregeneration und autologe Knochenblöcke zur horizontalen Kammaugmentation: ein zweizeitiges Vorgehen** 199
Thomas von Arx und Daniel Buser
- 9 Membrangeschützte Knochenregeneration bei vertikaler Kammaugmentation: gestern, heute und morgen** 235
Massimo Simion und Isabella Rocchietta

Sachregister 259



Den Pionieren der membrangeschützten Knochenregeneration

L. A. Hurley
C. A. L. Bassett
P. J. Boyne
T. P. Rüedi
T. Karring
S. Nyman
C. Dahlin
R. K. Schenk

Geleitwort

Das Geleitwort zu einem bedeutenden Buch verfassen zu dürfen, bedeutet ebenso Ehre und Auszeichnung wie Verantwortung und Verpflichtung gegenüber den Autoren. Das vorliegende Werk, sorgfältig herausgegeben und mitverfasst von meinem langjährigen engen Freund, ist ohne Zweifel ein Meilenstein der klinischen Zahnmedizin. Der Text bietet einen umfassenden Überblick über die letzten zwei Jahrzehnte der Entwicklung eines der grundlegenden, stetig wachsenden Gebiete der dentalen Implantologie und eine aktuelle Standortbestimmung zur membrangeschützten Knochenregeneration. Heute, am Ende der ersten zehn Jahre des neuen Jahrtausends, sind die membrangeschützte Knochenregeneration und die Augmentation der periimplantären Strukturen klinisch etabliert und aus einer erfolgreichen dentalen Implantologie nicht mehr wegzudenken. Das in diesem Buch vereinte Wissen über die gegenwärtig verfügbaren Techniken, Behandlungsprotokolle und Biomaterialien in Verbindung mit der unverzichtbaren wissenschaftlichen Dokumentation vermittelt dem praktisch tätigen Implantologen die Grundlagen für die Entscheidungsfindung und – entsprechend seiner Ausbildung und Kompetenz – die anschließende Behandlung. Grundlegende Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die SAC-Klassifikation der klinischen Situationen in einfache (straightforward, S), anspruchsvolle (advanced, A) und komplexe (complex, C), die vom Herausgeber nachdrücklich vertreten wird. Wie der Titel des Buches andeutet, ist die membrangeschützte Knochenregeneration, obwohl eine eigenständige Disziplin, doch maßgeblich und eng mit der dentalen Implantologie assoziiert, in der heute eine prothetisch ausgerichtete Implantatplatzierung den veralteten knochengeleiteten Ansatz ablöst. Die Autoren – jeder einzelne hoch qualifiziert und renommierter Experte auf dem behandelten Gebiet – garantieren für die beeindruckende wissenschaftliche Qualität des Werkes ebenso wie für die Vollständigkeit der Darstellung aller relevanten Aspekte. Oralchirurgen, Parodontologen, Prothetiker, Generalisten und Studierende dürfen sicher sein, Informationen zu finden, die für Ihre jeweiligen Ziele grundlegende Bedeutung haben. Dieses Buch wird in kurzer Zeit zu einem Standard- und Referenzwerk von dauerhafter Gültigkeit avancieren.

Prof. Dr. med. dent. Urs C. Belser
Abteilung für Festsitzende Prothetik und Okklusion
Institut für Zahnmedizin
Universität Genf

Vorwort

Der Einsatz von Barrieremembranen zur Regeneration von Knochendefekten hat die dentale Implantologie im Verlauf der letzten 20 Jahre stark verändert. Das meist als „membrangeschützte Knochenregeneration“ (*guided bone regeneration*, GBR) bezeichnete Prinzip wurde erstmals im Jahre 1959 von Hurley und Mitarbeitern beschrieben. In den 1960er-Jahren testeten die Forschergruppen um Bassett und Boyne mikroporöse Zelluloseazetat-Laborfilter (Millipore) bei der Behandlung kortikaler Defekte an Röhrenknochen und der knöchernen Rekonstruktion des Kiefers. Die Autoren benutzten die Filter, um durch Isolierung der Knochendefekte gegen Zellen des fibrösen Bindegewebes ein geeignetes Milieu für die Osteogenese zu erzeugen. Diese Pionierstudien führten allerdings nicht unmittelbar zu einer breiten klinischen Anwendung von Barrieremembranen am Patienten. Tatsächlich wurden die klinischen Möglichkeiten der Membrantechnik erst in den frühen 1980er-Jahren erkannt, als die Forschergruppe um Karring und Nyman in verschiedenen experimentellen und klinischen Studien zur parodontalen Regeneration die Verwendung von Barrieremembranen systematisch untersuchte. Wenige Jahre später wurde die Membrantechnik im Rahmen experimenteller Studien zur Knochenregeneration getestet. Auf Grundlage der vielversprechenden Ergebnisse dieser Studien begann in den späten 1980er-Jahren der klinische Einsatz von Membranen bei Implantatpatienten.

Nach fünf Jahren intensiver experimenteller und klinischer Vorarbeit wurde im Jahr 1994 unter dem Titel *Guided Bone Regeneration in Implant Dentistry* die erste englische Ausgabe dieses Buches veröffentlicht, die ein gesteigertes Interesse für das Thema in der implantologischen Fachwelt wachrufen konnte. Seit dieser Zeit hat sich die GBR-Technik kontinuierlich weiterentwickelt. Eine aktuelle Analyse ihrer wissenschaftlichen Grundlagen und klinischen Anwendungsmöglichkeiten wurde deshalb schon lange gewünscht. Das Ergebnis liegt in deutscher Übersetzung vor Ihnen: die zweite Auflage des Buches mit dem englischen Titel *20 Years of Guided Bone Regeneration in Implant Dentistry*.

Das Buch richtet sich wieder an Kliniker mit Interesse und Erfahrung auf dem Gebiet der Implantologie. Die ersten vier Kapitel nehmen die wissenschaftlichen Grundlagen der GBR in der dentalen Implantologie in den Blick. Sie vermitteln dem Leser die biologischen Prinzipien und die Funktionsweisen der Biomaterialien dieser hervorragend dokumentierten und vielfach eingesetzten Technik als essenzielles Wissen für die Anwendung von Barrieremembranen am Patienten. Als Einführung in das Thema stellt Kapitel 1 die Entwicklung der GBR-Technik in den letzten 20 Jahren dar und beschreibt die vier für den Erfolg der Regeneration maßgeblichen Faktoren. Kapitel 2 behandelt die biologischen Grundlagen der Knochenregeneration und gibt den aktuellen Wissensstand zu Knochenbildung und -remodeling wieder. Es bietet hervorragende histologische Abbildungen nichtentkalkter Schnitte aus mehr als 30 Jahren experimenteller orthopädischer Forschung. Kapitel 3 stellt die Eigenschaften,

Vorteile und Nachteile der nichtresorbierbaren und resorbierbaren Barrieremembranen vor, die in der dentalen Implantologie Anwendung finden. Kapitel 4 informiert über die verschiedenen in Verbindung mit Barrieremembranen eingesetzten Transplantat- und Knochenersatzmaterialien. Diese Knochenfüllmaterialien dienen zur Unterstützung der Membranen und damit zur Vermeidung eines Membranzusammenbruchs, sie beeinflussen aber auch die Knochenneubildung und -remodellierung im Defektbereich. Die vielfältigen Eigenschaften der Knochenfüllmaterialien, wie ihr osteogenetisches und osteokonduktives Potenzial und ihre Substitutionsraten, werden auf der Grundlage experimenteller Studien besprochen.

Die Kapitel 5 bis 9 stellen die Möglichkeiten der klinischen Anwendung der GBR vor. Jedes Kapitel ist spezifischen Indikationen gewidmet, beschreibt die Kriterien für die Patientenauswahl, das schrittweise chirurgische Vorgehen und Aspekte der postoperativen Betreuung. Besondere Beachtung finden die Schnittführung, das Lappendesign, die Vorbereitung und Platzierung der Barrieremembranen, die Kombination von Membranen mit autologen Knochentransplantaten sowie Knochenfüllmaterialien mit geringer Substitutionsrate und die Möglichkeiten des Wundverschlusses. Diese fünf klinischen Kapitel zeichnen die gewaltigen Fortschritte der membrangeschützten Knochenregeneration in den letzten zwei Jahrzehnten nach und bestimmen ihren derzeitigen klinischen Wert in der zahnärztlichen Implantologie.

Als Herausgeber möchte ich allen Autoren und Koautoren meinen herzlichen Dank für die viele Zeit und Mühe aussprechen, die sie diesem Buch geopfert haben. Die Zusammenarbeit mit Fachkollegen von solcher Qualität war eine ebenso intensive wie befriedigende Erfahrung. Außerdem danke ich Frau Jeannie Wurz für ihre hervorragende Arbeit bei der Redaktion und Korrektur aller Manuskripte vor der Überstellung an den Verlag. Schließlich gilt mein Dank dem Team des Quintessenz Verlages für die ausgezeichnete Zusammenarbeit bei der Herstellung des Buches und die einmal mehr vorzügliche Qualität des Layouts und Drucks.

Autoren

PD Dr. med. dent. Michael M. Bornstein

*Leiter der Station für zahnärztliche
Radiologie und Stomatologie*
Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie
Universität Bern

PD Dr. sc. nat. Dieter D. Bosshardt, PhD

*Leiter des Forschungslabors
für Orale Histologie*
Zahnmedizinische Kliniken
Universität Bern

Prof. Dr. med. dent. Daniel Buser, DDS

*Direktor der Klinik für Oralchirurgie
und Stomatologie*
Zahnmedizinische Kliniken
Universität Bern

Stephen T. Chen, BDS, MSc, PhD

Institut für Zahnmedizin
Universität Melbourne
Australien

Simon Storgård Jensen, DDS

Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurg
Abteilung für Mund-, Kiefer- und
Gesichtschirurgie
Universitätsklinik Kopenhagen
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie
Zahnmedizinische Kliniken
Universität Bern

Isabella Rocchietta, DDS

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Abteilung Parodontologie
Institut für Zahnmedizin
Universität Mailand

Prof. em. Dr. med. Robert K. Schenk, MD

Klinik für Oralchirurgie und Stomatologie
Zahnmedizinische Kliniken
Universität Bern

Massimo Simion, MD, DDS

Leiter der Abteilung Parodontologie
Institut für Zahnmedizin
Universität Mailand

Prof. Dr. med. dent. Thomas von Arx

*Stellvertretender Direktor der Klinik für
Oralchirurgie und Stomatologie*
Zahnmedizinische Kliniken
Universität Bern

Implantation mit simultaner GBR-Technik: Selektion der Biomaterialien und chirurgische Grundlagen

Daniel Buser

Heute werden immer mehr Implantate mit simultanen Verfahren zur membran-geschützten Knochenregeneration (*guided bone regeneration*, GBR) eingesetzt, bei denen Barrieremembranen in Kombination mit Knochentransplantaten, Knochenersatzmaterialien oder beidem verwendet werden. Dank der GBR-Technik sind auch bei Patienten mit lokalen Knochendefekten an den Implantationsstellen gute Behandlungsergebnisse möglich. Primäres Ziel einer GBR-Behandlung ist die erfolgreiche Knochenregeneration im Defektbereich mit hoher Zuverlässigkeit und geringem Komplikationsrisiko. Sekundäre Ziele sind gute Behandlungsergebnisse bei möglichst wenigen chirurgischen Eingriffen, eine geringe Patientenmorbidity und verkürzte Heilungsphasen. In diesem Kapitel werden die Entscheidungskriterien für die simultane GBR-Technik, die biologischen Grundlagen für die Selektion der geeigneten Biomaterialien und das schrittweise operative Vorgehen für die Implantatinsertion mit simultanem GBR-Eingriff dargestellt. Dabei soll das Hauptaugenmerk auf krestalen Dehiszenz- und apikalen Fenestrationsdefekten liegen. Die Implantation in Extraktionsalveolen wird in Kapitel 7 ausführlich besprochen.

■ Entscheidungskriterien für die simultane GBR-Technik

Lokale Knochendefekte sind eine bei Implantatpatienten häufige klinische Situation und der Kliniker hat die Wahl, den GBR-Eingriff entweder zweizeitig oder simultan durchzuführen. Unter Berücksichtigung der oben erwähnten Behandlungsziele ist einer Implantation mit simultaner GBR-Technik, wann immer möglich, der Vorzug zu geben, um die Anzahl der chirurgischen Eingriffe auf nur eine Operation mit offenem Lappen zu reduzieren. Der Behandler muss diese wichtige Entscheidung auf Grundlage seiner klinischen Erfahrung, oft sogar aus seiner Intuition heraus treffen. Als Hilfe bei der Entscheidungsfindung können jedoch die folgenden Kriterien herangezogen werden:

- Das Implantat muss in einer aus funktioneller und ästhetischer Sicht korrekten dreidimensionalen Position eingesetzt werden.
- Für diese spezifische Position muss eine primäre Implantatstabilität gewährleistet sein.
- Die Morphologie des periimplantären Knochendefekts muss eine zuverlässige Knochenregeneration im Defektbereich ermöglichen.

Das Einsetzen des Implantats in einer korrekten dreidimensionalen Position ist für ein optimales funktionelles und ästhetisches Behandlungsergebnis entscheidend. Dieses Prinzip, das oft auch als „*restoration-driven implant placement*“ bezeichnet wird, wurde in der Mitte der 1990er-Jahre in die zahnärztliche Implantologie eingeführt.^{1,2} Die adäquate dreidimensionale Implantatpositionierung – insbesondere in der ästhetischen Zone – wird heute erheblich besser verstanden.

Wie bereits in den 1960er- und 1970er-Jahren erkannt wurde, ist eine gute Primärstabilität des Implantats eine wichtige Voraussetzung für die Osseointegration.³⁻⁵ Die Immobilität eines Implantats während der initialen Einheilphase ist eine Grundbedingung dafür, dass von den Osteoblasten neuer Knochen auf die Implantatoberfläche aufgelagert werden kann.⁶

Schließlich spielt auch die Morphologie des periimplantären Knochendefekts eine wichtige Rolle bei der Entscheidung darüber, ob ein simultanes Vorgehen möglich ist. Schenk et al.⁷ stellten fest, dass die Knochenneubildung überwiegend von der Größe der exponierten Knochenoberfläche und der zugehörigen Markhöhle abhängt, da für die Knochenneubildung im Defektbereich vor allem angiogene und osteogene Zellen verantwortlich sind, die aus der Markhöhle stammen.

Das Potenzial der Knochenneubildung im Bereich eines Implantats mit periimplantärem Knochendefekt hängt von allgemeinen und lokalen Faktoren ab. Wichtige allgemeine Faktoren sind das Alter und der Gesundheitszustand des Patienten. Als Regel kann gelten, dass die Defektbereiche bei jungen, gesunden Patienten über ein besseres Heilungspotenzial verfügen als bei Patienten mit einem Alter von über 70 Jahren, die zudem oft durch gesundheitliche Probleme, wie Diabetes mellitus oder Osteoporose, typische Krankheiten dieser Altersgruppe oder bestimmte Medikationen, wie Antikoagulanzen oder Bisphosphonate, eingeschränkt sind. Diese Faktoren sind durch den Behandler nicht zu beeinflussen, müssen aber bei der präoperativen Untersuchung berücksichtigt werden, da sie in die Entscheidung über das in der jeweiligen klinischen Situation am besten geeignete operative Vorgehen einfließen.

Der wichtigste lokale Faktor ist das Verhältnis zwischen exponierter Knochenoberfläche und Defektvolumen. Eine fundierte Methode zur Differenzierung der verschiedenen klinischen Situationen ist das Zählen der Knochenwände, die zur Knochenneubildung beitragen können. Dieses Vorgehen wurde aus der parodontalen Regeneration übernommen.⁸ Die Faustregel ist einfach: Je mehr Knochenwände in einem Defektbereich zur Verfügung stehen, umso größer ist das Heilungspotenzial. Einwandige Defekte sind klinisch weitaus anspruchsvoller als zwei- oder dreiwandige (Abb. 6-1).

Das unterschiedliche Heilungspotenzial bei simultaner GBR-Technik lässt sich anhand des direkten Vergleichs eines einwandigen mit einem zweiwandigen Defekt veranschaulichen (Abb. 6-2). Ein zweiwandiger Defekt besitzt eine günstige Defektmorphologie (siehe Abb. 6-2a). Solche Defekte finden sich oft in Extraktionsalveolen und haben häufig eine eher geringe mesiodistale Ausdehnung an der vestibulären Knochenoberfläche. Die beiden Knochenwände bilden an der vestibulären Implantatseite einen kraterförmigen Defekt. Außerdem liegt die exponierte Oberfläche des korrekt positionierten Implantats innerhalb des Alveolarkamms (siehe Abb. 6-2b). Solche kleinen Defekte haben ein ausgezeichnetes Potenzial zur Knochenregeneration

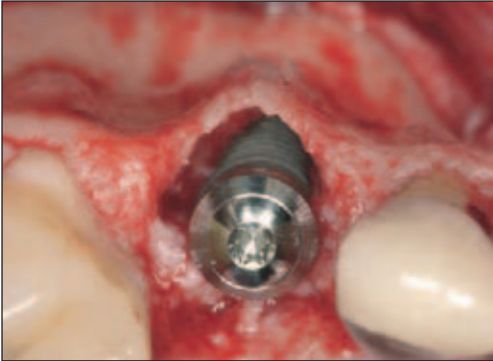


Abb. 6-1a Sofortimplantation in eine Extraktionsalveole in korrekter dreidimensionaler Position. Der entstandene dreiwandige Defekt begünstigt ein gutes Regenerationsergebnis.

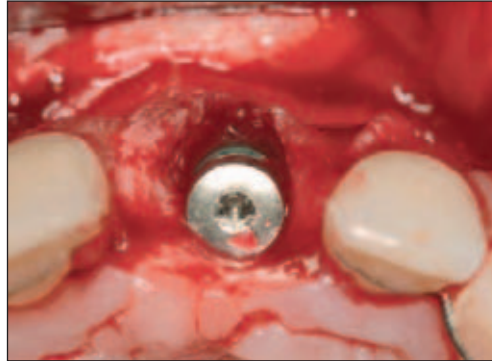


Abb. 6-1b Insertion eines Implantats in eine Extraktionsalveole, wobei ein kraterförmiger zweiwandiger Defekt entstanden ist, der ein gutes Regenerationsergebnis begünstigt.



Abb. 6-1c Die Insertion eines Implantats in einen abgeheilten Alveolarkamm von etwa 5 mm Breite führte zu einer Grenzsituation zwischen ein- und zweiwandigem Defekt. Ein gutes Regenerationsergebnis lässt sich nur eingeschränkt vorhersagen.

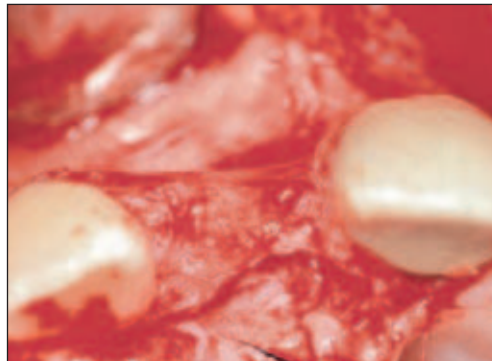
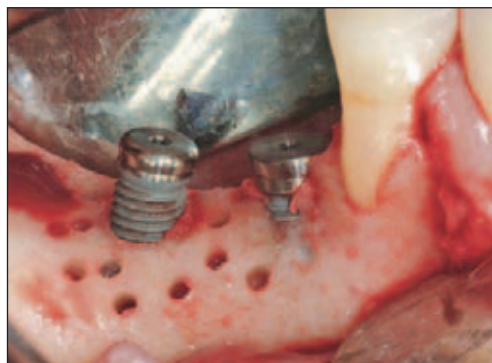


Abb. 6-1d Die Einzelzahnücke besitzt eine Kambreite von weniger als 4 mm. Durch Einsetzen eines Implantats würde ein einwandiger Defekt mit außerhalb des Alveolarkamms exponierter Implantatoberfläche entstehen. Hier ist ein zweizeitiges Vorgehen zu empfehlen.

Abb. 6-1e Vertikaler Knochendefekt nach Einsetzen eines Implantats in den unteren Seitenzahnbereich. Dies ist die für ein gutes Regenerationsergebnis schwierigste Ausgangssituation.



innerhalb weniger Wochen, da die angiogenen und osteogenen Zellen aus den Markhöhlen der angrenzenden Knochenwände nur eine kurze Entfernung überwinden müssen, um den Defekt zu schließen.

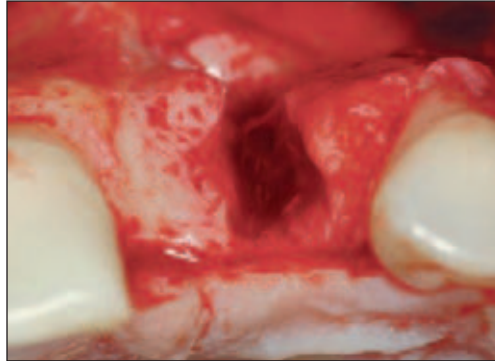


Abb. 6-2a 8 Wochen nach der Extraktion beträgt die Alveolarkammbreite mehr als 6 mm und es besteht ein kraterförmiger Knochendefekt.

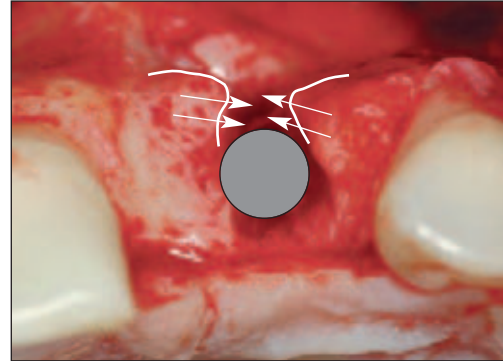


Abb. 6-2b Die virtuelle Insertion eines 4-mm-Implantats zeigt, dass ein kraterförmiger zweiwandiger Defekt entstehen würde. Diese vorteilhafte Defektform kann durch einwachsende osteogene Zellen (*Pfeile*) aus der Markhöhle der angrenzenden Knochenwände regeneriert werden.



Abb. 6-2c Vestibuläre Abflachung und Reduktion der Alveolarkammbreite auf weniger als 4 mm durch einen ausgedehnten Knochendefekt.

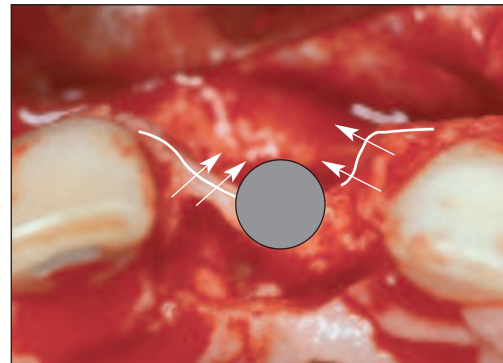


Abb. 6-2d Die virtuelle Insertion eines 4-mm-Implantats zeigt, dass ein breiter einwandiger Defekt entstehen würde. Diese Defektform ist für eine simultane Implantation ungeeignet, da die einwachsenden osteogenen Zellen für ein gutes Regenerationsergebnis an der vestibulären Seite der exponierten Implantatoberfläche größere Distanzen überbrücken müssten (*Pfeile*).

Im Gegensatz dazu ist die Defektmorphologie einwandiger Defekte weitaus anspruchsvoller (siehe Abb. 6-2c). Derartige Defekte finden sich oft in abgeheilten Alveolarfortsätzen, mindestens 6 Monate nach Zahnextraktion oder traumatischem Zahnverlust. Die Breite des Alveolarkamms ist oft vermindert, sodass die Implantatoberfläche über den Kamm hinausragt und eine breite, flache Defektmorphologie entsteht. In solchen Defekten müssten die angiogenen und osteogenen Zellen weitaus größere Distanzen überbrücken (siehe Abb. 6-2d). Damit ist die Gefahr eines unzureichenden Regenerationsergebnisses erhöht. Bei einer Kammbreite von weniger als 4 mm wird deshalb unbedingt ein zweizeitiges Vorgehen empfohlen. Zunächst erfolgt eine horizontale Alveolarkammaugmentation mittels Knochenblock und GBR, später wird bei einem Zweiteingriff das Implantat eingesetzt (siehe Kapitel 8).

Ein weiterer lokaler Faktor ist die Struktur der Knochenwand im Defektbereich. Sofern die exponierte Oberfläche aus Kortikalis besteht, sollte sie unbedingt mehrfach mit einem kleinen Rosenbohrer perforiert werden. Experimentelle Studien haben gezeigt, dass derartige Perforationen die Heilung membrangeschützter Defekte verbessern.^{9,10} Diese Bohrlöcher eröffnen die Markhöhle und fördern die Blutung in den Defektbereich. Wenn die exponierte Knochenoberfläche blutet, wie z. B. in Extraktionsalveolen, sind Bohrlöcher überflüssig.

Das Heilungspotenzial eines Defekts lässt sich klinisch durch einen dritten Faktor beeinflussen: die Auswahl eines geeigneten Knochenfüllmaterials zur Augmentation des periimplantären Defekts. Ursprünglich wurden Füllmaterialien überwiegend als Stütze eingesetzt, um den Kollaps der Membran zu verhindern.^{11,12} Später wurde erkannt, dass die osteogenen und osteokonduktiven Eigenschaften der Füllmaterialien die Knochenneubildung in membrangeschützten Defekten stimulieren können.¹³ Diese Aspekte werden im folgenden Abschnitt besprochen.

■ Selektion geeigneter Biomaterialien

Die Selektion geeigneter Biomaterialien spielt eine wichtige Rolle für das Behandlungsergebnis der GBR-Technik (siehe Abb. 1-3). Zu den für die GBR verwendeten Biomaterialien gehören das Implantat selbst, die Barrieremembran und Knochenfüllmaterialien. Im klinischen Alltag wird unbedingt empfohlen, dass die Operateure nur Biomaterialien verwenden, die (1) in präklinischen und klinischen Studien wissenschaftlich gut untersucht wurden, und (2) Eigenschaften besitzen, die dazu beitragen, die oben genannten primären und sekundären Behandlungsziele zu erreichen.

Implantattyp und -oberfläche

Heute werden im klinischen Alltag Schraubenimplantate aus Titan mit modernen mikrorauen Oberflächen klar bevorzugt. Schraubenimplantate gewährleisten eine bessere Primärstabilität als Implantate ohne Gewinde. Die modernen mikrorauen Titanoberflächen ermöglichen während der Einheilung eine raschere und intensivere Knochenapposition. Diese modernen Oberflächen wurden in den letzten 20 Jahren entwickelt und haben inzwischen die Standard-Implantatoberflächen der 1980er-Jahre – die maschinieren und Titan-Plasma-Spray-beschichteten Oberflächen – weitestgehend ersetzt.

In den 1980er-Jahren wurden sandgestrahlte Oberflächen mit und ohne Säureätzung in experimentellen Studien untersucht und führten in der zahnärztlichen Implantologie zu einem Paradigmenwechsel hin zu mikrorauen Titanoberflächen.¹⁴⁻¹⁷ Zu diesen Oberflächen gehörten unter anderem die SLA- (Straumann), TiOblast- (Astra Tech) und Osseotite- (Biomet 3i) Oberflächen. Durch verschiedene Produktionsverfahren wurde die Topografie dieser Titanoberflächen so verbessert, dass sie bei der initialen Wundheilung für Osteoblasten osteophiler wurden.⁶ Durch diese mikrorauen Oberflächen wurde die bisher übliche Einheildauer von Implantaten reduziert, die zuvor bei 3 bis 6 Monaten lag.



Abb. 6-3a Nicht quervernetzte Kollagenmembran aus Schweinehaut (Bio-Gide).



Abb. 6-3b Diese Kollagenmembran ist in zwei Größen erhältlich: 30 x 40 mm und 25 x 25 mm.

Box 6-1

Vor- und Nachteile nicht quervernetzter Kollagenmembranen vom Schwein

Vorteile

- Die hydrophilen Eigenschaften ermöglichen eine einfache Handhabung während des Eingriffs.
- Bei dieser Membran ist kein Zweiteingriff zur Membranentfernung erforderlich.
- Bei Weichgewebedehiszenz neigt diese Membran nicht zu Infektionen.

Nachteile

- Die Barrierefunktion ist nicht sehr dauerhaft, da die Membran binnen 4 bis 8 Wochen resorbiert wird.
- Die Membran ist weich, sodass sie durch Knochenfüllmaterialien gestützt werden muss, um nicht zu kollabieren.

Heute sind in Standardsituationen ohne Augmentationsverfahren Frühbelastungsprotokolle nach 6- bis 8-wöchiger Einheilung gut dokumentiert.¹⁸⁻²¹ In den letzten 5 Jahren wurde mit chemischen Mitteln versucht, die Chemie der Implantatoberfläche zu verbessern. Ein typisches Beispiel ist die chemisch modifizierte SLA-Oberfläche (SLActive, Straumann), die in zahlreichen experimentellen Studien vielversprechende Ergebnisse erbrachte.²²⁻²⁵ Aufgrund dieser überzeugenden Ergebnisse aus präklinischen Studien setzt die Gruppe des Autors bei Implantatpatienten, bei denen ein GBR-Eingriff erfolgt, routinemäßig chemisch modifizierte SLA-Schraubenimplantate ein.

Barrieremembranen

Heute dominieren bioresorbierbare Kollagenmembranen die GBR-Technik im Klinikalltag. Eine der am besten untersuchten Kollagenmembranen ist eine vom Schwein stammende, nicht quervernetzte Kollagenmembran (Bio-Gide, Geistlich).²⁶⁻³² Diese Membran (Abb. 6-3) wird von unserer Gruppe in den meisten klinischen Situationen bevorzugt, da sie mehrere klinische Vorteile bietet (Box 6-1).

Erstens ist die Membran hydrophil und ihre Handhabung während des Eingriffs einfach. Sobald sie blutgetränkt ist, wird die Membran weich und haftet leicht an der lokalen Knochenanatomie. Mithilfe einer Doppellagentchnik lässt sich die Membranstabilität so weit erhöhen,³³ dass eine Befestigung mit Nägeln oder Stiften zur Stabilisierung nicht quervernetzter Kollagenmembranen normalerweise nicht erforderlich ist. Zweitens ist kein Zweiteingriff mit offenem Lappen nötig, um die Membran wie-

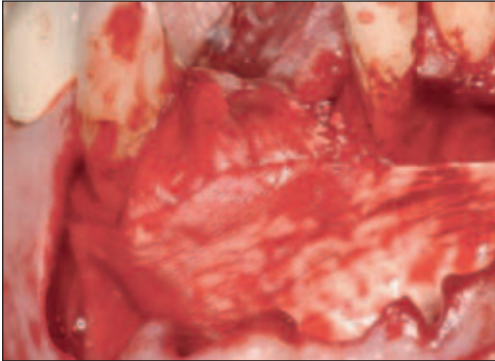


Abb. 6-4a Im Operationsbereich wird eine Kollagenmembran platziert.



Abb. 6-4b Primärer Wundverschluss durch Einzelknopfnähte.



Abb. 6-4c Klinischer Status 2 Wochen postoperativ. Die partielle Nekrose des Wundrands in der Nähe des angrenzenden Eckzahns hat eine Wunddehiszenz mit Exposition der Kollagenmembran verursacht.



Abb. 6-4d 2 Monate später sind die Weichgewebe sekundär und ohne infektiöse Komplikationen an der Membran verheilt.

der zu entfernen, da sie binnen weniger Wochen resorbiert wird. Drittens führt die Kollagenmembran nur selten zu Komplikationen, sofern im Heilungsverlauf eine Weichgewebedehiszenz auftritt. Klinische Studien haben gezeigt, dass exponierte, nicht quervernetzte Kollagenmembranen keine lokalen Infektionen verursachen,³⁴ sondern die Weichgewebe dann komplikationslos sekundär abheilen (Abb. 6-4).

All diese Aspekte stellen wichtige Vorteile im Vergleich mit nicht resorbierbaren, bioinerten Membranen aus expandiertem Polytetrafluorethylen (ePTFE) dar. Diese gut untersuchten Membranen sind wesentlich anspruchsvoller in der Handhabung, müssen grundsätzlich in einem Zweiteingriff mit offenem Lappen wieder entfernt werden und neigen zu Komplikationen, da es oft zur Weichgewebedehiszenz kommt. Mehrere klinische Studien haben gezeigt, dass eine frühzeitige Membranexposition das Behandlungsergebnis der GBR-Technik beeinträchtigt.^{28,35-37} Daher werden ePTFE-Membranen von der Gruppe des Autors im Klinikalltag nur selten verwendet. Indikationen für ePTFE-Membranen sind schwierige klinische Situationen, wie Defekte zur vertikalen Knochenaugmentation, die in Kapitel 9 besprochen werden.

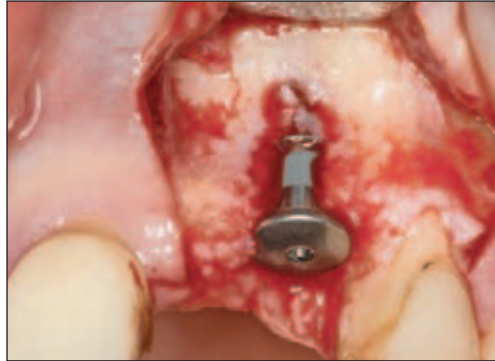


Abb. 6-5a Vestibulärer periimplantärer Defekt nach Implantatplatzierung im Bereich des linken oberen Eckzahns.

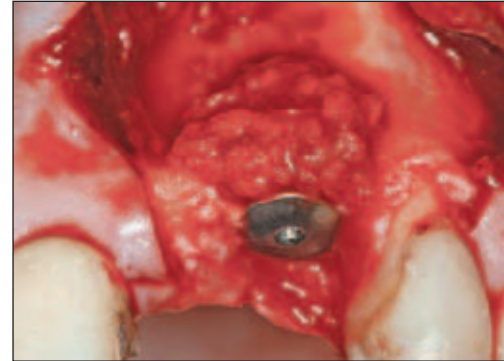


Abb. 6-5b Der Defekt wird mit lokal gewonnenen Knochenspänen augmentiert, um die exponierte Implantatoberfläche abzudecken.

Knochenfüllmaterialien

Knochenfüllmaterialien werden bei der GBR-Technik im Klinikalltag routinemäßig eingesetzt, da sie das Behandlungsergebnis und die Vorhersagbarkeit verbessern. Knochenfüllmaterialien, die in Kombination mit Barrieremembranen verwendet werden, sollten in der Lage sein,

- die Membran zu stützen und einen Membrankollaps zu verhindern.
- die Knochenneubildung im membrangeschützten Defekt zu beschleunigen.
- das erzeugte Knochenvolumen dauerhaft zu erhalten.

Die erste Voraussetzung lässt sich mit jedem Knochenfüllmaterial, das ausreichend biokompatibel ist, leicht erfüllen. Bei der zweiten und dritten Voraussetzung ist dies schwieriger. Der Kliniker hat die Wahl zwischen zahlreichen Knochentransplantaten und Knochenersatzmaterialien (siehe Kapitel 4). Zur Beschleunigung der Knochenneubildung müssen die Füllmaterialien osteogene Eigenschaften besitzen, während zur dauerhaften Erhaltung des aufgebauten Knochenvolumens ein Füllmaterial mit geringer Substitutionsrate erforderlich ist. Zahlreiche experimentelle Studien haben deutlich gezeigt, dass keines der verfügbaren Knochentransplantate oder Knochenersatzmaterialien diese beiden Aspekte gleichzeitig erfüllen kann. Daher wird eine Kombination von zwei Füllmaterialien empfohlen. Von unserer Gruppe wurde sie erstmals 1998 verwendet.

Das Konzept der synergistischen Kombination von zwei Knochenfüllmaterialien beruhte auf den Beobachtungen aus einer experimentellen Studie von Buser et al.¹³ Diese Studie zeigte, dass nur autologe Knochenspäne die Knochenneubildung in membrangeschützten Defekten im Vergleich zu Kontrollstellen, die nur mit einem Blutkoagulum gefüllt sind, beschleunigen können. Im Gegensatz dazu verlangsamten alle untersuchten Knochenersatzmaterialien die Knochenneubildung während der initialen Heilungsphase. Daneben zeigte diese Studie auch, dass das einzige Füllmaterial mit einer geringen Substitutionsrate eines auf der Basis von Hydroxylapatit war. Diese Ergebnisse wurden in den letzten 10 Jahren in mehreren Tierstudien bestätigt.^{38–42}

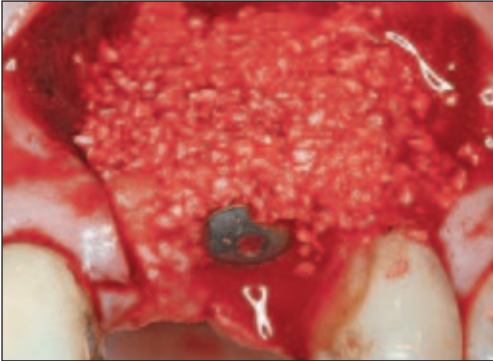


Abb. 6-5c Zur Alveolarkammplastik wird eine zweite Schicht DBBM-Partikel aufgetragen.

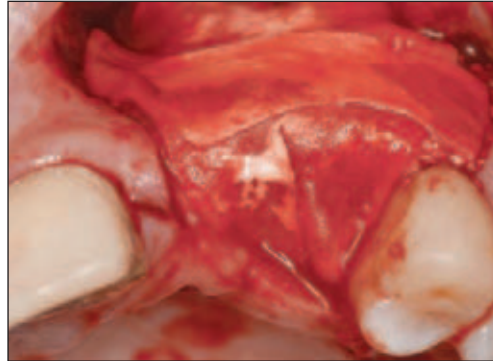


Abb. 6-5d Das Augmentat wird mit einer Kollagenmembran abgedeckt, die mit einer Doppellagentechnik platziert wird.

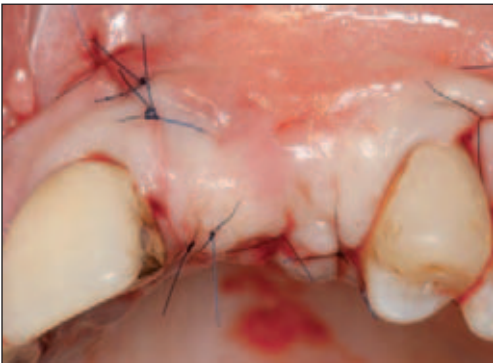
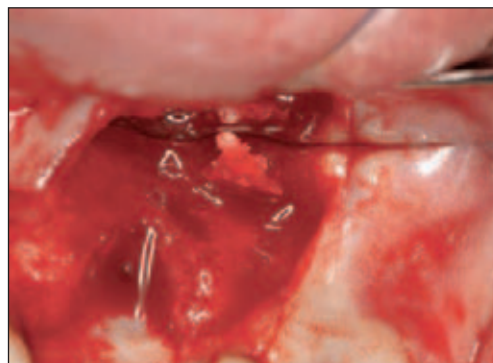


Abb. 6-5e Die Operation wird durch einen spannungsfreien primären Wundverschluss beendet.



Abb. 6-5f 4 Jahre später wurde der Patient erneut überwiesen, da der linke zentrale Schneidezahn im Oberkiefer wegen einer Wurzelfraktur entfernt werden musste.

Abb. 6-5g Während der Implantatoperation wird eine oberflächliche Biopsie aus dem Bereich des linken lateralen Schneidezahns entnommen, an dem vor 4 Jahren die Alveolarkammplastik erfolgte (Fortsetzung der Abbildung auf der nächsten Seite).



Autologe Knochenspäne werden routinemäßig im Defektbereich eingesetzt. Sie werden direkt auf die exponierte Implantatoberfläche aufgebracht, um die osteogenen Eigenschaften des autologen Knochengranulats zu nutzen. Diese Eigenschaften sind ausführlich in Kapitel 4 dargestellt, die Entnahmeverfahren finden sich in Kapitel 5 beschrieben. Bei Kombination mit einer modernen mikrorauen Titanimplantatoberfläche verkürzen die Knochenspäne die Einheildauer, da die Osseointegration und

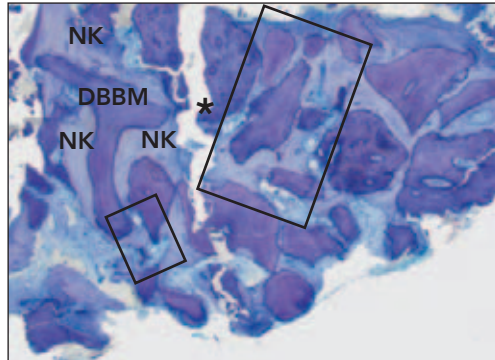


Abb. 6-5h Histologische Übersicht der humanen Biopsie. Zu erkennen sind zahlreiche Partikel der deproteinisierten bovinen Knochenmatrix (DBBM) mit guter Gewebeintegration. Neu gebildeter Knochen (NK) bedeckt Teile der Oberfläche des Knochenersatzmaterials und überbrückt benachbarte DBBM-Partikel. Im Zentrum des Schnitts befindet sich eine artifizielle Lücke (*Stern*) (nicht entkalktes Schliffpräparat; Toluidinblau).

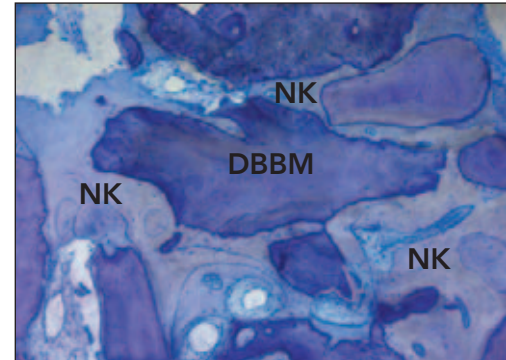


Abb. 6-5i Vergrößerung des in Abbildung 6-5h durch das große Rechteck markierten Bereichs. Der Großteil der Oberfläche der DBBM-Partikel ist von neu gebildetem Knochen bedeckt (NK).

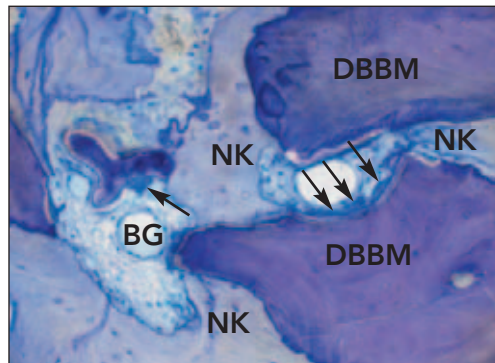


Abb. 6-5j Vergrößerung des in Abbildung 6-5h durch das kleine Rechteck markierten Bereichs. An den nicht von Knochen bedeckten Stellen sind zahlreiche osteoklastenähnliche, mehrkernige Riesenzellen (*Pfeile*) zu erkennen, welche die Oberfläche des deproteinisierten Rinderknochenmaterials (DBBM) auch 4 Jahre nach der Augmentation noch bedecken. Dies lässt auf eine sehr geringe Substitutionsrate dieses Füllmaterials schließen. Das Weichgewebe, das den Raum zwischen Knochenmatrix und den Partikeln des Füllmaterials ausfüllt, ist reich an Blutgefäßen (BG).

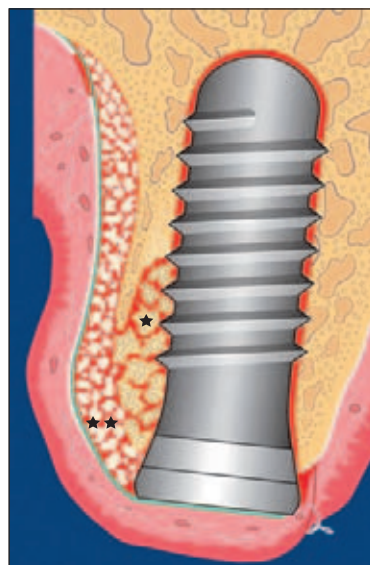


Abb. 6-6 Beim Konzept der synergistischen Kombination von zwei Knochenfüllmaterialien zur Konturaugmentation bedecken autologe Knochenspäne (*) die exponierte Implantatoberfläche. Darauf kommt eine Schicht aus einem Knochenfüllmaterial mit geringer Substitutionsrate, wie DBBM (**). Das Augmentat wird mit einer Kollagenmembran als temporärer Barriere abgedeckt. Die Biomaterialien werden durch einen spannungsfreien primären Wundverschluss geschützt.

Sachregister

Hinweis: Der Buchstabe „A“ nach Seitenzahlen bezeichnet Abbildungen, „T“ bezeichnet Tabellen, „B“ Boxen.

A

abbaubare Materialien 48
Ablagerung der Knochenmatrix 21
Algen, knochenähnliche Mineralien aus
 s. xenogene Transplantatmaterialien aus Algen
allogene Transplantatmaterialien 33–34, 82–84
 autologe vs. 82–83, 84A
 demineralisierter gefriergetrockneter Knochen (DFDBA) 82, 83A
 frischer gefrorener Knochen 82
 gefriergetrockneter Knochen (FDBA) 72A, 82, 83A
 in Knochenbanken 82
 Kalziumphosphat 72A
 Typen 72A
Allomatrix 35
alloplastische Transplantatmaterialien 33–34, 89–94
 autologe vs. 91A
 Gruppen 72A, 90
 Vorteile 89
Allotransplantate *s. allogene Transplantatmaterialien*
Alveolarkamm
 dreidimensionale Rekonstruktion 249, 249A–251A
 vertikale Augmentation (OK), Fallbericht 247–248, 246A–248A
 vertikale Augmentation (UK), Fallbericht 245, 244A–245A
Amoxicillin/Clavulansäure 134
Angiogenese 19
Antibiotika
 prophylaktisch 105, 134, 207
 zu häufige Verordnung 206
antimikrobielle Prophylaxe 105, 134, 206
apikale Fenestrationsdefekte 137–142, 138A–141A
Arthritis 23, 24
ästhetische Zone, intraorale Entnahmestellen in der 106
autologe Transplantatmaterialien 33–34, 75–82

allogene vs. 82–83, 84A
alloplastische vs. 91A
aus Knochenkollektoren 78–80, 81A, 81T
aus Knochenschabern 78, 80A
Biokompatibilität 71
Entnahmestellen 75, 76T
Indikationen 81T
Knochenblöcke 76–78, 77A
Nachteile 82
Oberflächen 76
partikulierter Knochen 78, 79A
Resorption 77–78, 80–82
Typen 81T
Wachstumsfaktoren 75–76
xenogene vs. 85A
 Zusammensetzung 76, 76T
Autotransplantate *s. autologe Transplantatmaterialien*
azelluläre dermale Matrix 65

B

Barrieremembranen
 Anfälligkeit für Komplikationen 50
 Aufrechterhaltung der Barrierefunktion 54–57
 aus expandiertem Polytetrafluorethylen (ePTFE) *s. expandiertes Polytetrafluorethylen (ePTFE)*
 bei simultaner GBR-Technik 128–129, 128B, 128A, 129A
 Biokompatibilität 48
 biologischer Ansatz für weitere Entwicklungen 65
 bioresorbierbare 54–65
 Einbringen 242
 Gewebeintegration 49
 Heilung mit 37–43
 Heilung ohne 36A, 37
 intraoperative Handhabung 50
 Kollagenmembranen 57–63, 58A–63A, 128–129, 128B, 128A–129A
 Kombinationsmembranen 64, 64A
 mechanischer Ansatz für weitere Entwicklungen 65
 nichtresorbierbare 51–54
 polymere 54–57, 55A–56A
 Unterstützung 50, 65
 Zellausschluss 48–49, 48A
 zukünftige Entwicklungen 65

- Beckenkamm als Entnahmeregion für Autotransplantate 76T, 77, 77A, 78
- Biogläser 93
- Biokompatibilität
 autologer Transplantate 71
 Definition 48
 Testverfahren 48
 von Barrieremembranen 48
 von Knochenfüllmaterialien 71
- biologische Breite 157
- Bioresorbierbare Membranen *s. Barrieremembranen*
- Blocktransplantate *s. Knochenblöcke*
- Blutgerinsel bei der GBR 36A, 37, 38A
- Bohrer 103
- Bone acidic glycoprotein* 75 21
- Bone metabolizing units s. Knochenbaueinheiten*
- Bone structural units s. Knochenstruktureinheiten*
- bovines Knochenmaterial 90A, 132A
 in Kombination mit anderen Knochenfüllmaterialien 133
 Übersicht 87–89, 87A, 88A
 zum Schutz des Transplantats 209T, 209–211
- Brånemark, Per-Ingvar 1
- C**
- Calcitonin 21, 23
- Calcitriol 23
- Chlorhexidinglukonat 133, 206
- chondrale Ossifikation 16
- Clindamycin 105
- Core-binding factor α 1 (Cbfa1)* 23
- Crista zygomaticoalveolaris* 99, 106, 107
- D**
- Defektmorphologie 124–126
 dreiwandig 124, 125A
 einwandig 124, 126, 126A, 202
 zweiwandig 124, 125A, 126A, 202, 202A
- Dehizenszdefekte, krestale 143–151, 143A–150A
- demineralisierter gefriergetrockneter allogener Knochen (DFDBA) 72A, 82–83, 83A
- Demineralisierung von Allotransplantaten 82
- deproteinisierte bovine Knochenmatrix (DBBM) 90A, 132A
 in Kombination mit Autotransplantaten 133
 Übersicht 87, 87A, 88A, 89, 240
 zur Stabilisierung von Blocktransplantaten 209T, 210–211
- distale Freiendsituation 186, 186A–188A, 229, 229A–231A
- dreidimensionale Alveolarkammrekonstruktion 249, 249A–251A
- dreidimensionale Implantatpositionierung 124, 202
- Dritter Molar 239
- E**
- einwandige Defekte 124, 126, 126A
- Einzelzahnersatz im unteren Seitenzahnbereich 189–192, 189A–192A
- endoplasmatisches Retikulum in Osteoblasten 19
- Entnahmestellen
 extraorale 76T
 für Autotransplantate 76T, 97–98
 intraorale 106–117
 Präparation 241
- enzymatische Quervernetzung 63
- expandiertes Polytetrafluorethylen (ePTFE)
s. auch Barrieremembranen
 als Standard 51
 bei der GBR 3, 4A, 6A
 Chemie 51
 Entwicklung 51
 frühe Studien 51
 Geschichte 51, 200, 201A
 Kollagen vs. 129
 Kompartimentierung 52–53, 52A
 Porosität 51, 52A, 53
 titanverstärkt 51, 53
 zum Schutz von Blocktransplantaten 209T, 210
- extraorale Entnahmestellen für Autotransplantate 76T
- F**
- faziale Fehlpositionierung von Implantaten 158, 158A
- Fenestrationsdefekte, apikale 137–142, 138A–141A
- Fibrinkleber 145, 145A
- Fibroblast growth factors* 22, 23, 75
- Fibula als Entnahmestelle für Autotransplantate 76T
- Fluorhydroxylapatit 86
- Fluorose 17
- Fossa canina als Knochenentnahmestelle 106, 106A
- Frakturheilung 15
- frischer gefrorener Knochen (FFB) 72A, 82–83

Frühimplantation
 nach partieller Knochenheilung 184–192,
 185A–192A
 nach Weichgewebeheilung 165–184, 166A,
 169A–184
 Füllmaterialien s. Knochenfüllmaterialien

G

Gaumenkortikalis 106, 106A
 Geflechtknochen 16, 17, 17A, 18
 Mineralisation 21
 gefriergetrockneter allogener Knochen (FDBA)
 72A, 82–83
 Gewebeintegration 49
 Glutaraldehyd, Quervernetzung mit 58
 Glykolid-Laktat-Trimethylencarbonat-
 (GLTC-)Membran 55A, 56A, 57A
 Glykoproteine 22
 Golgi-Apparat in Osteoblasten 19
 Gore-Tex 51

H

Handinstrumente zur Knochenentnahme
 102A, 102–103
 Hautsensibilität, veränderte, nach intraoraler
 Knochenentnahme 114T–116T, 119
 Nervus incisivus mandibulae, Schädigung
 119
 Nervus mentalis, Parästhesien 119
 Havers-Kanäle 18, 18A
 Havers-Systeme s. Osteone
 horizontale Kammaugmentation mit Knochen-
 blöcken
 antimikrobielle Prophylaxe 206–207
 Aspekte 203–211
 chirurgische Technik 203–206, 203A–205A
 Fallberichte 212–231
 Unterkiefer 212–216, 213A–215A, 229–
 231, 229A–231
 Oberkiefer-Frontzahnbereich 216, 217A–
 218A, 219, 220A–223A, 224, 224A–
 228A
 Fixation mit Schrauben 204
 Indikationen 99, 202
 Knochenmarkperforation 208
 Langzeitergebnisse 212
 partikulierter Knochen vs. 207–208, 208A
 Präparation des Transplantatbetts 204
 Gewinde schneiden 206
 Schutz des Knochenblocks 209–211
 Sedierung 203
 Transplantatfixierung bei 204, 204A
 Howship-Lakunen 20A, 21, 28

Hydrogele 65
 Hydroxylapatit (HA) 75, 84A–85A, 91A–93A
 Hyperparathyreoidismus 17

I

Implantation
 Behandlungsoptionen 156, 156A
 dreidimensionale Positionierung 124
 Entscheidungskriterien 157
 faziale Fehlpositionierung 158, 158A
 Frühimplantation
 nach partieller Knochenheilung 184–192,
 185A–192A
 nach Weichgewebeheilung 165–184,
 166A, 169A–184
 Geschichte 155–156
 lappenloses Vorgehen 160–163,
 160A–162A
 nach Extraktion
 Behandlungsansätze 156, 156A
 Entscheidungskriterien 157
 Frühimplantation nach partieller Knochen-
 heilung 184–192, 185A–192A
 Frühimplantation nach Weichgewebe-
 heilung 165–184, 166A, 169A–184
 Geschichte 155–156
 lappenloses Vorgehen 160–163,
 160A–162A
 Schleimhautrezession 158–159, 158A,
 159A
 Sofortimplantation 158–165, 160A–164A
 Spätimplantation nach abgeschlossener
 Knochenheilung 193, 194A
 Schleimhautrezession 158–159, 158A, 159A
 Sofortimplantation 158–165, 160A–164A
 Spätimplantation nach abgeschlossener
 Knochenheilung 193, 194A
 Implantatoberfläche 127–128
 Implantatpositionierung, dreidimensionale
 124
 Implantatselektion 127–128
 Implantattyp 127–128
 inaktive Osteoblasten 20
 indirekte Ossifikation 16
 inerte Materialien 48
 Infektion
 als Operationsfolge 114T–116T, 118
 Kontrolle 105
 periimplantäre 224, 224A–228A
 Instrumente zur Knochenentnahme
 Handinstrumente 102A, 102–103
 oszillierende 104A, 104–105
Insulin-like growth factors 22, 32, 75
 Interferon γ 23, 24A
 interfibrilläre Räume 17

- Interleukine 23
intermaxillärer Abstand 235
intramembranöse Ossifikation 43
intraorale Knochenentnahme *s. Knochenentnahme, intraorale*
intraorale Knochenentnahmestellen 76T
- K**
- Kalziumphosphate, als Transplantatmaterial 72A, 90–93
- Kinn
als Entnahmestelle für Autotransplantate 76T, 99, 107–112, 107A–111A, 213A
Ptose 110, 112, 118
- Knochen
Arten 16–18
Aufrechterhaltung 24–28
Defektheilung 29–32, 30A, 31A
Entwicklung 15–24
Frakturheilung 15
Funktion 15–16
Geflechtknochen 16, 17, 18, 21
Heilung 15
kortikaler 18, 18A, 25–27, 25A, 211
Lamellenknochen 17, 17A, 21
Matrix 21–22
Modeling 16
parallelfaseriger 16–18, 17A
Regeneration
Aktivierung 29
Anregung 32–43
Biologie 28
physiologische vs. reparative 29
Remodeling 16, 23, 25A, 25–26
Sialoprotein 21
Skeletogenese 16
Spongiosa 18, 26A, 27, 211
Struktur 15–24
trabekulärer 18, 20
Zellen 19–21
- knochenähnliche Mineralien aus Algen und Korallen *s. xenogene Transplantatmaterialien aus Algen, aus Korallen*
- Knochenangebot 199
- Knochenbanken 82
- Knochenblöcke
antimikrobielle Prophylaxe 206–207
Aspekte 203–211
autologe 76–78, 77A
bei der GBR 6A
chirurgische Technik 203–206, 203A–205A
Eingliederung 211
Ergebnisse der Implantation in 212
Fallberichte 212–231
- horizontale Augmentation mit *s. horizontale Kammaugmentation mit Knochenblöcken*
- Indikationen 99, 202
- Knochenmarkperforation bei 208
- partikulierter Knochen vs. 207–208, 208A
- Präparation des Transplantatbetts 204
- Remodeling 211
- Revaskularisierung 210
- Schutz 209–211, 205A, 210A
- Transplantatfixierung 204, 204A
- Knochenbrei 101
- Knochendeckzellen 19–21, 43A
- Knochenentnahme, intraoral
aus dem Ramus mandibulae 76T, 99, 107, 112–117
aus der Symphysis mandibulae 76T, 99, 107–112, 107A–111A, 213A
- Entnahmeregionen 106–117
- Entnahmeverfahren 101–105, 102A–104A
- Handinstrumente 102A, 102–103
- Infektionskontrolle 105
- Knochenblocktransplantate 99, *s. auch Knochenblöcke*
- Knochenschaber 102A, 102–103
- Komplikationen 112
- Meißel 102–103, 102A, 111
- Nachteile 97
- Operationsfolgen 113B, 114T–116T, 117–119
Hämatom 114T–116T, 118
Infektionen 114T–116T, 118
Nervus incisivus mandibulae, Schädigung 119
Nervus mentalis, Parästhesien 119
Schwellung 118
veränderte Hautsensibilität 114T–116T, 119
veränderte Pulpasensibilität 119
veränderte Zahnsensibilität 114T–116T
Wunddehiszenz 114T–116T, 117
- oszillierende Instrumente 104A, 104–105
- rotierende Instrumente 103, 103A
- Schnittführung 108T, 109–110
- Vorteile 97
- Knochenfüllmaterialien *s. auch Transplantate*
- allogene 34
autologe vs. 82–83, 84A
demineralisierter gefriergetrockneter Knochen (DFDBA) 82, 83A
gefriergetrockneter Knochen (FDBA) 72A, 82, 83A
in Knochenbanken 82
Typen 72A
- alloplastische 34
autologe vs. 91A
Gruppen 72A, 90

- Kalziumphosphat 72A
 - Vorteile 89
 - Angiogenese und 73
 - Arten 81T
 - aus Knochenkollektoren 78–82, 81A, 81T
 - aus Knochenschabern 78, 80A
 - autologe 33–34, 75–82
 - allogene vs. 82–83, 84A
 - alloplastische vs. 91A
 - Blöcke 76–78, 77A
 - Entnahmestellen 75, 76T
 - Oberfläche 76
 - Wachstumsfaktoren 75–76
 - xenogene vs. 85A
 - Zusammensetzung 76, 76T
 - bei simultaner GBR-Technik 130–133, 130A–312A
 - Biokompatibilität 71
 - Blöcke 76–78, 77A
 - Entnahmestellen 75, 76T
 - Geometrie 73
 - Herkunft 71
 - Indikationen 81T
 - Klassifikation 72A
 - klinische Handhabung 73
 - Kombinationen 130–133
 - Materialeigenschaften 71–73
 - mit geringer Substitutionsrate 130–133, 131A–132A
 - Nachteile 82
 - Oberfläche 76
 - Oberflächenmerkmale 72A, 73
 - partikulierter Knochen 78, 79A
 - Porosität 73
 - Resorption 77–78, 80–82
 - Wachstumsfaktoren 75–76
 - xenogene 34, 84–89
 - Arten 72A
 - aus Korallen und Algen 84–86, 85A, 86A
 - autologe vs. 85A
 - Definition 84
 - tierische 87–89, 87A, 88A
 - Knochenheilung 15
 - Knochenkollektoren 78–82, 81A, 81T
 - Knochenmarkperforation 208
 - Knochenmatrix 21–22
 - Knochenmineral aus tierischer Quelle 87–89, 87A, 88A, 90A
 - Knochenregeneration
 - Aktivierung 29
 - Anregung 32–43
 - Biologie 28
 - physiologische vs. reparative 29
 - Knochenremodeling 16, 23, 25A, 25–26
 - Knochenschaber 78, 80A, 100, 102, 102A
 - Knochenspäne 100–101, 201A
 - Kontamination 101
 - Knochenstaub 101
 - Knochenstruktureinheiten 25A, 27, 44
 - Knochenumbaueneinheiten 26, 26A, 27
 - Knorpelgerüst, bei der chondralen Ossifikation 16
 - Kollagene in der Knochenmatrix 22
 - Kollagenfibrillen
 - bei der Ablagerung der Knochenmatrix 21, 22A
 - in Geflechtknochen 17
 - in lamellärem Knochen 17, 17A
 - Kollagenmembranen 8, 57–63, 58A–63A, 128–129, 128B, 128A–129A, 200
 - Kollagenquellen 57
 - Kombinationsmembranen 64, 64A
 - Komplikationen, Prävention 243
 - korallines knochenähnliches Material 84–86, 85A, 86A
 - kortikaler Knochen 18, 18A, 25–27, 25A, 211
 - Kortikalistransplantate 98B
 - krestale Deshiszenzdefekte 4A, 143–151, 143A–150A
- ## L
- Lamellenknochen 17, 17A, 21
 - Lappendesign 134–135, 134A, 240A, 241
 - Lappenelevation 163–165, 163A–164A
 - lappenloses Vorgehen 160, 161A–162A
 - Leptin 23
 - Lymphozyten, bei der Knochenresorption 24
- ## M
- Macrophage colony-stimulating factor* 21, 24, 24A
 - Matrixvesikel 21
 - Membranen *s. Barrieremembranen*
 - membrangeschützte Geweberegeneration (GTR)
 - ePTFE bei der 3
 - erste Studien 2–3
 - in der Geschichte der Implantologie 2
 - Knochenfüllmaterialien 3
 - Komplikationen 3
 - membrangeschützte Knochenregeneration (GBR)
 - Ablauf der Knochenheilung 37–43
 - als Standardverfahren 9
 - Behandlungsergebnis 9–10, 10B
 - bei vertikaler Kammaugmentation
 - Ausblick 251–255
 - Beurteilung der Hartgewebe 238
 - Beurteilung der Weichgewebe 238
 - Beurteilung der Mundhöhle 239

membrangeschützte Knochenregeneration (GBR)
 bei vertikaler Kammaugmentation
 Dritter Molar 239
 Entscheidungskriterien 238–239
 frühe Studien am Menschen 237–238
 gegenwärtiges operatives Vorgehen 238–243
 Geschichte 235–238
 Indikationen 238
 Lappendesign 240A, 241
 Operationsverfahren 240–243
 Patientenvorbereitung 241
 Patientenwahl 238–239
 Platzierung der Schrauben 242
 Prävention von Komplikationen 243
 postoperative Betreuung 243
 Tierstudien zur 236
 Transplantatwahl 239–240
 Voraussetzungen 238
 Wundverschluss 243
 Bildung des primären Spongiosagerüsts 39, 39A
 Einführung 2
 ePTFE 3, 4A, 6A
 Hämatom 37, 38A, 39A
 Kammaugmentation und 7A
 Kliniker als Erfolgsfaktor 9, 10A
 Knochenblöcke und 6A
 Knochenfüllmaterialien und 3, 4A, 6A
 Komplikationen 3
 kortikales Remodeling 41, 42A
 Limitationen 3
 Modeling des Knochenregenerats 42A, 43
 Prinzip 35–37
 Risikobewertung 9–10
 Schwächen 8
 simultane *s. simultane membrangeschützte Knochenregeneration*
 Verbesserung, Ziele bei der 8B
 Weichgewebeintegration 42–43, 44A
 Wiedereröffnung 5A
 Wundverschluss 4A, 6A
 Zielsetzungen 9, 9B
 zweizeitiges Vorgehen 3, 6A–7A, 198, 198A
 Membranstützung 50, 65
 Midazolam 134
 Millipore-Filter 2
 Mineralisierung der Knochenmatrix 21, 22A
 Minischwein-Modelle 73, 74A, 75A
 Modeling von Knochen 16
 Mukoperiostlappen, Aufklappung 6A, 203

N

Nähte 137
 Nervus mentalis, Parästhesien 110
 nichtkollagene Proteine 21, 22
 nichtresorbierbare Membranen 51–54

O

oberer Frontzahnbereich, vertikale Augmentation 246A–248A, 247–248
 Oberfläche von autologen Knochentransplantaten 76
 Operationsfolgen bei der intraoralen Knochenentnahme 113B, 114T–116T, 117–119
 Os zygomaticum als Entnahmestelle für Autotransplantate 76T
 Osseointegration
 Alveolarkambbreite und 2
 Knochenvolumen an der Implantationsstelle 2
 Voraussetzungen 1–2
 Ossifikation
 chondrale 16
 desmale 16
 Formen 16
 Osteoblasten 23
 als Knochendeckzellen 20
 als Osteozyten 19–20
 bei der Matrixablagerung 19
 Differenzierung 23
 Funktion 19
 Golgi-Apparat in 19, 19A
 Heterogenität 19
 inaktive 20
 ruhende 21
 Ursprung 23
 Zellkern 19
 Osteocalcin 21
 Osteodystrophie, renale 16
 Osteogenität 33–34, 76
 Osteoid
 Ablagerung 19
 bei der Matrixablagerung 21, 22A
 Osteoklasten
 andere Riesenzellen vs. 21
 Größe 21
 in Howship-Lakunen 20A, 21
 Oberflächenrezeptoren 21
 Osteoprotegerin und 23, 24A
 Schneidkegel 25A, 26
 Ursprung 23
 Wachstumsfaktoren und 22
 Zelllinie 21
 Zytoplasma 20A, 21
 Osteokonduktion 34–35

Osteone
 in kortikalem Knochen 17A, 18
 primäre 17A 18, 25
 sekundäre 17A, 18, 25, 25A, 28
 Osteopetrose 23
 Osteopontin 21, 22A
 Osteoporose 23
 Osteoprotegerin (OPG) 23, 24A
 Osteotome 102, 102A
 Osteozyten
 Beitrag zur Knochenhomöostase 20
 in Geflechtknochen 17, 20
 in Knochenblöcken 211
 in kortikalem Knochen 18
 sind miteinander verbunden 20
 System aus Kanälen und Lakunen 20
 Osterix *s. Core-binding factor α 1*
 Östrogen 23
 oszillierende Instrumente zur Knochenentnahme 104A, 104–105

P

Paget-Krankheit 16, 23
 parallelfaseriger Knochen 16–18, 17A
 Parathormon 23
Parathyroid hormone-related peptid 23
 Parodontose 23
 partikulierter Knochen
 autologer 78, 79A, 100, 100A
 Knochenblöcke *vs.* 207–208, 208A
 Patientenvorbereitung 241
 Penicillin 105
 Perforation des Knochenmarks 208
 piezoelektrische Chirurgie 104A, 104–105, 107, 113, 200A, 212, 213A
 Instrumente 104
 Operationssysteme 105
 Plasmaproteine 22
Platelet-derived growth factors (PDGF) 22, 23, 75, 251–255
 Polyethylenglykol-(PEG-)Hydrogele 65
 Polyglykolide (PGAs) 54
 Polylaktide (PLAs) 54
 polymere Membranen 54–57, 55A–56A
 Porosität
 von Barrieremembranen 52A, 53
 von Knochenfüllmaterial 73
 postoperative Betreuung 243
 postoperative Schmerzen, länger dauernde 118
 Prämedikation 133–134
 Präparation
 der Entnahmestelle 241
 des Transplantatbetts 241

Primärstabilität von Implantaten 124
 Prostaglandin E₂ 23, 24T
 Proteine, nichtkollagene 21, 22
 Proteoglykane 22
 prophylaktische Antibiotikagabe 105, 134, 206–207
 Ptose des Kinns 112, 118
 Pulpasensibilität, veränderte, nach Knochenentnahme aus der Symphyse 119

Q

Quervernetzung von Kollagenmembranen 58–63, 59A

R

Ramus mandibulae als Entnahmestelle für Autotransplantate 76T, 112–117
 Corpus mandibulae 113
 Fallbericht 229
 Inzision 113
 Mandibularkanal 112
 Nervus alveolaris inferior 117
 Nervus lingualis 113
 piezochirurgische Entnahme 113
 RANK 23–24, 24A
 RANKL 23–24, 24A
 Rasur, präoperative 134
 Raumschaffung 49–50, 49A
 Raumsicherung 49–50, 49A
 rekombinante humane *Bone morphogenetic proteins* (rhBMPs) 33
 renale Osteodystrophie 16
 Reparatur von Knochendefekten 29–32, 30A
 Resorption
 autologe Transplantate 77–78, 80–82
 bovine Transplantate 89
restoration-driven implant placement 124
 Revaskularisierung von Knochenfüllmaterialien 73, 98, 210
 Risikobewertung
 bei der GBR 9–10
 bei der Sofortimplantation 159–160
 rotierende Instrumente zur Knochenentnahme 103, 103A
 Ruhelinien 27
 ruhende Osteoblasten 21
Runt-related transcription factor 2 (Runx2) 23

S

Sägen 103
 Schädelkalotte als Knochenentnahmestelle 76T
 Schilddrüsenhormon 23
 schleichende Substitution 78
 Schleimhautrezession 158–159, 158A, 159A
 Schmerzen, länger dauernde postoperative 118
 Schneidkegel 25A, 26
 Schraubenimplantate 127–128
 Schroeder, André 1
 Schulte, Willy 155
 Sialoprotein 21, 75
 Siliziumdioxid 93
 simultane membrangeschützte Knochenregeneration 3
 apikale Fenestrationsdefekte 137–142, 138A–141A
 Barrieremembranen 128–129, 128B, 128A, 129A
 chirurgisches Vorgehen 133–137
 Defektmorphologie 124–126
 distale Freiendsituation 186, 186A–188A
 dreidimensionale Implantatpositionierung 124
 Entscheidungskriterien 123–127
 Heilungsphasen 151
 Implantatwahl 127
 Knochenfüller 130–133, 130A–132A
 krestale Fenestrationsdefekte 143–151, 143A–150A
 Lappendesign 134–135, 134A
 Operationsverfahren 137–151
 Organisation 133–134
 postoperative Behandlung 151
 Prämedikation 133–134
 Primärstabilität des Implantats 124
 Schnittführung 135–136, 136A
 Selektion der Biomaterialien 127–131, 128B, 128A–132A
 Wundverschluss 136–137
 Sinusbodenaugmentation 9
 Skeletogenese 16
 Sofortimplantation 158–165, 160A–164A
 späte Implantatplatzierung 193, 194A
 Spina nasalis als Entnahmestelle für Autotransplantate 76T, 106, 106A
 Spongiosagerüst 39, 39A
 Spongiosatransplantate 98B
 spongiöser Knochen 18, 26A, 27, 76, 211
 Statine 23
 Stützschrauben 242
 Symphysis mandibulae als Knochenentnahmestelle 76T, 99, 107–112, 107–111A, 213A
 extraoraler Druckverband 112

Fallberichte 212, 216, 219, 224
 Komplikationen 112
 Kortikoidgabe 112
 Schnittführung 108T, 109–110

T

tartraresistente saure Phosphatase 21
 Testosteron 33
tissue engineering 252–255
 Titanoberflächen 127–128
 titanverstärkte ePTFE-Membranen 51, 53
 trabekulärer Knochen 18, 20, 27
Transforming growth factor α 23
Transforming growth factor β 22, 24A, 75
 Transplantatbett
 Präparation 241
 Rolle bei der Transplantatintegration 211
 Transplantate *s. auch Knochenfüllmaterialien*
 allogener Knochen 35
 alloplastisches Material 35
 autologer Knochen 35
 bei der GBR 3, 4A, 6A
 Integration 211
 Rolle des Transplantatbetts 211
 Knochenblöcke 76–78, 77A
 antimikrobielle Prophylaxe 206–207
 Aspekte 203–211
 bei der GBR 6A
 chirurgische Technik 203–206, 203A–205A
 Eingliederung 211
 Ergebnisse der Implantation in 212
 Fallberichte 212–231
 Fixierung 99
 Indikationen 99, 202
 Knochenmarkperforation bei 208
 partikulierter Knochen vs. 207–208, 208A
 Präparation des Transplantatbetts 204
 Remodeling 211
 Revaskularisierung 210
 Schutz 209–211, 210A
 Transplantatfixierung 204, 204A
 Knochenbrei 101
 Knochenpäne 100–101, 201A
 Knochenstaub 101
 Kortikalistransplantate 98B
 Materialien 34
 Osteogenese 34, 101
 Osteoinduktion 101
 Osteokonduktivität 34, 101
 partikulierte 78, 79A, 100, 100A
 Präparation des Transplantatbetts 241
 Spongiosatransplantate 98B
 Transplantatformen 98–101
 Veneer-Transplantate 99
 Wahl 239–240

xenogene Materialien 34, 84–89
zur Unterstützung von Barrieremembranen
50
transversale Gefäßkanäle 26
Trepanbohrer 74A, 103, 103A
Trikalziumphosphat (TCP) 84A–85A, 90, 91A–
92A, 208A
Tuber maxillae als Knochenentnahmestelle
106
Tübinger Sofortimplantat 155–156
Tumor necrosis factor α 23, 24, 24A

U

Umschaltlinien 27
unterer Seitenzahnbereich, vertikale Augmen-
tation 244A–245A, 245

V

vaskuläre Kanäle 18, 18A
Veneer-Transplantate 99
vertikale Kammaugmentation, Fallberichte
s. *Alveolarkamm*
Vitronectin 21
Volkman-Kanäle 26
Voraussetzungen für die Osseointegration
1–2

W

Wachstumsfaktoren 22
Weichgewebeintegration 42–43, 44A
Wolff, Gesetz von 27
Wunddehiszenz 114T–116T, 117
Wundverschluss 137–138, 243

X

xenogene Transplantatmaterialien 34, 84–89
Arten 72A
aus Algen 84–86, 85A, 86A
aus Korallen 84–86, 85A, 86A
autologe vs. 85A
Definition 84
tierische 87–89, 87A, 88A, 90A

Z

Zahnsensibilität, veränderte, nach intraoraler
Knochenentnahme 114T–116T
Zellausschluss 48–49, 48A
Zementlinie 25A, 27–28, 28A
zirkumferente Lamellen 18A
zweiwandige Defekte 124, 125A, 126A, 202,
202A