Knochenaugmentation komplexer Defekte

Eine aktualisierende und ergänzende Übersicht

Ausreichender Alveolarknochen für das knöcherne Implantatlager und die knöcherne Unterstützung der gingivalen Weichgewebe ist Voraussetzung für eine erfolgreiche dentale Implantation und ein ideales ästhetisches Ergebnis. Komplexe Augmentationen stellen dabei eine Herausforderungen dar und sind auch ein intensives Forschungsfeld. In folgendem Beitrag diskutieren wir die augmentationsrelevanten Grundlagen der Implantologie und stellen Techniken der komplexen Knochenaugmentation dar.

Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Florian G. Draenert, Dominic Hützen

■ Beim morphologischen Aufbau des Knochens unterscheidet man Spongiosa mit bälkchenförmigen Trabekeln und einem Binnenlumen von Kortikalis mit lamellärem Knochen ohne Hohlräume. In beiden Knochenformen ist mineralisierte Matrix schalenförmig in Speziallamellen um den Havers-Kanal, mit Osteozyt und Gefäßversorgung, gelagert (Osteone; Abb. 1). Die Osteozyten stehen über ihre Ausläufer und deren Gap Junctions in den Canaliculi ossei miteinander in Verbindung. Schaltlamellen verbinden die Osteone und Generallamellen grenzen Knochenkompartimente ab. Das Periost begrenzt den Knochen zum äußeren Bindegewebe und besteht aus eine Stratum fibrosum (äußere Fläche) und einem Stratum osteogenicum (innere Fläche). Neben Nervengewebe und Gefäßversorgung enthält das Stratum osteogenicum auch Osteoblastenvorläuferzellen, die eine entsprechende Knochenbildung im Rahmen einer Frakturheilung erlauben und entsprechend chemotaktisch migrieren können.

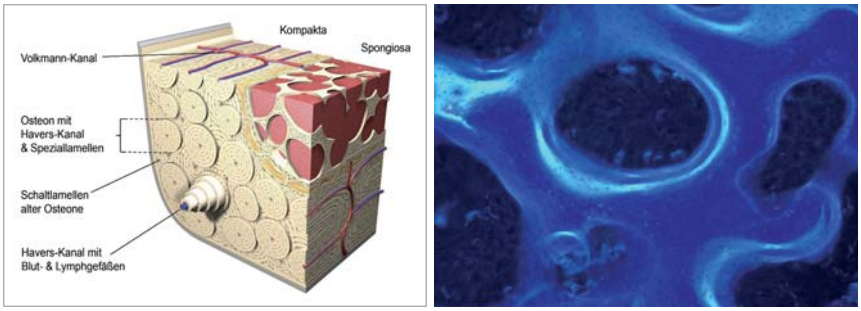


Abb. 1: links – Aufbau des Knochengewebes mit Kompakta und Spongiosa; rechts – Sequenzmarkierung Tetrazyklin im Kaninchen zu zwei Zeitpunkten lässt die schalenförmige Knochenbildung erkennen.

Die Histomorphologie unterscheidet zwischen lamellärem und nichtlamellärem Knochen (plexiformer Knochen).[1] Letzterer findet sich beim Menschen vor allem bei pathologischen Vorgängen oder im Rahmen von komplexen Bruchheilungen sowie embryonal. Bei einigen Tieren ist nichtlamellärer Knochen das orthologische Knochengewebe, da er einer schnelleren Heilung unterliegt und zu einem Evolutionsvorteil geführt hat. Die meisten Knochenstrukturen im adulten menschlichen Körper sind lamellär, mit lamellen- oder schalenförmigartig angeordneten Mineralisationsbereichen. Bei der Knochenontogenese entstehen aus embryonalem plexiformen Knochen mit primären Osteonen in Umbauprozessen die Folgestrukturen der sekundären Osteone (Havers-System), welche die Grundmorphologie des erwachsenen, menschlichen Knochens darstellen. Wie im Fall des plexiformen Knochens gibt es zahlreiche Tiere, welche eine Struktur primärer Osteone aufweisen, beispielsweise Ratten und Mäuse. Evolutionärer Vorteil dieser dreidimensional orthogonalen Osteonstruktur ist dort schnelleres Wachstum.

Knochengewebe besteht aus Matrix und Zellen. Die Knochenmatrix (Ossein) besteht zum großen Teil aus einem anorganischen Mineralanteil, überwiegend Hydroxylapatit, und einem organischen Anteil, welcher zum großen Teil aus Kollagen Typ I besteht.[2] Darüber hinaus enthält die Matrix weitere Proteoglykane, insbesondere das Aggrecan-Kernprotein und radiär angeordnete Glykosaminoglykane sowie multiadhäsive Proteine.[3] Chondroitinsulfat-Proteoglykane sind beispielsweise in der Lage, mit Collagenfibrillen eine Verbindung einzugehen und Aggrecan wiederum kann über Oberflächenproteine wie die FGF-Rezeptorfamilie oder Integrine direkt mit Zellen in Verbindung stehen oder auch an Hyaluronsäurekerne angebunden sein.[4] Dies macht deutlich, dass die Matrix in direkter, kovalenter Verbindung mit den Osteozyten

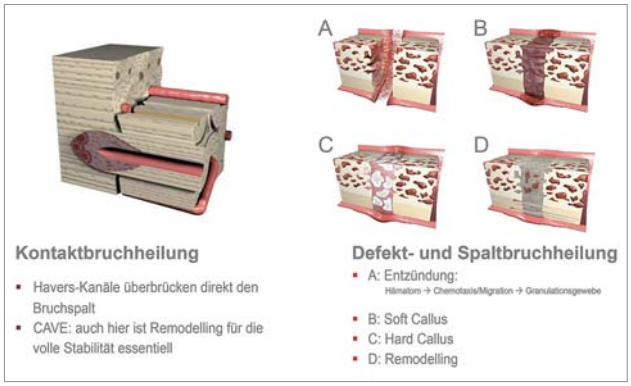


Abb. 2: Synopsis der Knochenheilungstypen; links – Kontaktbruchheilung; rechts – Spalt- und Defektbruchheilung mit den bekannten Phasen.

Heraeus

Heraeus Kulzer. Mundgesundheit in besten Händen.

Mit viel handwerklichem Geschick bereichern Sie das Leben vieler Patienten. Durch funktionale und ästhetisch hochwertige Restaurationen sorgen Sie sowohl für ein strahlendes Lächeln als auch für ein positives Selbstwertgefühl. Das gesamte Team in Praxis und Labor benötigt hierfür Materialien, die höchsten Qualitätsansprüchen genügen. Unser Bestreben ist es, Ihnen dafür innovative und bewährte Produkte sowie Dienstleistungen anzubieten, die Sie bei Ihrer täglichen Arbeit unterstützen. Denn Mundgesundheit gehört in beste Hände.

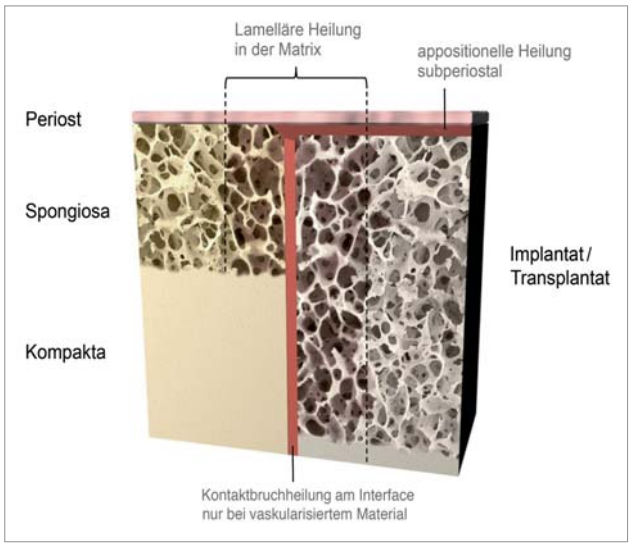


Abb. 3: Synopsis-Einheilung eines Augmentates subperiostal.

steht. Diese Zusammenhänge und neue Strukturen sind immer noch offene Forschungsfelder. So konnte gezeigt werden, dass Frakturrisse im Knochen und deren Verlauf wesentlich von sehr feinen, noch unbekannten Fibrillen beeinflusst werden.[5]

Die Knochenheilung

Die Einheilung von Knochenaugmentaten und Biomaterialien am Interface erfolgt analog zur Spaltbruchheilung bei Knochenfrakturen.[1,6–13] Daher unterliegt die Osseointegration von Biomaterialien und Einheilung von Transplantaten hierbei denselben Heilungsphasen der Spaltbruchheilung[14–16]: aseptische Entzündung zur Chemotaxis pluripotenter Zellen, lockeres Ersatzgewebe (hier Soft Callus), spezifische Gewebsdifferenzierung (hier Mineralisierung zum Hard Callus), Remodeling zur funktionellen Restitution des Knochens (Abb. 2).[17] Diese Prozesskaskade schließt die Heilung aller nichtmikrovaskulären Augmentate einschließlich alloplastischer, allogener, xenogener und autologer Materialien, sowohl partikulär (z.B. GBR) als auch Blockaugmentate, ein. Da eine Kontaktbruchheilung im klassischen Sinn der Frakturlehre zwei vitale Knochenenden voraussetzt, ist dieses Prinzip bei den genannten Aufbautechniken nicht anwendbar und lediglich bei mikrovaskulär reanastomosierten Transplantaten gegeben (Abb. 2). Beim Einheilen eines Augmentates gibt es neben dem lamellären Hauptknochenheilungsprozess auch die subperiostale Heilung zu berücksichtigen (Abb. 3). Bei der Knochenheilung kommen Progenitorzellen der Osteoblasten, im Sinne pluripotenter, teilungsfähiger Stammzellen, sowohl ortsständig als „human trabecular bone derived cells" (HTBs) als auch im Blut zirkulierend als CD34-positive embryogenic progenitor cells (EPCs), vor.[18–21] Während von den ortsständigen adulten Stammzellen wenig bekannt ist, weiß man, dass der Differenzierungsweg von der EPC zum Osteoblasten über zahlreiche molekularbiologisch und immunologisch charakterisierbare Zwischenstufen abläuft und mit einer Zunahme osteoblastentypischer Charakteristika und einem Verlust der pluripotenten Marker und Eigenschaften einhergeht. Beispielsweise nimmt der CD34-Anteil von der EPC über die Zwischenstufe der „Circulating osteoblast lineage cell" bis hin zur „Blood mesenchymal precursor cell" (BMPC), welche dem Osteoblasten unmittelbar nahe steht, ab, während beispielsweise der CXCR4-Rezeptor des Stromal Cell-derived Factor-1 (SDF-1) zunimmt.[18] Auch die Zellen der Gefäße im Knochen rekrutieren sich aus den mesenchymalen Progenitorzellen der EPCs im Rahmen von Heilungsvorgängen.[22,23] Osteoklasten hingegen gehören zum Mononukleären Phagozytären System (MPS) und rekrutieren sich aus hämatogenen oder pluripotenten EPCs des peripheren Blutes.[24] Sie stellen, analog den mehrkernigen Riesenzellen der Typ IV Reaktion, spezialisierte, knochendegradierende Syncitien dar. Im Vicerokranium ist zu berücksichtigen, dass es sich um mesektodermales Gewebe (eingewanderte Zellen des Neuralrohrs) der Kiemenbögen handelt.[25–28] Da viele der beschriebenen Daten an mesenchymalen Knochen erhoben worden sind, muss eine mögliche Abweichung im mesektodermalen Knochen bedacht werden.

Die Zellinduktion im Knochen: Osteoinduktion und Neoangiogenese

Die Heilungsgeschwindigkeit im Interface wird neben der Stabilität des Transplantates von osteogenen oder osteoinduktiven (genauer osteoinduktiven und vasoinduktiven) Eigenschaften des Implantates oder Transplantates sowie des Empfängerlagers beeinflusst. Bei osteogenen Eigenschaften, wie beispielsweise beim frischen autologen Knochentransplantat, findet die Heilung vom Implantat und vom Lager aus statt, da auf beiden Seiten Osteoblasten ohne vorausgehende Migration von Progenitorzellen aktiv werden. Im Sinne der Osteoinduktivität und Neoangiogenese beschleunigen natürlich freigesetzte Mediatoren, meist zur TGF-β Gruppe gehörende BMPs (bone morphogenic proteins) wie beispielsweise BMP-2 oder BMP-7, aber auch basisches FGF und VEGF neben anderen freigesetzten Gewebsfaktoren, die Migration von Zellen in das Knochenheilungsgebiet und deren Ausdifferenzierung zu Osteoblasten und Gefäßzellen sowie die folgenden Heilungsphasen mit Bindegewebsbildung und Mineralisation.[16,29–38] Faktoren haben zum Teil auch bereits Anwendung in der Klinik gefunden.[39–47] Neben Wachstumsfaktoren haben direkte mechanische Effekte einen Einfluss auf die Osteoinduktion. Zum einen ist dies die Interaktion zwischen Bindegewebsmatrix und Zellen, zum anderen direkten Einfluss von physikalischen Einflüssen wie beispielsweise Ultraschall.[48–51]
Neben allgemeinen Signaltransduktionswegen über beispielsweise Ras und MAP-Kinasen haben die Smad-abhängigen Signaltransduktionswege und die Integrine im Knochengewebe besondere Bedeutung.[52–55] Die Smad-abhängige Signaltransduktion arbeitet mit spezifischen Second Messengern, welche für bestimmte Mitglieder der Familie beispielsweise bei BMPs zu osteoblastenspezifischen Genexpressionen, wie RunX2, führen. Bei den BMPs sind hier Smad 1, 5 und 8 als Komplex

GLOBAL 1 NUMBER

RTS-RIEGERTEAM.DE
B-650-V0

XIOS XG Select und Supreme

SOFORT ZUR KLAREN **DIAGNOSE.**

So funktioniert Intraoralröntgen heute: Dank der HD-Bildqualität der XIOS XG Supreme Sensoren kommen Sie sofort zu einer klaren Diagnose. Der einfache Kabelwechsel sorgt für hohe Wirtschaftlichkeit. Und mit der WiFi-Option bei XIOS XG Select arbeiten Sie besonders einfach und sicher – ohne die Gefahr, ein Kabel zu beschädigen. **Es wird ein guter Tag. Mit Sirona.**

HD-BILDQUALITÄT
mit 33,3 Lp/mm* Auflösung bei XIOS XG Supreme

EINFACHER KABELWECHSEL
sorgt für hohe Wirtschaftlichkeit

WIFI-OPTION
für einen herausragenden Workflow bei XIOS XG Select

*Theoretische Auflösung.

SIRONA.COM

The Dental Company

sirona

spezifisch und bilden mit Smad 4 und anderen Molekülen einen DNA-Bindungskomplex, der spezifische Genexpressionen über Bindung in Enhancer/Promoter-Bereichen von Zielgenen steuert.[53–55] Integrine und deren Signaltransduktion stellen eine direkte Verbindung zwischen mechanischen Einwirkungen auf das Gewebe und genetischer Signalumwandlung her.[49–51]

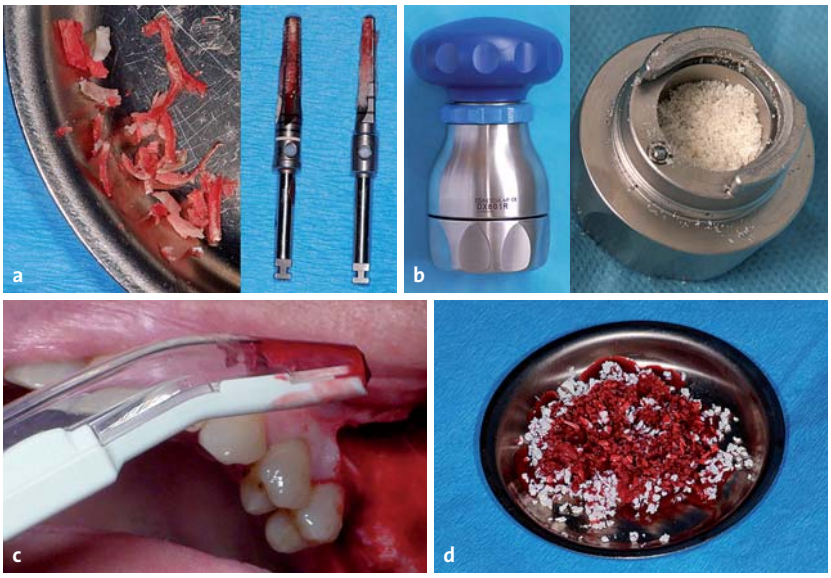


Abb. 4: Übliche Augmentationsmaterialien: **a)** Bohrspäne aus dem Implantatlager (z.B. CAMLOG); **b)** Knochenmühle zum Zerkleinern von Blockmaterial; **c)** Bone Scraper; **d)** Kommerzielles Biomaterial (z.B. Bio-Oss).

Knöcherne und alloplastische Augmentationsmaterialien

Die Systematik der verschiedenen Augmentationsmaterialien gliedert sich in alloplastische Biomaterialien und Transplantate sowie deren Derivate.[56–66] Weitverbreitete Vertreter der alloplastischen Materialien in der dentalen Implantologie sind: β-Trikalziumphosphat[65], Biogläser[64] und Hydroxylapatit[66]. Bei Knochenmaterial unterscheidet man beispielsweise im Speziellen immunologisch:

– autolog (frisch gelagert oder frisch) – vom eigenen Körper
– allogen (frisch gelagert, aufbereitet – z.B. DBM „demineralized bone matrix")
– xenogen (vgl. allogen) – von einer fremden Spezies (z.B. Rind)

Poren- und Partikelgrößen, Makrofestigkeit von Granulaten, Resorbierbarkeit und viele weitere Aspekte können berücksichtigt werden und haben eine oft entscheidende Relevanz.[67] Zum Teil konnte hier wissenschaftlich präklinisch und klinisch ein Vorteil gezeigt werden, zum Teil sind praktische Vorteile aus der Anwendung, wie eine gute Modellierbarkeit oder Formstabilität, bekannt. Ebenso werden oft Materialkombination, Oberflächenstuktur und Bezug zu umliegenden Gewebe diskutiert.
Eine andere weitverbreitete Klassifizierung beschreibt das Potenzial des Materials, die Knochenheilung zu beeinflussen:[6]

– osteokonduktiv (die knöchernen Gewebeintegration fördernd)
– osteoinduktiv (die Knochenbildung biologisch aktiv initiierend, z.B. Wachstumsfaktoren)
– osteogen (knochenbildende Zellen enthaltend)

Am weitesten verbreitet sind im Bereich der partikulären Materialien Bohrspäne aus dem Lager, gemahlene Blockaugmentate, Scraper-Knochen und Mischaugmentate mit kommerziellen Produkten, insbesondere Keramiken (Abb. 4). Wachstumsfaktoren und Tissue Engineering stellen eine interessante Option in der rekonstruktiven Chirurgie dar.[18,22,33,35,38–41,68–74] Jedoch bleiben die konzeptionellen Probleme ungelöst. Zum einen entstehen durch diesen aufwendigen Ansatz hohe Kosten, die allenfalls im Falle der freien Lappentransplantate gerechtfertigt erscheinen.[22,41,69] Zum anderen besteht, insbesondere bei der Verwendung von Wachstumsfaktoren in Kombination mit Stammzellen, das Risiko einer malignen Entartung.[18,22,38,39,75,76] In Bezug auf den implantologischen Knochenaufbau in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie erscheint daher das autologe Knochentransplantat immer noch als Goldstandard.

Donorstellen für Knochentransplantate

Die Wahl der Donorstelle für ein Knochentransplantat ist nach der Klassifizierung des Defektes und der Planung der Operationstechnik der wesentliche Schritt vor der Operation. Es bieten sich allgemein verschiedene Knochenentnahmestellen an:[67]

– mandibulär (Kinn, Kieferwinkel, Linea obliqua, Korpusbereich)[77]
– maxillär (retrotubär, Spina nasalis, Crista zygomaticoalveolaris)
– Calvaria (Tabula externa)
– Beckenkamm
– Tibiavorderkante

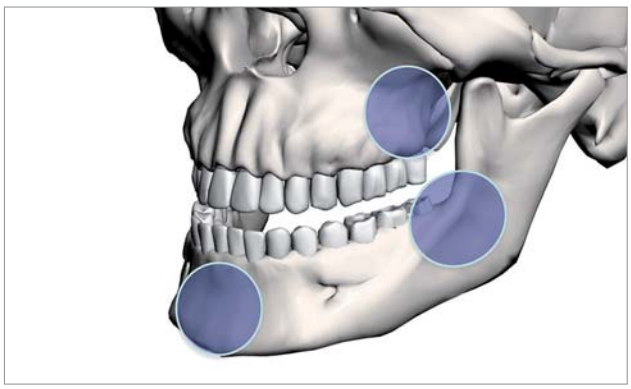


Abb. 5: Knochenentnahmestellen lokal im Bereich der Kiefer: mental; Crista zygomaticoalveolaris und Tuber maxillae; Linea obliqua der Mandibula und Kieferwinkel.

Bei den autologen Knochendonorstellen sind lokale, oral zugängliche von besonderem Interesse, hier insbesondere die Mandibula und die Maxilla (Abb. 5). Patienten geben bei intraoralen Donorstellen geringere Beschwerden postoperativ an.[78] Ebenfalls in Betracht kommt der Beckenkamm als weitverbreitete Knochentransplantatentnahmestelle für den Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen. Bei den Unterschieden in der Qualität und dem Heilungsverhalten der Knochentransplantate ist insbesondere deren unterschiedliche ontogenetische Herkunft zu berücksichtigen. Während der ortsständige Knochen des Viscerokraniums mesektodermales Gewebe (eingewanderte Zellen des Neuralrohrs) der Kiemenbögen darstellt, handelt es sich bei Knochen des übrigen Skelettes, wie beispielsweise Beckenkamm und Tibiavorderkante, um mesenchymales Gewebe.[25–28]

Die Mandibula stellt in der dentalen Implantologie die häufigste Knochendonorregion dar, wobei mehrere Entnahmestellen an der Mandibula in Betracht kommen[62,67,78,79]: Kinn[78,79], Ramus (Linea obliqua), Kieferwinkel, Korpus mandibulae, Linguale Exostose. Generell wird ein kortikospongiöser Span gewonnen. Das Material kann für amorphe Augmentationstechniken, z.B. mit GBR, verwendet werden, wenn es mit Geräten wie der Knochenmühle oder dem Bone-Scraper entsprechend zerkleinert wird.[80] Interessant ist jedoch insbesondere das Blocktransplantat wegen der geringeren Resorptionsgefahr.[77]

Die Entnahmestelle am Kinn ist interessant, wenn das Empfängerlager in derselben Region liegt. Ansonsten wird diese Entnahmestelle weniger favorisiert, da Schwellung und Schmerzen stärker ausgeprägt sind als bei den übrigen Donorstellen und eine mögliche Anästhesie der Frontzähne als besondere Komplikation hinzukommen kann.[78]

Der Ramus im Bereich der Linea obliqua bietet eine gut zugängliche Entnahmestelle mit geringen Komplikationen für den Patienten.[67] Jedoch ist die Größe des Blockresektates hier durch Darstellbarkeit und in Abhängigkeit vom Verlauf des *Nervus alveolaris inferior* limitiert.

Der Kieferwinkel stellt eine Erweiterung des Donorgebietes im Ramusbereich dar. Der Zugang muss wegen der tieferen Lokalisation etwas größer gewählt werden. Die linguale Exostose stellt eine eher selten genutzte Entnahmestelle dar, da hier insbesondere eine Verletzungsgefahr des *Nervus lingualis* gegeben ist.

Die Maxilla stellt im Gegensatz zur Mandibula nur eine limitierte Donorregion für Knochentransplantate dar. Hier ist insbesondere das retrotubäre Knochenangebot im Bereich 18 und 28, aber auch die *Spina nasalis* und *Crista zygomaticoalveolaris* zu nennen. Obgleich hier nur wenig Material gewonnen werden kann, so ist dies durchaus interessant, wenn beispielsweise für einen ipsilateralen kleineren Sinusbodenelvationseingriff Knochen benötigt wird.

Der Beckenkamm gilt wegen seiner guten Zugänglichkeit und seiner geringen Komplikationsraten in Kombination mit einem sehr großen mesenchymalen Knochenangebot als häufigste Donorstelle für den Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen bei großen Knochenaufbauten.[81–83] Es wird zwischen einem anterioren, sehr weitverbreiteten und einem posterioren Zugang unterschieden.[81,82,84] Hierbei offeriert der posteriore Zugang nach Nkenke und Kessler zahlreiche Vorteile, wie ein bis zu dreimal größeres Angebot an Spongiosa und eine geringere Komplikationsrate.[81,82,85] Unter den möglichen Komplikationen müssen insbesondere Schmerzen, Nachblutungen, Verletzungen von Nerven (besonders *N. cutaneus femoris lateralis*) und Beckenfrakturen (insbesondere *Spina iliaca anterior superio* Abriss) genannt werden.[81]

Komplexe Augmentationstechniken – allgemein

Bei den bekannten Techniken der Knochenaugmentation im Zusammenhang mit Implantaten schlagen Neukam und Schulze-Mosgau folgende Unterteilung vor:[86]

– ortsständige Techniken: Distraktionsosteogenese, gesteuerte Knochenregeneration (Membrantechnik, GBR – Guided Bone Regeneration), Umstel-

ANZEIGE

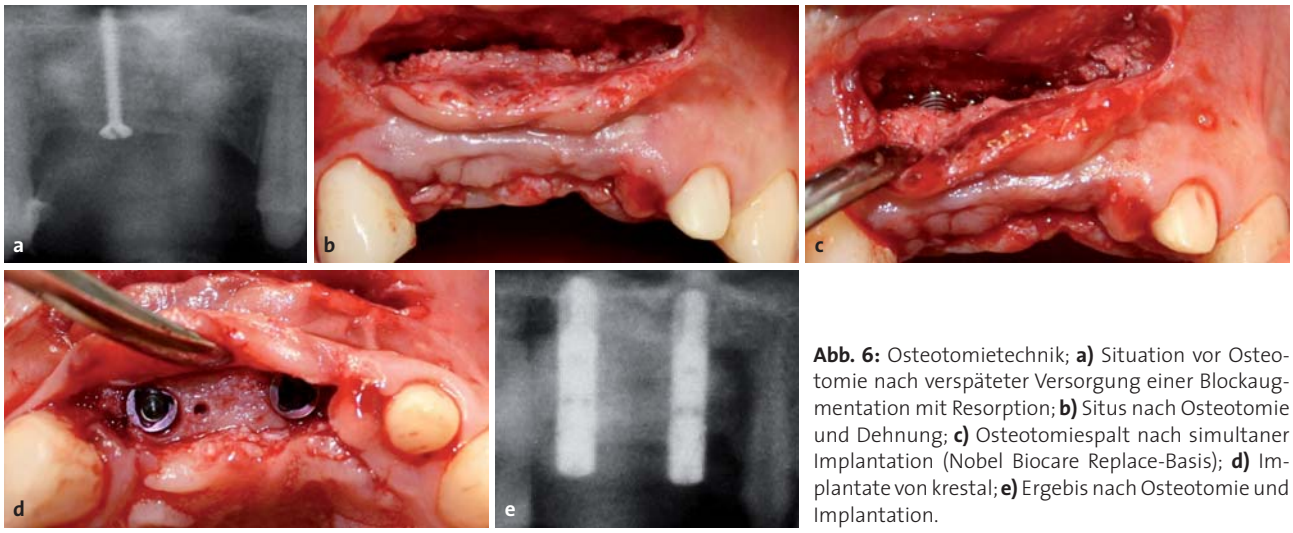


Abb. 6: Osteotomietechnik; **a)** Situation vor Osteotomie nach verspäteter Versorgung einer Blockaugmentation mit Resorption; **b)** Situs nach Osteotomie und Dehnung; **c)** Osteotomiespalt nach simultaner Implantation (Nobel Biocare Replace-Basis); **d)** Implantate von krestal; **e)** Ergebis nach Osteotomie und Implantation.

lungsosteotomien, Ersatztechniken zur Knochenvermehrung (Nervlateralisation, Zygomaimplantate)
– Transplantationstechniken für autogene Knochentransplantate: avaskuläre Knochentransplantate, extraorale avaskuläre Transplantate, vaskuläre autogene Knochentransplantate
– Auf- und Anlagerungosteoplastiken
– Kieferhöhlenbodenaugmentation: direkte Sinusbodenelevation, indirekte Sinusbodenelevation (Osteotomtechnik nach Summers), Nasenbodenaugmentation

Wir greifen diesen Ansatz auf und schlagen folgende Vereinfachung für komplexe vertikale Augmentationen vor:
– Osteotomietechniken: Distraktionsosteogenese, Sandwichtechniken und Bone-Split
– partikuläre Techniken: Stabile GBR
– Blocktechniken: Blöcke und Schalentechniken

Osteotomietechniken

Der Vorteil von Osteotomietechniken liegt im Wesentlichen im Belassen des kritischen krestalen Gewebeapparates mit knöchernem Kamm, Attached Gingiva und ggf. auch Papillensaum. Im Wesentlichen sind in diesem Bereich zwei Techniken zu nennen: Distraktionsosteogenese und Sandwichtechniken. Der Bone-Split stellt eine der Vollständigkeit halber als komplexe Technik zu nennende Sonderform mit hohem Praxiswert dar.
Die Distraktionsosteogenese ist eine interessante Technik für die Lösung großer Distanzprobleme in der Dysgnathiechirurgie und bei Fehlbildungen.[87] In der Implantologie wurden zahlreiche Ansätze verfolgt, um diese Technik ebenfalls zu nutzen.[88,89] Hauptprobleme dabei sind zwei Aspekte: Ist eine knöcherne Situation gegeben, welche die Anbringung eines Distraktor erlaubt, so ist in der Regel auch genug Knochen gegeben, um ohne Augmentation zu implantieren. Hierbei muss man besondere Situationen, welche eine Angleichung von Knochenstrukturen und Niveaus zum Ziel haben, berücksichtigen und hier ggf. doch eine gewisse Indikation sehen. Der zweite Aspekt dieser Technik ist der Mehrkostenaufwand für den Distraktor und die nicht vernachlässigbare Gefahr von Frakturen im Osteotomiebereich.
Sandwichtechniken sind Modifikationen des Distraktionsansatzes, welche statt des dynamischen Distraktors statische Osteosyntheseplatten oder das Implantat selbst verwenden.[90,91] Hierbei wird der angestrebte Aufbau als Spalt zwischen den Knochenenden präpariert und mit Augmentationsmaterial partikulär oder als Block gefüllt. Eine simultane Implantation als einzeitiges Vorgehen ist möglich (Abb. 6).
Der Bone-Split ist eine klassische Technik zur Verbreiterung des Alveolarkammes, bevorzugt im weniger frakturgefährdeten Oberkiefer. Insbesondere bei unbezahnten Patienten ist dies eine sehr geeignete Technik (Abb. 7). Die Deperiostierung sollte limitiert bleiben, da bei Fraktur ansonsten eine Blutversorgungsproblematik mit Sequestrierung entstehen kann.

Partikuläre Techniken

Bei diesen Techniken steht die Membrantechnik (GBR – Guided Bone Regeneration) kombiniert mit amorphem, partikulären Augmentationsmaterial im Fokus. Die GBR, auch GTR (Guided Tissue Regeneration) genannt, ist eine allgemeine Methode zur Separation des knöchernen

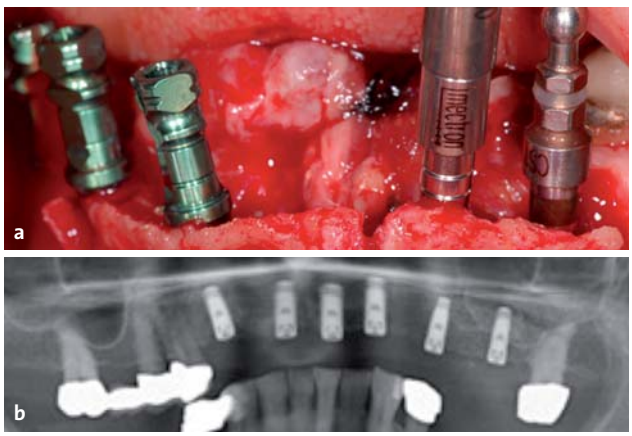


Abb. 7: Bone-Split; **a)** Splitting und Implantation simultan; **b)** Ergebnis nach Bone Split und Implantation (Zimmer Dental Implants).

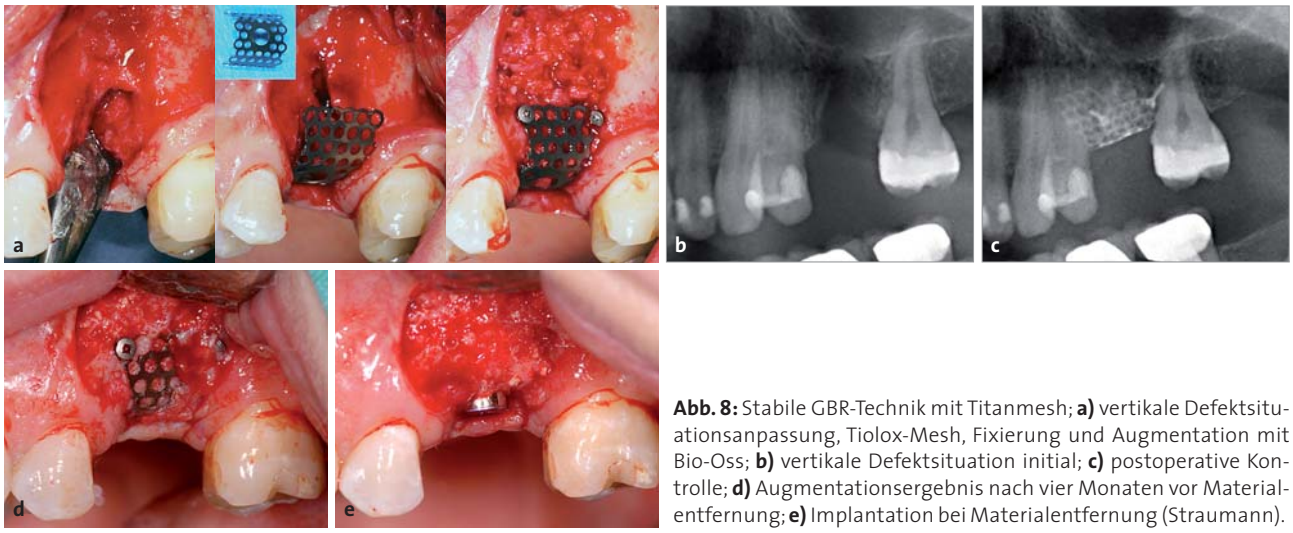


Abb. 8: Stabile GBR-Technik mit Titanmesh; **a)** vertikale Defektsituationsanpassung, Tiolox-Mesh, Fixierung und Augmentation mit Bio-Oss; **b)** vertikale Defektsituation initial; **c)** postoperative Kontrolle; **d)** Augmentationsergebnis nach vier Monaten vor Materialentfernung; **e)** Implantation bei Materialentfernung (Straumann).

Augmentationsgebietes vom umliegenden weichen Bindegewebe.[92–94] Die Membran erfüllt hierbei im Wesentlichen drei Funktionen: Stabilisierung des amorphen Augmentates, Barriere zum weichen Bindegewebe und Limitierung des Resorptionsverlustes.[94] Meist werden heute Membranen aus resorbierbarem Material, wie xenogenem Collagen, verwendet, um eine Materialentfernung bei einem zweiten Eingriff zu vermeiden.[95,96]

Bei komplexen Defekten ist eine stabilisierte Membran erforderlich, wobei zum einen Titanmembranen, zum anderen metallverstärkte, alloplastische Membranen zur Verfügung stehen. Die stabile Membran wird dem gewünschten Augmentationsergebnis angepasst und mit partikulärem Augmentat unterfüllt (Abb. 8). Die Anwendung von Titanmaterial und anderen nicht resorbierbaren Materialien macht einen erweiterten Zweiteingriff erfordert. Das Augmentat kann dabei reines Knochenmaterial in amorpher Form, alloplastisches Material oder eine Mischung aus beidem sein.[97] Bei dieser Technik beobachtet man immer wieder vermehrten Einwuchs von unmineralisiertem Bindegewebe im membrannahen Bereich bei Titanmaterial (fibroossäre Heilung). Entsprechend ist der zusätzliche Gebrauch von Kollagenmembranen zu diskutieren. Im Heilungsverlauf wird bei Titanmaterial zum Teil eine Mazeration der Gingiva mit freiliegendem Material beobachtet, was durch Prothesenkarenz und Anpassung des Kauverhaltens zu steuern ist. Bei Goretex-Membranen beobachtet man in einigen Fällen Wunddehiszenzen. Bei teilbezahnten Kiefern ist in jedem Fall ein ausreichender Abstand von den Nachbarzähnen zu sichern, um Infektionen vom PA-Apparat der flankierenden Zähne zu vermeiden. Die GBR-Technik kann mit anderen Techniken kombiniert werden. Insbesondere wird sie auch bei Block-Augmentationen verwendet, wenn Spongiosa und amorphes, partikuläres Material zusätzlich verwendet werden. Nachteil dieser Methode ist die hohe Resorptionsrate amorpher Transplantate auch bei GBR-Technik[80],

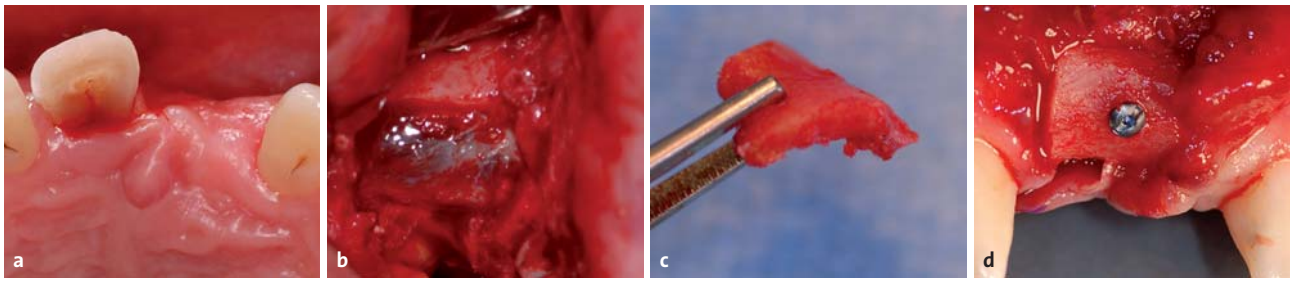


Abb. 9: Gellrich-Span; **a)** Komplexer Defekt Frontzahnbereich; **b)** Entnahme des Spanes unter Erhalt der Kieferhöhlenmembran; **c)** Span aus dem Bereich der Crista zygomaticoalveolaris; **d)** Fixiertes Augmentat vor Glättung und partikulärer Auspolsterung.

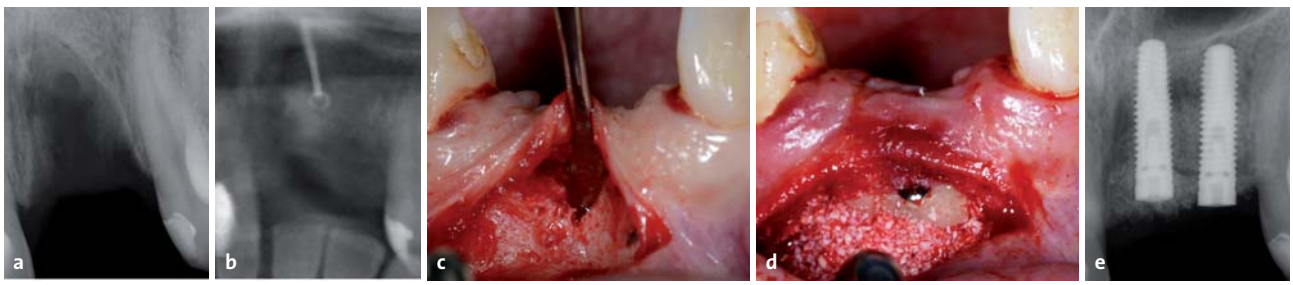


Abb. 10: Gellrich-Span; **a)** Komplexer Defekt Frontzahnbereich; **b)** Ergebnis postoperativ; **c)** Situs vor Augmentation; **d)** Span aus dem Bereich der *Crista zygomaticoalveolaris* fixiert, geglättet und partikulär gepolstert mit Bio-Oss; **e)** nach Implantation (BEGO Semados).

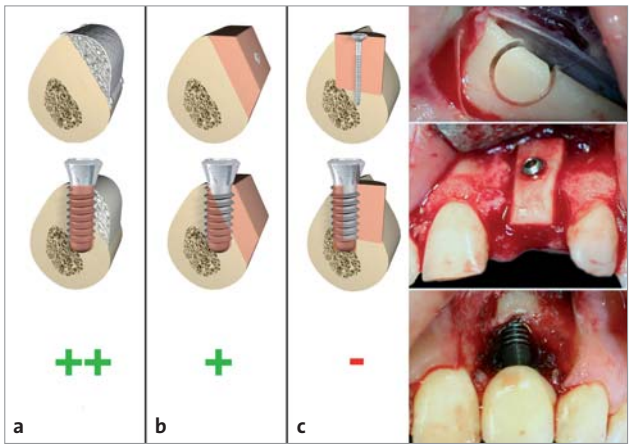


Abb. 11: Knöcherne Durchbauung des Augmentates bei verschiedenen Techniken nach vier bis sechs Monaten (ASTRA TECH Implant System); **a)** GBR-Technik erreicht bei Regelheilung vollständige knöcherne Durchbauung, analog gilt dies auch für den Gellrich-Span; **b)** Klassischer Knochenblock erreicht keine vollständige Durchbauung, aber gute Osseointegration am Lager und Interfacelokation außerhalb der Implantatachse; **c)** Zylinder in glatt gefräste Lager führen zu maximal ungünstiger Lokation des Interfaces in der Implantatachse und hohem kortikalen Anteil bei ungünstiger, glatter Lagerkonfiguration mit suboptimaler Osseointegration nach vier bis sechs Monaten. Rechts: klinisches Beispiel mit Verlust des Augmentates zehn Monate nach Augmentation.

abgesehen von nicht resorbierbarem Hydroxylapatit, welches andererseits daher auch unverändert verbleibt. Hierbei spielt auch die Partikelgröße eine Rolle, wobei grobere Augmentatpartikel ein besseres Einwachs- und Regenerationsverhalten zeigten.[98]

Blocktechniken

Der klassische Knochenblock verwendet ein autologes Transplantat, um es an der Augmentationsstelle mittels Osteosyntheseschrauben oder auch dem Implantat selbst zu fixieren. Grundsätzlich unterscheidet man hier zwischen lokalem Knochenmaterial aus den Donorbereichen des Gesichtsschädels und Ferntransplantaten wie beispielsweise von Calvaria, Beckenkamm oder Tibiavorderkante, sowie allogenen und xenogenen Materialien wie Tutobon (Zimmer Dental GmbH, Freiburg im Breisgau) oder Biotek-Blockmaterial (in Entwicklung bei Geistlich Pharma AG, Wolhusen, Schweiz).
Die Konzepte beinhalten drei mögliche Techniken:
– modifizierte Schalentechniken mit extrem dünnem Kortikalisanteil,
– klassischer freihandgeformter Block und
– passgenaue Zylinder.

Die modifizierte Schalentechnik verwendet einen geeigneten dünnen kortikalen Span, wie er beispielsweise aus dem Bereich der *Crista zygomaticoalveolaris* gewonnen werden kann, und unterfüllt den entstehenden Hohlraum im Augmentationsgebiet analog der GBR-Technik mit partikulärem Material aus Knochenspänen und ggf. auch geeignetem Knochenersatzmaterial (Abb. 9 und 10). Die Technik wurde von Gellrich et al. in dieser Form beschrieben.[99] Der klassische Block ist die

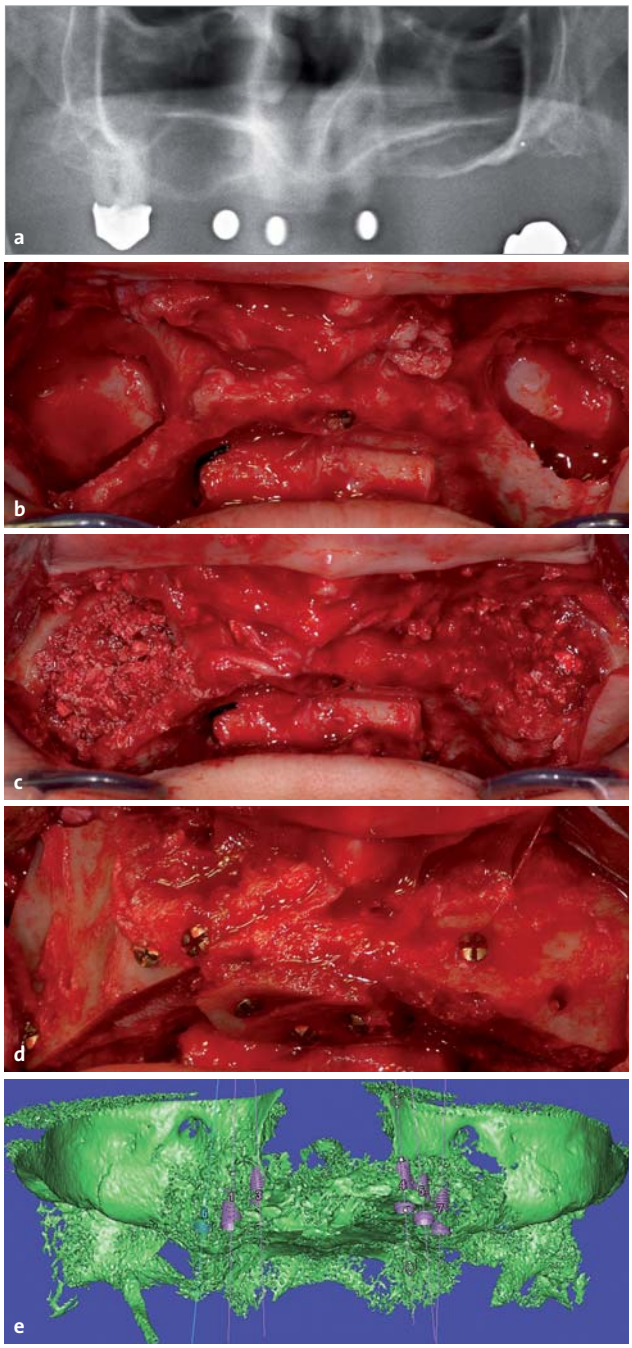
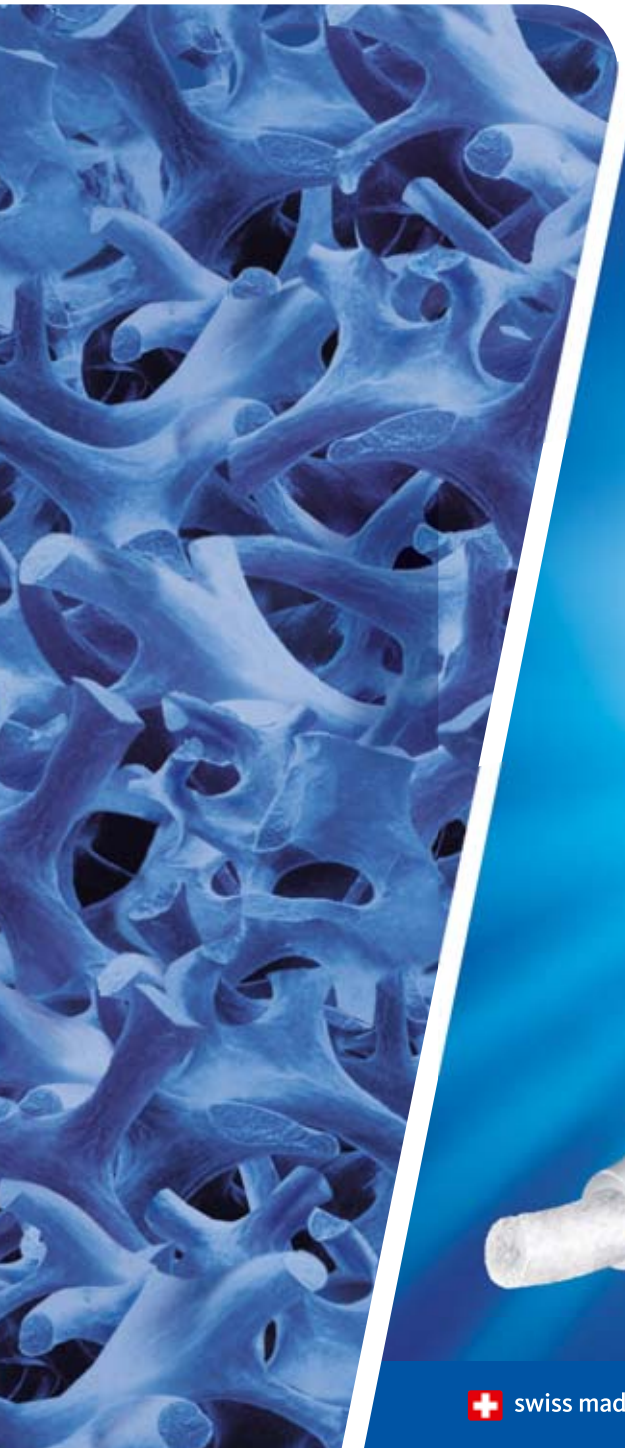


Abb. 12: Große, komplexe Knochenaugmentation mit Beckenkammblöcken und beidseitigem großen Sinuslift; **a)** Defektsituation; **b)** Präparierter Situs mit Tatum-Windows; **c)** Beidseitiger Sinuslift mit Mesh-Augmentat (Beckenspongiosa/Bio-Oss); **d)** Beckenkammblöcke fixiert; **e)** Postoperatives Ergebnis nach fünf Monaten zur indizierten CAD/CAM-Planung der Implantation.

am längsten bekannte Blocktechnik und eine weitverbreitete Standardmethode.[62] Der Knochenblock wird grob dem Lager angepasst und die Kanten geglättet. Hohlräume und Randstufen werden mit partikulärem Material aufgefüllt und nach Indikation ggf. eine Kollagenmembran wie bei allen Techniken ergänzt. Als geeignete Donorstellen kommen sowohl die beschriebenen lokalen Entnahmestellen am Gesichtsschädel als auch Calvaria und Fernentnahmestellen an Beckenkamm oder Tibia infrage. Die Zylindertechnik wurde insbesondere von Dres. Streckbein et al. bearbeitet (nicht

Geistlich
Bio-Oss Pen®

Nichts verändert – Nur verbessert



Die Nr. 1 der Knochenersatz-materialien*

Jetzt auch in der handlichen Spritze erhältlich

www.bio-oss.de

swiss made

LEADING REGENERATION

* iData Research Inc., European Dental Bone Graft Substitutes and other Biomaterials Market, 2010.

Bitte senden Sie mir: **per Fax an 07223 9624-10**

- ❑ Informationen zu Geistlich Bio-Oss Pen®
- ❑ Informationen zur Biofunktionalität von Geistlich Bio-Oss®

Geistlich Biomaterials Vertriebsgesellschaft mbH · Schneidweg 5 · D-76534 Baden-Baden
Telefon 07223 9624-0 · Telefax 07223 9624-10 · info@geistlich.de · www.geistlich.de

Praxisstempel

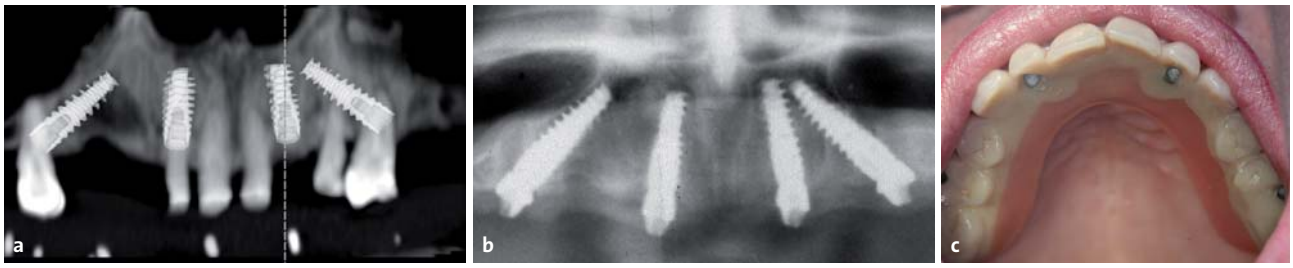


Abb. 13: Festsitzende Sofortversorgung mit geneigten Implantaten (geläufige Bezeichnungen: „All-on-4" oder „Malo-Versorgung", Nobel Biocare, NobelActive); **a)** Planung NobelClinician; **b)** Ergebnis nach Operation; **c)** Sofortversorgung festsitzend in situ.

pubmed-veröffentlichte Daten) und auch von uns im Zusammenhang mit Diamantfräsen untersucht.[100] Die Nachuntersuchung dieser Fälle und auch der Vergleich unserer klinischen Beobachtungen mit den von uns weit häufiger angewendeten Techniken des klassischen Knochenblocks und des Gellrich-Spans zeigten desaströse Ergebnisse aufseiten der Zylindertransplantate. Wir sehen hier keine hinreichende Basis für eine weitere, insbesondere prospektive Untersuchung von Zylindertransplantaten und Hohlfräsen jedweder Art, raten von diesen Techniken ab und empfehlen den klassischen Block und den Gellrich-Span (Abb. 11).

Eine Sonderform stellt das Ringtransplantat dar. Hierbei erfolgt die Anwendung eines passgenauen Zylinders zusammen mit dem Implantat einzeitig als Materialring.[101] Es können sowohl autologer Knochen als auch allogene und xenogene Materialien Anwendung finden. Klinisch waren in der limitierten eigenen Fallzahl keine negativen Ergebnisse wie bei den Zylindertransplantaten zu beobachten. Generell muss man den hohen zeitlichen Aufwand und die diffizile Technik im Zusammenhang mit den formgepassten Augmentationen, egal ob Zylinder oder Ring, berücksichtigen. Daher stellen der klassische Block und der Gellrich-Span hier eine allgemein vorteilhaftere Technik dar. Für den Erfolg des Endergebnisses ebenfalls wichtig sind Schnittführung, sekundäres Weichgewebsmanagement und die Wahl des geeigneten Implantatsystems. Diese Punkte sind umfangreich zu diskutieren und nicht Gegenstand dieser Übersichtsarbeit.

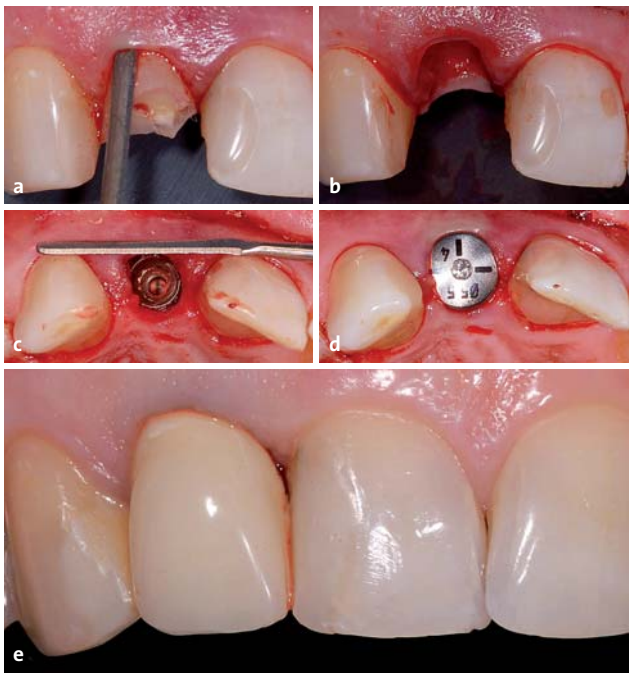


Abb. 14: a) Weichgewebsschonende Zahnextraktion; **b)** Gereinigte, unzerstörte Alveole; **c)** Platzierung des geeigneten Implantates hinter den knöchernen Envelope ggf. mit partikulärer Augmentation (z.B. ASTRA TECH Implant System); **d)** Speicheldichter Verschluss mit geeignetem Gingivaformer, Alternative wäre Sofortversorgung; **e)** Ergebnis mit provisorischer Krone nach drei Monaten.

Komplexe Augmentationstechniken – speziell

In der präprothetischen Chirurgie vor dentaler Implantation stellt der knöcherne Defekt eine häufige Indikation für die operative Behandlung dar.[57,58,61,62] Die Zahnlosigkeit führt in den Kiefern zu Knochenresorptionen.[57,58,61,102–104] Die verschiedenen Grade des Knochenabbaus und die Knochenqualität bestimmen neben allgemeinen Faktoren die ggf. nötige Knochenaugmentationstechnik und im Falle eines autologen Transplantates auch die Entnahmestellen. Grundsätzlich muss man die klassische Resorptionseinteilung nach Cawood und Howell ebenso berücksichtigen wie die individuellen nicht klassifizierbaren Faktoren des Patienten, welche zu spezifischen Knochendefiziten führen. Analog zu den Indikationen für Knochenaugmentationen kann man die komplexen Knochendefekte indikationsspezifisch unterscheiden. Es sind im Wesentlichen vier Anwendungen zu unterscheiden:

– vollständige Zahnlosigkeit eines Kiefers
– der Frontzahnbereich
– die indirekte und direkte Sinusbodenelevation
– Alveolarkammaufbau im Oberkieferseitenzahnbereich
– Alveolarkammaufbau im Unterkieferseitenzahnbereich

Vollständige Zahnlosigkeit eines Kiefers

Beim vollständig zahnlosen Kiefer stellt sich in der Planung einer implantatprothetischen Versorgung vordringlich die Frage, ob eine festsitzende oder herausnehmbare Arbeit angestrebt wird, da dies wesentlich den Bedarf nach einer Augmentation beeinflusst. Grundsätzlich ist hier auch die Frage nach dem Resorptionsstatus der Kiefer wichtig, da die Verschmälerung des Alveolarkammes und die vertikale Resorption nicht isoliert lokal stattfindet, wie durch die Klassifikation von Cawood und Howell suggeriert, sondern mit einer resorptionsbedingten Prognathie und einer relativen transversalen Verschmälerung des Oberkiefers. In seltenen Fällen, ohne wesentliche Verschmälerung des Alveolarkammes selbst in Kombination mit einer ausge-

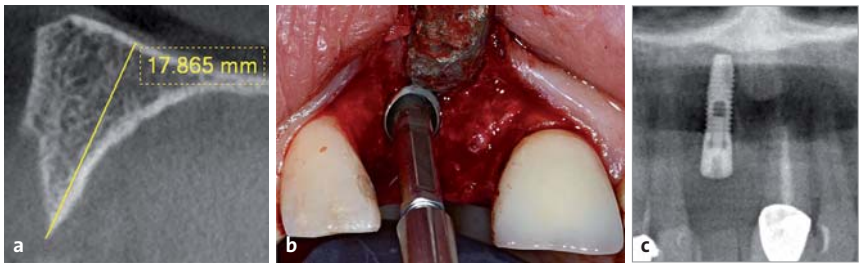


Abb. 15: Anatoformes Implantatdesign (Beispiel: ASTRA TECH Implant System); **a)** Vermessung der Situation und Beurteilung des Lagerknochens mit Schichtbildgebung; **b)** Implantation offen bei Zustand nach erfolgter Zahnextraktion; **c)** Situation postoperativ.

prägten vertikalen Resorption, kann eine klassische Umstellungsosteotomie des ganzen Alveolarknochens, respektive Kiefers indiziert sein. In den meisten Fällen wird man eine klassische Blockaugmentation vom Beckenkamm in Kombination mit großen Sinusbodenelevationen anstreben (Abb. 12). Da hier eine Kontrolle der prothetischen und chirurgischen Planungsbasis mangels jedweder Orientierungsoption an Restzähnen schwierig ist, erscheint heute zumindest eine 3-D-Planungskontrolle sinnvoll. Für Fälle, in welchen eine Knochenaugmentation nicht infrage kommt, besteht die Option vom klassischen Konzept des Pfeilerersatzes zugunsten einer Basiserweiterung des Abstützungspolygons mittels geneigter Implantate abzuweichen und ggf. auch eine Sofortbelastung durchzuführen (Abb. 13).[105,106] Unsere Erfahrungen stützen die Literaturdaten und zeigen gute Ergebnisse.

Der Frontzahnbereich

Nach dem Verlust von Frontzähnen kommt es rasch zu einem Verlust von Alveolarknochen, insbesondere in vertikaler und sagittaler Richtung.[107,108] Wobei es zunächst aufgrund der dünnen vestibulären Knochenlamelle zu anterioren Knochenresorptionen kommt, die dann in vertikale Verluste übergehen. Hierbei gibt es durchaus zum Teil große Unterschiede zwischen Patienten verschiedenen Alters, Geschlechts und Herkunft, wobei der Westeuropäer erfahrungsgemäß eher zu frühzeitiger Resorption neigt. Dem wird versucht mit Konzepten der Socket Preservation entgegenzuwirken.[109] Dies gelingt jedoch nur bedingt und nicht in allen Fällen. Daher ist in einem Großteil der Fälle eine Knochenaugmentation nötig.[107,108] Diese wird meist mit einem autologen Knochenblöckchen und Osteosynthesematerial durchgeführt, wobei sowohl der klassische Block als auch der Gellrich-Block geeignet erscheinen. Auch

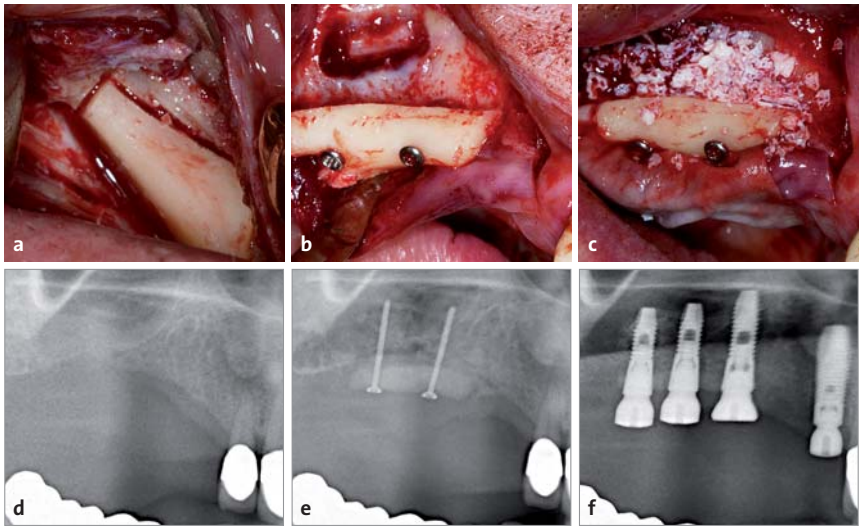


Abb. 16: Blockaugmentation im Oberkieferseitenzahnbereich, hier kombiniert mit Sinusbodenelevation; **a)** Heben des Blockes an der Linea obliqua; **b)** Fixierung des Blockaugmentates; **c)** Nach Kantenglättung und Auffüllen von Sinuskavität und Stufen mit Bio-Oss; **d)** Situation präoperativ; **e)** Kontrolle postoperativ nach vier Monaten; **f)** Implantation zusätzlich auch als Sofortimplantation Regio 12 (ASTRA TECH Implant System).

ANZEIGE

Osteograft®
allogene transplantate

Der Goldstandard für allogene Materialien

Blöcke – Späne – Granulate

1 Osteograft®

Allogene Transplantate für das Hart- und Weich-Gewebemanagement
I ermöglicht neues Knochenwachstum via Osteoinduktion und Osteokonduktion
I OsteoGraft-Produkte sind nach AMG zugelassen

2 CortiFlex®
flexibler Kortikal-Span

formbar/biegsam und lange Standzeit für:
Schalentechnik I Auflagerungsplastik I vertikale und horizontale Knochenaugmentation I Parodontaltherapien I exponierte Implantate

3 Demineralisierte Knochenmatrix (DBM)

ARGON DENTAL
Mainzer Str. 346 I 55411 Bingen I Deutschland
Fon: 06721 3096-0 I Fax: 06721 3096-29
info@osteograft.de I www.osteograft.de

Fax: 06721 3096-29

☐ Bitte senden Sie mir Informationsmaterial zu.

E-Mail

Stempel

Datum/Unterschrift

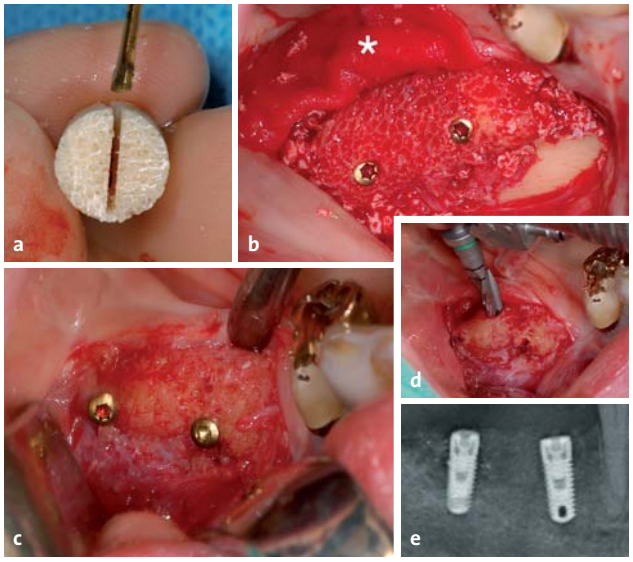


Abb. 17: Blockaugmentation im Unterkieferseitenzahnbereich (z.B. Zimmer Dental Puros); **a)** Generieren des passenden Augmentatblocks; **b)** Fixierung, Kantenglättung und Aufpolsterung mit Bio-Oss sowie Bio-Gide Membran (Stern); **c)** Ergebnis vier Monate postoperativ; **d und e)**: Implantation Zimmer Implants.

GBR-Techniken können Verwendung finden und sind bei komplexen Defekten in bestimmten Fällen auch mit weichen Membranen möglich, wenn vertikaler Knochenverlust limitiert und Augmentationsdefekt geeignet sind. In Einzelfällen kann auch eine Sandwichtechnik von Vorteil sein.
Alternativen bestehen in einer sinnvoll geplanten Sofortimplantation, welche eine Indikation für Schichtbildgebungen mittels DVT oder CT darstellt (Abb. 14). Anatoforme Implantatdesigns können diesen Ansatz optimieren (Abb. 15). Es ist hierbei auch ein Sofortbelastungskonzept möglich, wie erfolgreich beschrieben.[110,111] Ergebnisse, welche diesen Daten entgegenstehen, müssen auch im Bezug auf Implantatdesign und -oberflächen diskutiert werden.[112–114]

Die indirekte und direkte Sinusbodenelevation
Der Oberkieferseitenzahnbereich weist nach Zahnverlust eine besondere Resorptionsdynamik auf. In der Regel und ohne ausgeprägte parodontitisbedingte Knochenresorptionen kommt es zunächst zu einer Ausdehnung der Kieferhöhle mit Knochenresorption von kranial nach kaudal, ohne Veränderung der Alveolarkammposition.
Der Zahnverlust im Oberkieferseitenzahnbereich führt insbesondere zu einem vertikalen Knochenverlust, welcher durch Anheben des Kieferhöhlenbodens und entsprechende Augmentation (Sinusbodenelevation) zu behandeln ist.[115] Man unterscheidet bei der Sinusbodenelevation im Wesentlichen zwei Techniken. Zum einen die direkte Sinusbodenelevation nach Tatum.[116] Hierbei wird transoral ein knöchernes Fenster in die vordere Kieferhöhlenwand präpariert und unter Präparation der Kieferhöhlenmembran vom Knochen in den Sinus maxillaris luxiert. Hierdurch entsteht ein Fenster über dem alveolaren Restknochen, in welches Augmentationsmaterial eingebracht werden kann. Eine simultane Implantation ist möglich.[77] Abwandlungen der Technik schließen das Präparieren eines Fensters ohne Knochendeckel oder im Falle einer Verletzung der Kieferhöhlenmembran eine Deckung mit Biomaterialmembranen ein.[117]
Die zweite Technik zur Sinusbodenelevation ist die indirekte Technik nach Summers.[118,119] Hierbei wird mit Osteotomen über den Bohrlochzugang von krestal der Sinusboden indirekt angehoben. Es folgt dann ggf. das Einbringen von Knochenspänen oder alloplastischem Material sowie als letzten Schritt die Implantation.

Alveolarkammaufbau im Oberkieferseitenzahnbereich
Im Falle ausgedehnter, meist parodontitisbedingter, vertikaler Knochenresorptionen im Oberkieferseitenzahnbereich kann ein absoluter Höhenverlust des Alveolarkammes gegeben sein. Dieser kann bei geplantem festsitzenden Zahnersatz im teilbezahnten Kiefer oft nicht durch eine Sinusbodenelevation allein behandelt werden, da die prothetischen Kronenlängen ungünstig wären. In diesem Fall ist die vertikale Kieferkammaugmentation indiziert, wobei autologer Block, kommerzielles Blockmaterial und stabile GBR-Techniken Anwendung finden können (Abb. 16). Vertikale Osteomietechniken sind im Oberkieferseitenzahnbereich von limitierter Bedeutung.

Alveolarkammaufbau im Unterkieferseitenzahnbereich
Im Unterkieferseitenzahnbereich stellt der vertikale Knochenverlust ein regelmäßiges Problem bei der Versorgung mit festsitzendem Zahnersatz dar. Wegen der oft auch verminderten Breite des verbliebenen Alveolarkammes und dem anatomischen Problem der Lage des *Nervus alveolaris inferior* ist diese Augmentation besonders kritisch. In jenen Fällen ohne große vertikale Knochenverluste kann mit GBR- oder Tunneltechnik horizontale Augmentation durchgeführt werden. Für komplexe Augmentationen ist primär eine Blockaugmentation geeignet, wobei auch hier der klassische Block und der Gellrich-Block empfohlen werden (Abb. 17). Bei geeigneter Situation kann auch eine stabile GBR-Technik angewendet werden. Eine Alternative sind kurze Implantate. ■

Literaturliste

Ich danke Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Wilfried Wagner (Direktor der Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Johannes Gutenberg-Universität, Mainz), bei welchem ich meine Habilitation, welche dieser Übersichtsarbeit zugrunde liegt, erstellt habe.

Infos zum Autor

KONTAKT

Prof. Dr. med. Dr. med. dent.
Florian Draenert, M.D. D.D.S. Ph.D.
Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Oralchirurgie und Implantologie
Universitätsklinikum der Philipps-Universität Marburg

Korrespondenz an:
Xaver-Weismor-Str. 60a, 81829 München
draenert@floriandraenert.com
www.floriandraenert.com

ACE – PRODUKTE FÜR CHIRURGIE UND IMPLANTOLOGIE

JETZT HABEN SIE DIE WAHL!

RCP™, RCF™, RCT™
Resorbierbares Kollagen

NuOss™
Collagen

truFIX™
Befestigungssystem

NuOss™ Spongiosa- und Kortikalisgranulat

Praktische und einfache Entnahmemöglichkeit!

RCM6™ und **conFORM™** Kollagenmembrane

In drei verschiedenen Größen erhältlich!

Fordern Sie jetzt Ihren ACE-Katalog an!

FreeTel: **0800–1400044**
FreeFax: **08000–400044**

www.henryschein-dental.de

Erfolg verbindet.

HENRY SCHEIN®
DENTAL