

Alloplastische Materialien in der zahnärztlichen Chirurgie und Implantologie

Dem Zahnarzt stehen unterschiedliche Knochenersatzmaterialien zur Verfügung. Nach ihrer Herkunft können sie in drei Gruppen unterteilt werden: humane Präparate, Präparate vom Tier oder alloplastische Materialien. Mit Letzteren gestaltet sich die Behandlung insofern einfacher als mit autologem Material oder mit Tierpräparaten, als dass kein großer OP-Aufwand betrieben werden muss bzw. keine erweiterte Aufklärungspflicht aufgrund ihrer synthetischen Herkunft besteht.

Dr. Dr. Stefan Wolf Schermer beschreibt im folgenden Beitrag alloplastische Knochenersatzmaterialien (KEM) in ihrer chemischen und physikalischen Beschaffenheit. Er erläutert auf dieser Basis das jeweilige In-vivo-Verhalten der Materialien. Detailliert vorgestellt werden das Tricalciumphosphat-Granulat Cerasorb M, das Hydroxylapatit-Granulat NanoBone® und die Hydroxylapatit-Paste Ostim. Der Autor geht zudem auf Implantatsysteme ein, die sich für die routinemäßige Implantation rekonstruierter Areale bzw. für Grenzsituationen eignen, und auf ein Implantat, das aufgrund seiner Gewindekonstruktion für den Behandler besonders interessant ist. Die Anwendung der Materialien und Systeme wird an konkreten Fallbeispielen demonstriert.

Während meiner Ausbildung in einer mund-, kiefer- und gesichtschirurgischen Praxis und in einer öffentlichen Klinik für Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie sowie für plastische Operationen wurden sowohl Kieferdefekte als auch defizitäre Kiefer für die Implantologie regelmäßig mit autologen Materialien versorgt, zumeist mit corticospongiösen Blöcken aus dem Becken der Patienten. Diese wurden dann so präpariert, dass sie en bloc, als Chips oder Granulat den jeweiligen Erfordernissen genügten. Ob der zu transplantierende Knochen aus dem Becken, aus dem Schienbein oder anderenorts entnommen wird, ist nicht von erheblicher Bedeutung.

Bei diesem Vorgehen sind ein zweiter Eingriff sowie zusätzliches Instrumentarium, eine Assistenz und eine erweiterte Logistik notwendig. In jedem Fall entsteht auch eine Hart- und Weichgewebswunde, die nicht selten länger andauernde Beschwerden verursacht. Man muss hinsichtlich der logistischen Möglichkeiten und Ausrichtungen grundsätzlich zwischen einem Operateur im Krankenhaus oder mit angeschlossener Privatklinik und zwischen einem niedergelassenen Zahnarzt unterscheiden. Auch heute noch wird sich der Operateur mit Zugriff auf Klinik

und Betten leichter für die autologe Operation entscheiden als der niedergelassene Kollege.

Dabei ist es fraglich, ob die autologe Entnahme in der zahnärztlichen Praxis und in der Implantologie überhaupt noch notwendig ist, um gute Resultate zu erzielen. Tatsächlich kann in der zahnärztlichen Defektchirurgie und Implantologie auf autologe Entnahmen – anders als in der Parodontologie – fast verzichtet werden, von speziellen Situationen abgesehen. Diese Erfahrung habe ich in den vergangenen Jahren immer öfter gemacht. Seit ich vor etwa zehn Jahren alloplastische Knochenersatzmaterialien kennen lernte und zunächst sehr zögerlich und vorsichtig einsetzte, haben diese an Stellenwert gewonnen. Dank stetiger Verbesserung seitens der Hersteller haben sich Einsatzspektrum und das Volumen der zu rekonstruierenden Defekte immer stärker vergrößert. Die Einsatzgebiete alloplastischer Präparate in meiner Praxis reichen von Resektionen einer Zahnwurzel über Zysten im critical Size bis zu Kieferrekonstruktionen mit Sofortimplantation und bis über 30 Implantaten und Hilfsimplantaten. Alloplastische Knochenersatzmaterialien werden in unserer Privatkli-



Dr. Dr. Stefan Wolf Schermer

1988–1997 Studium und wissenschaftliche Tätigkeit
 1997–2003 Assistenzzeit und Weiterbildung zum Oralchirurgen
 Auslandsaufenthalte: Schweiz, USA, ehem. UdSSR
 2003 Niederlassung in Berlin, Praxisklinik für ambulante und stationäre Oralchirurgie und Implantologie
 Chirurgischer Leiter der Zahnklinik Medeco Tempelhof
 Referententätigkeit bundesweit und international. Themen: Alloplastische Defekt- und rekonstruktive Chirurgie
 Implantologie bei reduziertem Knochenangebot, umfangreiche Kieferrekonstruktionen und implantologische und prothetische Sofortversorgung
 Autor deutscher und internationaler Publikationen zu diesen Themen
 Ausrichter und Leiter von zertifizierten klinischen Kursen zur Postgraduierenausbildung für spezielle operative Techniken, Defektrekonstruktion und Implantologie

nik in mehreren hundert Fällen pro Jahr angewendet, und zwar auch bei stationären Patienten.

Es gibt verschiedene Quellen, die dem Behandler zur Verfügung stehen, wenn Hartgewebe oder Hartgewebersatz benötigt wird, um einen Defekt zu versorgen oder eine geplante Implantation mit geringem Widerlager zu ermöglichen. Grundsätzlich können drei Gruppen von Ersatzmaterialien nach ihrer Herkunft unterschieden werden:

Humanpräparate

Humanpräparate sind zum einen Knochen vom Patienten selbst. Das autogene/autologe Transplantat wird prinzipiell

noch immer als „Goldstandard“ benannt. Zum anderen kommen Spenderknochen von lebenden oder toten Menschen in Frage. Diese allogenen Transplantate können in der Frühheilung unspezifische Abwehrreaktionen stimulieren und bergen zusätzlich immunologische Restrisiken sowie die Gefahr von Infektionen. Für diese Präparate besteht eine erhöhte Aufklärungspflicht.

Tierpräparate

Tierpräparate werden aus Schweine-/Rinder-/Pferdeknochen gewonnen. Bei xenogenen Präparaten können ebenfalls unspezifische Abwehrreaktionen während der Frühheilungsphase auftreten. Es bestehen zudem immunologische und Infektionsrisiken und damit geht eine erhöhte Aufklärungspflicht einher. Schwierigkeiten in der Praxis bestehen darin, dass die Resorption unvorhersehbar erfolgen kann oder es zu keiner eigentlichen Resorption kommt. Im letzteren Fall können Abkapselungen entstehen. Das Material kann über Jahre im Defekt verbleiben und andauernde Makrophagenaktivitäten provozieren¹¹. Des Weiteren stehen teilweise tierische Präparate bzw. teilsynthetische Materialien zur Verfügung, die aus biologischen Ausgangsstoffen gewonnen werden, in der Regel aus bovinem Knochen.

Körperfremde Substanzen

Diese sind entweder anorganisch, wie die synthetisch hergestellten alloplastischen Hydroxylapatite und Tricalciumphosphate. Diese Materialien werden im Folgenden etwas unpräzise als „alloplastische“ Knochenersatzmaterialien (KEM) bezeichnet. Oder sie sind organisch, also natürlicher/pflanzlicher Herkunft. So können körperfremde Substanzen beispielsweise aus Korallen oder Algen stammen; diese sind aber eher die Exoten am Markt.

Begriffsklärung der Materialien

Um nun das begriffliche Umfeld dieser Materialien zu erläutern, müssen die dafür postulierten Fachwörter zunächst einge-

ordnet werden. „**Knochenwachstum**“ tritt nur bei geeigneter Oberflächenstruktur, Biokompatibilität, geeigneter Porosität und geeigneten chemischen Eigenschaften des KEM auf. Die Summe dieser Eigenschaften ist ein Maß für die Effizienz und Qualität des KEM und wird als **Osteokonduktivität** bezeichnet. Osteoblasten des Lagerknochens wachsen entlang einer Leitschiene in den Defekt ein. Dieser Vorgang ist eine echte Knochenneubildung, die **Osteokonduktion** genannt wird¹², wie etwa in der Stellungnahme der DGZMK 2000. Es sind demnach bioaktive Materialien, die nach Implantation eine positive Reaktion im Sinne einer Knochengewebsbildung, Knochen- gewebsverstärkung oder Knochen- gewebsverzahnung hervorrufen und damit die Wiederherstellung des Knochens und seiner komplexen Funktion zulassen. Isoliert betrachtet findet eine Verbundosteogenese statt. Insbesondere die synthetischen Calciumphosphate, Tricalciumphosphat (TCP) und Hydroxylapatit (HA) sind bioaktiv.

Osteokonduktiv sind Materialien, wenn Osteoblasten an den Materialien adhären und Knochengewebe bilden. Das Biomaterial bildet eine Leitschiene für die Erschließung des Knochendefekts⁹. Diese Eigenschaft sollte alloplastischen Knochenersatzmaterialien zu eigen sein.

Osteoinduktiv sind Materialien bzw. Substanzen, die eine Knochenneubildung induzieren. Das ist dann der Fall, wenn Stammzellen in der Umgebung osteoinduktiver Substanzen zu knochenbildenden Zellen (Osteoblasten) differenzieren und mit einem Knochenaufbau beginnen. Damit wäre zunächst geklärt, dass kein momentan in Deutschland legal zu erwerbendes Produkt dies leisten kann, auch wenn die Werbung und damit die Industrie oder einige Referenten dies gerne verkaufen würden. Die Problematiken einer wie auch immer gearteten Substanz zur Neubildung von Gewebe können und sollen an dieser Stelle nicht diskutiert werden.

Resorbierbar sind Materialien, die aufgrund ihrer chemischen Löslichkeit von Zellen aufgenommen werden können. Nur Knochen abbauende Zellen, Osteo-

klasten, sind in der Lage, Knochen oder resorbierbare Materialien zu resorbieren, indem sie an ihrer Unterseite, der so genannten ruffled Border, Säuren freisetzen, die das Material oder den Knochen auflösen. Die Folge sind Resorptionslakunen¹¹, die in der histologischen Diagnostik bedeutsam sind.

Eine **Degradation** von Materialien geschieht aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften. Sie können wegen Einwirkung mechanischer Kräfte zerfallen oder aber hydrolytisch aufgelöst werden durch Flüssigkeiten im Körpermilieu¹⁶. Die Biodegradation von Calciumphosphat-Keramiken lässt sich in zwei Prozesse unterteilen: Der eine beinhaltet die physikochemische Auflösung, der andere das Zerfallen in kleinere Partikel. Die physikochemische Auflösung des Biomaterials ist abhängig von dem Löslichkeitsprodukt des Materials, der partikuläre Zerfall des Materials ist abhängig vom Löslichkeitsprodukt der Sinterhülle, die die einzelnen Körner zusammenhalten.

Nicht resorbierbare Biomaterialien, wie beispielsweise synthetische oder teilsynthetisch-bovine Materialien aus nicht resorbierbarem HA, können Knochen nicht vollständig restrukturieren. Ihre chemische Beständigkeit schließt eine Resorption aus. Neuer ortsständiger Knochen wird so nie in den Defekt einspringen können. Der mit einem solchen Material gefüllte Defekt wird also niemals wieder seine volle biologische und biomechanische Funktion einnehmen können.

Wenn ein rekonstruierter Bereich im Heilungsverlauf zunächst etwas heftiger reagiert als nicht rekonstruierte Defekte, muss das den Behandler nicht verunsichern. Geringgradige Entzündungsreaktionen sind in der frühen Knochenheilungsphase nicht ungewöhnlich. Der darauf folgende rasche Rekonstruktionsprozess des Hartgewebes belohnt Patienten und Behandler im Nachgang.

Ob man nun den Begriff **Knochenersatzmaterial** (KEM) oder **Knochenaufbaumaterial** (KAM) verwendet, ist aus meiner Sicht nicht entscheidend. Mit Knochenersatzmaterialien sind im Folgenden Materialien gemeint, die dem tat-

sächlichen Knochenaufbau dienen. Diese resorbieren und/oder degradieren nach einer gewissen Verweilzeit und werden danach durch neu gebildeten, kompletten, ortsständigen Knochen ersetzt, was zu einer Defektrekonstruktion im Sinne einer hartgewebigen Ausheilung führt.

Materialauswahl und Vorüberlegungen

Alloplastische Materialien sind also größtenteils entweder β -TCP oder geeignete HA. Sie werden zumeist als Granulate unterschiedlicher Korngrößen oder als Formteile/Blöcke und als Paste angeboten. Solche Präparate werden mittlerweile von Dutzenden von Herstellern, dem Vertrieb und Dentaldepots auf den Markt geworfen. Es ist für den Einsteiger fast nicht möglich, eigenständig eine seriöse Auswahl zu treffen. Darauf spekulieren auch die großen Depots, indem sie dem Zahnarzt über bekannte und bequeme Vertriebswege mit der nächsten Praxisbedarfslieferung ein Implantat-Set oder Knochenersatzmaterial zukommen lassen möchten. Davor kann nur eindringlich gewarnt werden. Stattdessen bieten sich für Einsteiger in die Implantologie, alloplastische Defektchirurgie oder die augmentative Chirurgie der Austausch mit erfahrenen Kollegen, der Besuch großer Kongresse der seriösen Bundesgesellschaften, Workshops und Hospitationen an (Marktübersicht über Knochenersatzmaterialien im Dental Magazin Heft 4.2003 und ganz aktuell im Implantologie Journal Heft 4.2006).

In jedem Fall müssen zunächst anamnestiche, dann operative und logistische sowie forensische und monetäre Überlegungen angestellt werden. Die Patienten begrüßen den Einsatz synthetischer alloplastischer Präparate grundsätzlich. Sie möchten davon überzeugt sein, dass es sich weder um tierische noch um Spenderpräparate handelt und sind glücklich darüber, dass kein „Loch im Knochen“ zurückbleibt, wenn sie den Arzt verlassen oder auf der Station wohlumsorgt im Bett liegen. Anamnestisch sieht man sich mit denselben Risiken konfrontiert wie in der

zahnärztlichen Chirurgie allgemein: Rauchen, Diabetes, Mundschleimhautrekrankungen, Infektionskrankheiten, Koagulopathien, medikamentöse Therapien, Habits u. a. Hier muss interindividuell auch unter Gewichtung der Compliance entschieden werden, wie die Therapie verlaufen soll. Ausschlusskriterien für die alloplastische Defektrekonstruktion sind dieselben, die auch eine Implantation oder andere zahnärztliche Eingriffe ausschließen würden: beispielsweise eine spezielle kardiale Anamnese oder akut infektiöse Prozesse. Logistisch ist die Alloplastik eine Out-of-the-Shelve-Versorgung, solange sie sich in begrenztem Umfang abspielt. Man benötigt nur wenige Instrumente und muss keine weitere Assistenz hinzuziehen. Aus forensischer Sicht ist man mit einem industriell, steril und geprüft bzw. überwacht hergestellten, alloplastischen Präparat auf der sichersten Seite. Mit den Risiken der erweiterten Aufklärungspflicht oder einer möglichen Diskussion über Krankheitsübertragungen bzw. Prionen ist man hier nicht konfrontiert, wohl aber, wenn man vom Tier stammende Präparate anwendet.

Monetär gesehen kann man kostengünstig auf unbegrenzte Mengen von alloplastischem Knochenersatzmaterial zurückgreifen und somit auch dem Patienten eine wirtschaftliche Therapie bieten.

Tricalciumphosphat-Granulate

Beispielhaft für β -TCP (α -TCP sind auf dem Markt nicht mehr von Bedeutung) ist das Produkt Cerasorb M (Fa. Curasan, Deutschland), mit dem ich selbst über Jahre eine sehr große Zahl unterschiedlichster Fälle versorgt habe. Durch die Katalogisierung einer Messung des zu > 99 Prozent phasenreinen und absolut metallfrei produzierten β -TCP im International Center of Diffraction Data ist dieses Produkt unlängst zum weltweiten Standard für β -TCP-Materialien geworden⁷. In der physikalischen Chemie und der Werkstoffwissenschaft bezeichnet man mit Phase einen einheitlichen Bereich, in dem sich die chemischen und physikalischen Eigenschaften nicht sprunghaft ändern,

insbesondere die Dichte und chemische Zusammensetzung. Demnach sind Materialien phasenrein, wenn sie keine andere Phase des Calciumphosphat-Systems und auch sonst keine kristallinen Bestandteile außer der Hauptphase enthalten. Phasenreinheit ist aber nicht zu verwechseln mit chemischer Reinheit. Ein phasenreines Material muss nicht chemisch rein sein und umgekehrt. Ein Calciumphosphat, welches ausschließlich Calcium, Phosphor und Sauerstoff enthält, also bezüglich Calciumphosphat chemisch rein ist, kann verschiedene Phasen dieses Materials enthalten, wie α -TCP und β -TCP, beide mit der chemischen Formel $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ und Calciumpyrophosphat ($\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$) in verschiedenen Modifikationen, d. h. Anordnungen der Atome zueinander etc.

Die verschiedenen Phasen entstehen durch eine unterschiedliche chemische und thermische Behandlung während des Herstellungsprozesses. Somit ist die Phasenreinheit eines Materials aus β -Tricalciumphosphat ein untrügliches Indiz für die Herstellungsqualität des Produktes. β -Tricalciumphosphat ist vollkommen synthetisch mit einem Calcium-Phosphor-Verhältnis (Ca/P) von 1,5. Die Mineralphase des Knochens besteht aus schmalen, plättchenförmigen Kristallen eines Calcium-defizienten Carbonatapatits vom B-Typ mit dem Mineralnamen Dahllit. Dieses wurde erstmals bereits in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts von Gassmann, Eisenberger et al. beschrieben. Das Ca/P-Verhältnis der Mineralphase des menschlichen Knochens beträgt, je nach Alter und Gesundheitszustand 1,3 bis 1,66⁵. Beta-TCP mit einem Ca/P-Verhältnis von 1,5 liegt also im physiologischen Bereich. Da Calciumphosphate und somit auch das Knochenmineral die Eigenschaft haben, Schwermetalle zu akkumulieren, müssen Knochenaufbaumaterialien chemisch rein sein, um Kontaminationen nach Möglichkeit strikt zu vermeiden. Aus diesem Grund fordert die international anerkannte American Society for Testing and Materials¹ heute sehr strenge Grenzwerte für Spurenelemente.

Cerasorb ist bioverträglich, biokompatibel und bioresorbierbar. Dargestellt sind

relativ große Primärpartikel ($< 63 \mu\text{m}$, d_{50} -Wert $10\text{--}15 \mu\text{m}$) zur Vermeidung der Phagozytose durch Makrophagen. Das Material besitzt eine hohe Löslichkeit, angepasst an den natürlichen Knochenaufbau. Es ist in hohem Maße röntgenopak und ermöglicht damit sehr sichere postoperative Röntgenkontrollen und einfache Verlaufskontrollen. Im Gegensatz zu anderen Präparaten ist jedes Glasfläschchen mit allen Produktions- und Produktdaten vollständig beschriftet und es liegen entsprechende Aufkleber zur Mehrfachdokumentation bei. Die besondere unregelmäßige Struktur, die sich im Defekt wie Schotter verkeilt und damit eine ausgezeichnete Lagestabilität aufweist, zeichnet sich durch interkonnektierende, offene Multiporosität aus. Die Poren-Interkonnektion steuert die Rate des Knocheneinwachsens stärker als die Porengröße und im Fall von TCP das Ausmaß der Resorption³. Dies ist beispielhaft an diesem Produkt darstellbar, denn Mikroporen ($< 5 \mu\text{m}$) ermöglichen die Absorption extrazellulärer Flüssigkeit (Kapillarkräfte), die Bindung von Differenzierungs- und Proliferationsfaktoren und die passive Degradation. Mesoporen ($5\text{--}100 \mu\text{m}$) dienen dem Zellkontakt und dem Einwachsen vaskularisierten Knochens in die äußere Porenschichten und passiver und aktiver Degradation. Makroporen ($> 100 \mu\text{m}$) ermöglichen Osteonen und Gefäßen das Einwachsen und damit die Strukturierung und Ernährung des Materials im nativen Hartgewebe⁸. Der Hersteller gibt eine Gesamtporosität von ca. 65 Prozent bei Porengrößen von $0,1\text{--}500 \mu\text{m}$ an. Die Porenverteilung beeinflusst die spezifische Oberfläche von Knochenersatzmaterialien und beeinflusst deren In-vivo-Verhalten.

Um degradierbar bzw. resorbierbar zu sein, muss ein Knochenaufbaumaterial löslich sein. Die Löslichkeit ist eine Stoffkonstante und daher substanzimmanent. Für eine erfolgreiche Knochenregeneration ist auch die Lösungsgeschwindigkeit eine bedeutsame Größe. Die Geschwindigkeit darf nicht zu hoch sein, da sonst die Platzhalterfunktion nicht mehr erfüllt wird. Eine zu geringe Lösungsgeschwindigkeit steht der zeitgerechten Knochen-

regeneration im Weg.

Da in verschiedenen Defektlokalisationen eine höchst unterschiedliche Regenerationsgeschwindigkeit zu erwarten ist, sollte das Material in seiner Lösungsgeschwindigkeit den vorliegenden Verhältnissen angepasst sein. Durch die Erhöhung der Oberfläche eines Materials lässt sich die Lösungsgeschwindigkeit ebenfalls erhöhen. Beispielsweise ist die Lösungsgeschwindigkeit eines Würfelzuckers durch die höhere Porosität und die daraus resultierende größere Oberfläche viel höher als die Lösungsgeschwindigkeit der gleichen Menge Kandiszucker mit einer weit niedrigeren, weil dichteren Oberfläche ohne Poren.

Aus diesem Grund wird Cerasorb® in verschiedenen Modifikationen angeboten. Cerasorb M ist der Nachfolger des klassischen Cerasorb und ist wie dieses für Parodontologie und zahnärztliche Chirurgie in Korngrößen von $500\text{--}2000 \mu\text{m}$ erhältlich. Inzwischen umfasst das Cerasorb® Produktprogramm fünf verschiedene, einzelnen Defektsituationen angepasste Modifikationen, die eigentlich keine Wünsche offen lassen. Es werden Fläschchen mit $0,5, 1,0$ oder $2,0 \text{ ccm}$ angeboten. Eine Packung enthält fünf Fläschchen.

Sowohl die initiale physikalisch-chemische Wechselwirkung des Knochenersatzmaterials mit den umgebenden biologischen Flüssigkeiten als auch die spätere biologisch-zelluläre Reaktion beginnen an der Oberfläche¹⁵. Weiterhin eignen sich zum Einsatz großer knöcherner Defekte vielkantige, nahezu bizarr geformte Materialien mit hohem Anteil an Makroporen und somit entsprechend großer Oberflächenrauigkeit, da für diese Indikation eine hohe Osteokonduktivität zu fordern ist¹⁵.

Hydroxylapatit-Granulate

Als Vertreter der synthetischen Hydroxylapatite (HA) wird hier das neuartige Knochenaufbaumaterial (Fa. Artos, Deutschland) vorgestellt. Auf natürliche HA aus Algen oder Tierknochen wird in diesem Beitrag nicht eingegangen. Da der menschliche Knochen bzw. die Knochenmatrix zu etwa 50 Prozent aus Hydroxyl-

apatiten aufgebaut ist, erscheint es sinnvoll, dieses Material vollkommen neu darzustellen und damit als Knochenersatzmaterial zu optimieren.

NanoBone® wird bei Temperaturen unterhalb der Sintertemperatur durch das Sol-Gel-Verfahren hergestellt. Im Gegensatz zu anderen HA-Materialien ist es also nicht gesintert und weist dadurch ein wesentlich verbessertes Biodegradationsverhalten auf. Nanokristallines Calciumphosphat wird in ein SiO_2 -Sol auf Basis von Alkoxiden verbracht und homogen verteilt. SiO_2 bildet bei Gelübergang ein nanoporöses Gerüst und verbindet die nanokristallin vorliegenden Calciumphosphatkristalle. Durch das Entweichen des Lösungsmittels während des Trocknungsvorgangs kommt es zu einer geringen Schrumpfung sowie Poren im Nanometerbereich, deren Größe durch Pulverkörnung und das Verhältnis von Granulat zu Lösungsmittel und Gelpräkursor modifizierbar ist. Während des Gelübergangs kann ein beliebig zu formender Körper mit Makroporen ($0,1\text{--}1 \text{ mm}$) hergestellt werden. So entsteht ein hochporöser Formkörper mit einer Feststoffdichte von etwa $0,4 \text{ g/cm}^3$ und einer Porosität von ca. 70 Prozent. Durch die hohe Porosität und durch die lockere Packung des Granulats in Tannenzapfenstruktur beträgt der Feststoffgehalt nur ca. 20 Volumenprozent. In Kontakt mit Blut des Patienten werden etwa 80 Volumenprozent durch körpereigenes Material eingenommen. Die Oberfläche, welche in vivo von der Körperflüssigkeit benetzt werden kann, wird extrem vergrößert. Die interkonnektierenden Poren im Nanometerbereich, die durch die Gelbildung und den Trocknungsprozess erzeugt werden, sind in Kombination mit dem lockeren nanostrukturierten HA für die Eigenschaften des Materials verantwortlich. Bei Einsatz des Materials am blutenden nativen Hartgewebe soll Blutplasma mit körpereigenen Proteinen in die Nanoporen eindringen. Proteine werden von der durch Nanoporosität extrem vergrößerten Oberfläche des Materials eingefangen und die körpereigenen Zellen sehen das Material als körpereigen an, sodass die Leitschienensystematik des Knochenersatzmateri-

als gewährleistet ist. Aufgrund der grundsätzlich von anderen Materialien zu unterscheidenden Herstellungsprozesse können auch positive neue Materialeigenschaften erwartet werden.

Auch hier dient die bis in den Mikrometerbereich raue Oberfläche der Granulatkörper der Zelladhäsion. Durch die extrem hohe äußere und innere Oberfläche von über 80 qm/g, bedingt durch die einzigartige Nanostruktur, werden also bei Kontakt mit dem Blut des Patienten körpereigene Proteine arretiert, was für die Gewebereaktion von entscheidender Bedeutung ist^{2,6}. Diese enorme Oberfläche wird sonst nur von bovinen Materialien annähernd erreicht und ist durch die Quecksilber-Porosimetrie bzw. das Mercury-Intrusion-Porosimetry-Verfahren dargestellt worden¹⁴.

In tierexperimentellen Studien wurde gezeigt, dass in vivo am NanoBone-Granulat bereits nach fünf Wochen die für die Knochenregeneration wichtigen extrazellulären Matrixproteine vorhanden sind, wie Glykoproteine, Osteocalcin und Osteopontin⁴. Sogar das Vorhandensein von BMP-2 an der Oberfläche von NanoBone wurde in dieser Studie nachgewiesen.

NanoBone® wird ebenfalls in vollständig mit Produkt- und Produktionsdaten versehenen mehrfach verpackten Glasbehältern angeboten und mit identischen Aufklebern zur Mehrfachdokumentation ausgeliefert. Das Material ist ebenfalls, wenn auch etwas weniger, röntgenopak. Es wird aber im Heilungsverlauf, d. h. bei postoperativen röntgenologischen Verlaufskontrollen, deutlich opaker, bis es nach sechs bis neun Monaten kaum noch vom nativen Hartgewebe zu unterscheiden ist. Nach 12 Monaten erscheint es digital teilweise dichter und opaker als das umgebende native Gewebe selbst. Es wird in Korngrößen zu 0,6 und 1,0 Millimetern sowie in Abpackungen von 0,6, 1,2 und 2,4 ccm angeboten. Eine Packung enthält fünf Fläschchen.

Hydroxylapatit-Paste

Das dritte Knochenersatzmaterial, das ich Ihnen näher beschreiben möchte, wird in Form einer Paste (Fa. Heraeus Kulzer,

Hanau) angeboten. Das Produkt heißt Ostim und besteht zu 35 Prozent aus HA in Wasser. Es ist ebenfalls ungesintert und von nanokristalliner Struktur, aber unterscheidet sich trotzdem stark von den o. g. Produkten. Es handelt sich um speziell entwickelte und gezüchtete phasenreine Kristalle. Diese lang gestreckten, plättchenförmigen Kristalle sind winzig ($\varnothing 18 \text{ nm} = 18 \times 10^{-9} \text{ m}$) und damit sehr viel kleiner als die Teilchen vergleichbarer Materialien. Sie werden wie alle anderen Inhaltsstoffe im Reinraum verfüllt und anschließend strahlensterilisiert.

Ostim hat aufgrund der Kristallstruktur eine sehr große spezifische Oberfläche ($106 \text{ m}^2/\text{g}$), die gut zugänglich ist für Makrophagen und Osteoblasten. Das Knochenersatzmaterial Ostim sowie eine Kombination von Ostim mit 25 Prozent autogenem Knochen zeigte bei Einsatz im Critical-Size-Defect ähnliche osteokonduktive Effekte. ((Literatur bitte an dieser Stelle ergänzen)) Osteokonduktion ist definiert als Knochenwachstum auf der Oberfläche des eingebrachten Materials. Auch die Osseointegration des Materials muss positiv eingeschätzt werden. Die Beurteilung der Histologien zeigte, dass es im Versuchsverlauf nicht zur Ausbildung einer bindegewebigen Trennschicht zwischen Knochenersatzmaterial und ortsständigem Knochen kommt¹³, was ich auch bestätigen kann.

Ostim wird in Einmalspritzen zu 1 ml und 2 ml für größere Defekte sowie in kleinen Einweg-Karpulen, wie der Zahnarzt sie von Füllungsmaterialien kennt, mit 0,2 ml Inhalt angeboten. Hierfür werden speziell gefertigte verbesserte Edelstahlapplikatoren geliefert, die ein kinderleichtes Applizieren möglich machen. Ostim ist nur wenig röntgenopak. Es kann aber auch mit digitaler Röntgentechnik vom geübten Betrachter gut differenziert werden, vorausgesetzt es wurde in einer ausreichend großen Menge eingesetzt. Der große Vorteil, und hier nahezu konkurrenzlos, besteht in der einfachen und sicheren Applikation in Spalten. Bei Sofortimplantationen und Reihenextraktionen mit Sofortimplantation wird Ostim in meiner Praxis regelmäßig eingesetzt, um die Inkongruenzen zwischen Extraktions-

alveole und Implantat formschlüssig auszugleichen und damit Weichgewebseinsprossungen auszuschließen. Das Material eignet sich auch hervorragend bei Rekonstruktionen in unmittelbarer Nachbarschaft von empfindlichen und sensiblen Weichgeweben. Dass dieses Material über den zahnärztlichen Routineeinsatz hinaus auch in großen Volumina sehr leistungsfähig ist, habe ich selbst in Zusammenarbeit mit Heraeus Kulzer bewiesen (eine entsprechende Publikation ist in Vorbereitung). Mit seiner mit (badischem) Kartoffelbrei vergleichbaren Konsistenz sind Maßnahmen auch für Einsteiger möglich, die bei den beiden vorgestellten Granulaten nur dem geübteren Behandler vorbehalten sind.

Es sei aber davor gewarnt, dieses allzu leicht applizierbare Material nicht nach allen Erfordernissen alloplastischer Rekonstruktion einzusetzen. Auch oder gerade hier sind saubere, blutende Knochenoberflächen und eine vernünftige periostale oder durch Membran gesicherte Abdeckung der Schlüssel zum Erfolg. Gerade bei der Rekonstruktion großer Volumina ist höchste chirurgische Sorgfalt geboten und schwierige Eingriffe sollten dem versierten Zahnarzt oder dem Chirurgen vorbehalten bleiben.

Sie können bei aller Leistung, die die Industrie mit diesen Produkten bietet, natürlich nicht alles erwarten. Die drei Hersteller der beschriebenen Produkte sind auf Nachfrage gerne bereit, Kollegen zu benennen, bei denen der niedergelassene Zahnarzt den suffizienten Umgang mit alloplastischen Knochenersatzmaterialien erlernen kann. Es ist hilfreicher, einmal unter der richtigen Anleitung selbst eine Behandlung durchgeführt zu haben, als zehnmals zugesehen zu haben! Also besuchen Sie Hands-on-Workshops oder hospitieren Sie.

Implantate

Für die routinemäßige Implantation rekonstruierter Areale bzw. auch Grenzsituationen kommen von den vielen auf dem Markt befindlichen Systeme aus chirurgischer Sicht nur wenige in die engere Wahl. Die 3i-Systeme OSS (zylindrisch) und NT

(wurzelförmig) mit der bewährten Osseotite®-Oberfläche sind sowohl für den gelegentlich implantierenden Zahnarzt als auch für den routinemäßigen Einsatz in der chirurgischen Praxis aus meiner Sicht bestens geeignet. Aufgrund der enormen Vielfalt in Länge und Durchmesser ist nahezu jede erdenkliche Situation zu bewältigen.

Da auch hier unterschiedliche Überweiser unterschiedliche Wünsche haben, möchte ich Sie auf ein Implantatsystem aus Deutschland aufmerksam machen, das die positiven Eigenschaften einiger altgedienter Systeme in sich vereint. Es heißt *ixx2®* (Fa. m+k). Das Reintitan-Implantatsystem zeichnet sich durch eine bemerkenswerte Gewindestruktur aus: Mittels des Schneidgewindes im apikalen Teil des Implantats wird das Gewinde in der Kavität präpariert. Im mittleren Bereich sorgt das Kompressionsgewinde für eine Verdichtung der Spongiosa und damit für eine maximale Primärstabilität. Das anschließende Extensionsgewinde kompensiert selbst etwaige Ungenauigkeiten im Vorgehen und schließt bündig mit der knöchernen Begrenzung ab. Der relativ lange Tubus in der Mitte des Implantats entlastet die Zentralschraube. Ein Innenoccta knüpft an den Innentubus an, sorgt für Rotationssicherung und ermöglicht die individuelle Positionierung von Aufbauten. Über den Innenoccta schließt ein Innenkonus die Verbindung von Implantat und Aufbau optimal bakteriendicht ab.

Bei Implantationen im augmentierten Bereich sollte man von reduzierten Systemen und Billiganbietern in jedem Fall Abstand nehmen. Es sind heute auch Implantationen in Bereichen möglich, welche die Pioniere als nicht versorgbar abgelehnt hätten. Es sollte trotzdem auch deutlich darauf hingewiesen werden, dass die interindividuelle Hartgewebssituation in Verbindung mit eventuell belasteter Anamnese und suboptimale Compliance bzw. Nikotinabusus etc. gelegentlich schwerer wiegen können als die Kunst des Operateurs.

Weiterhin sollte nicht vergessen werden, wie viele Zahnwurzeln das menschliche Gebiss bzw. die jeweils zu ersetzenden Zähne haben oder hatten. Es sollte

immer genau geprüft werden, ob weite Spannen und eine reduzierte Implantanzahl, die zwar chirurgische und zahnärztliche Kosten reduzieren, auch hinsichtlich einer guten Prognose des zu etablierenden Zahnersatzes und der Knochen-Augmentatphysiologie sinnvoll sind.

Fazit

Das Ziel vieler zahnärztlicher Hartgewebsrekonstruktionen ist die spätere Insertion eines Implantates. Bei optimaler Einheilung der KEM ist bei den genannten Produkten spanabhebende Bearbeitung, also die für ein Implantat notwendige Bohrung, problemlos möglich. Es wird für den niedergelassenen allgemeinärztlich tätigen Kollegen immer einfacher, zwischen einer Füllungstherapie und einer Präparation auch eine rekonstruktive Maßnahme durchzuführen. In jedem Fall muss chirurgische Sorgfalt walten. Ein Augmentat oder eine Rekonstruktion kann nur dort erfolgreich sein, wo saubere, blutende Hart- und Weichgewebe im erforderlichen Umfang den Defekt umgeben. Die Industrie bietet hervorragende Produkte an, die dies prinzipiell ermöglichen. Man wird vielleicht nie von dem einen und einzigen universal besten Material sprechen können, genauso wenig wie von dem einen einzigen Implantatsystem. Es gibt wie oben beschrieben unterschiedliche Ansätze in der Herstellung und Darstellung geeigneter Materialien.

Die Durchführung der Eigenknochenentnahme ist nur noch wenigen speziellen Situationen zwingend und damit eigentlich dem Chirurgen vorbehalten. Der Einsatz vom Tier stammender Produkte erübrigt sich angesichts des extrem hohen Niveaus der angebotenen synthetischen alloplastischen KEM.

Drei Praxisfälle

Fall 1

Die etwa 60-jährige Patientin stellt sich in meiner Ambulanz vor, weil ihr Zahnarzt die Zähne im Unterkiefer nicht mehr stabilisieren konnte, was mir ebenfalls nicht möglich war (Abb. 1–11).



Abb. 1: Die postoperative röntgenologische Situation.

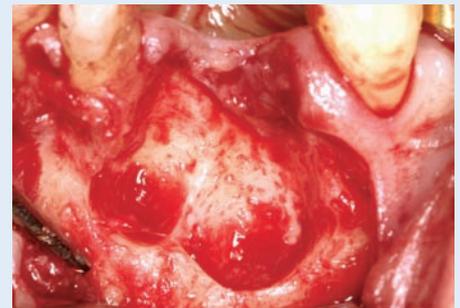


Abb. 2: Die Situation nach Entfernung der Zähne 32 und 33.



Abb. 3: Das Exzidat.



Abb. 4: Rekonstruktion mit etwa 1,5 ccm Cerasorb M.

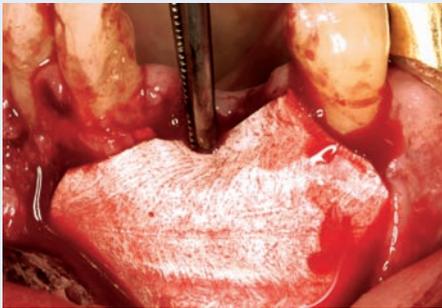


Abb. 5: Abdeckung mit resorbierbarer Epiguide-Membran.

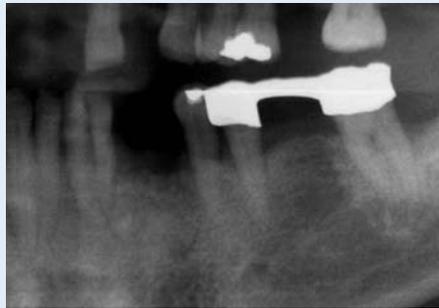


Abb. 6, 7: Postoperatives Röntgenbild und Kontrollröntgenneuaufnahme nach 3 Monaten.

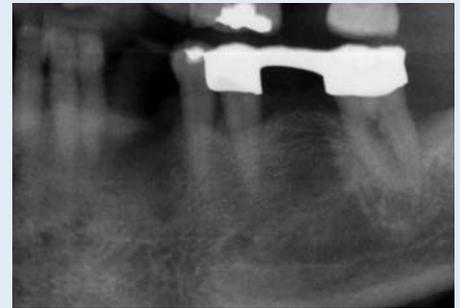


Abb. 7

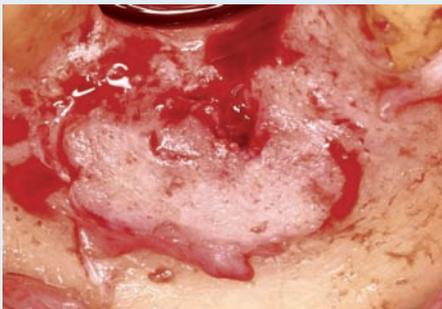


Abb. 8: Zwischenzeitlich wurde auch der Zahn 43 entfernt und der Defekt mit Cerasorb M rekonstruiert. Das neu gebildete Hartgewebe nach 6 Monaten.



Abb. 9: Richtungsindikatoren von 3i im Augmentat.

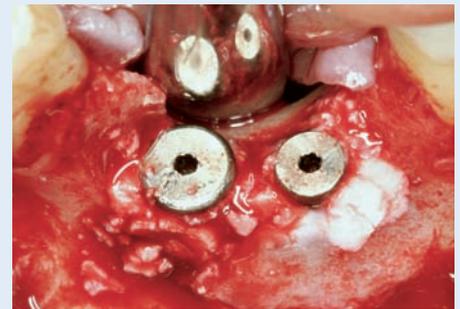


Abb. 10: 2 Implantate 3,25x15 von 3i/Implant Innovations, Typ: OSS, und Feinausgleich mit Ostim.

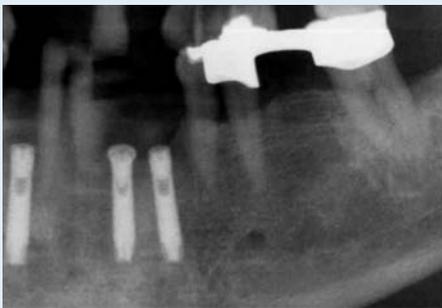


Abb. 11: Kontrollröntgenneuaufnahme nach 9 Monaten.



Abb. 12 u. 13: Die klinische Ausgangssituation.



Abb. 13



Abb. 14-16: Intraoperative Situation.



Abb. 15



Abb. 16

Fall 2

Die Patientin stellte sich in meiner Ambulanz mit massiven Beschwerden der OK-Front rechts vor. Es stellte sich nach primär antibiotischer Therapie ein zerstörter umfangreich beherdeter Zahn 12 und ein devitaler Zahn 13 dar (Abb. 12–20).

Fall 3

Eine ungefähr 35-jährige Patientin stellte sich in meiner Zuweisung in der Implantatsprechstunde vor mit dem Wunsch, die Zähne 11 und 21 mittels einer Sofortimplantation ersetzt zu bekommen (Abb. 21–28).

Die Literaturliste kann unter www.spitta.de, Zeitschrift ZMK, Literaturlisten abgefordert werden.



Abb. 17: Das Exzidat.



Abb. 18: Orthograde Wurzelspitzenresektion 12 und 13.



Abb. 19: Rekonstruktion mit NanoBone. Achtung! Hier entgegen den Herstellerangaben trocken in den Defekt eingebracht zur besseren Kontrolle der aus dem Defekt initial zu erwartenden Blutmenge. Es muss ab dieser Defektgröße an zusätzliche Substitution von Venenblut gedacht werden. Bei keinem alloplastischen KEM darf ein Wundverschluss vor vollständiger satter Einblutung bzw. Durchtränkung erfolgen.



Abb. 20: Abdeckung mit resorbierbarer Epiguide-Membran.



Abb. 21: Postoperative Situation.



Abb. 22: Die klinische Ausgangssituation Zahn 11 mit Z. n. Stiftaufbau. Die Stiftkrone ist locker. Zahn 21 ist devital, beherdet.



Abb. 23: Die extrahierten Zähne.

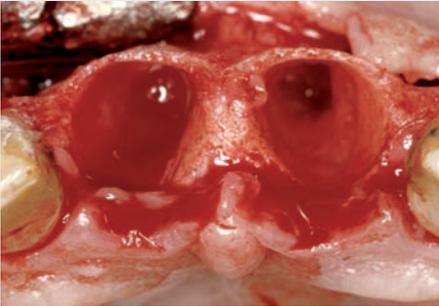


Abb. 24: Die Alveolen nach minimalinvasiver Extraktion.



Abb. 25 u. 26: Die inserierten Implantate 3,8 x 18 mm ixx2®. Man beachte die Inkongruenz zwischen Extraktionsalveole und Implantatumfang.



Abb. 26



Abb. 27 u. 28: Vollständiger Verschluss des Spaltraumes mit Ostim®.

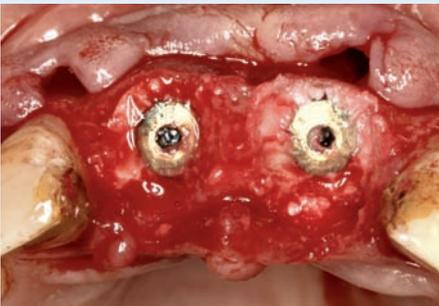


Abb. 28



Abb. 29: Postoperative Situation.

Korrespondenzadresse:
 Dr. Dr. Stefan Schermer
 Mariendorfer Damm 19-21
 12109 Berlin Tempelhof
 Tel.: 030 7079490-11
 Fax: 030 7079490-54
 E-Mail: Dr.Dr.Schermer@web.de
www.zahnchirurgie.com