

CHIRURGIE

Knochen aus dem Meer

Ob die Ratten mit ihren neuen Kieferknochen ein gutes Kaugefühl haben, darüber können sie nichts mitteilen. Aber es hat zumindest den Anschein. Rolf Ewers und Christian Kasperk, Kieferchirurgen an der Universität Kiel, sind mit dem Verlauf ihrer Implantations-Experimente jedenfalls sehr zufrieden: Die Ratten sind der lebende Beweis für die Theorie der Mediziner, daß sich Knochen durch ein aus Meeressalgen gewonnenes Material ersetzen lassen.

Im Laufe des letzten Jahres ist es Ewers und Kasperk mehrfach erfolgreich gelungen, ihren Knochenersatz aus dem Meer Ratten sowie Hunden einzupflanzen. Das Naturprodukt erwies sich als deutlich „bio-kompatibler“ als bislang verwandte synthetische Materialien.

Dadurch ermutigt, wollen die Forscher die „Algen-Knochen“ noch in diesem Jahr erstmals einem Menschen implantieren. Behandelt werden sollen Patienten, bei denen der Kiefer nach dem Verlust der Zähne geschrumpft ist. Deren Kieferkamm soll mit dem neuen Material jeweils soweit erhöht werden, daß eine Zahnprothese wieder sicher sitzen kann. Später sollen die Algen-Knochen auch zur „Konturverbesserung“ in der plastischen Chirurgie und zum Auffüllen von Knochendefekten verwandt werden.

Bereits seit einigen Jahren kennen Mediziner einen Knochenersatzstoff, der chemisch ähnlich zusammengesetzt ist wie menschliche Knochen und Zähne. Es handelt sich um ein Calciumphosphat mit der idealisierten Formel $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ – auch Hydroxylapatit-Keramik genannt. Doch der richtige „Chemis-

mus“ allein, so zeigte sich, ist noch keine Gewähr für hervorragende Bio-Kompatibilität.

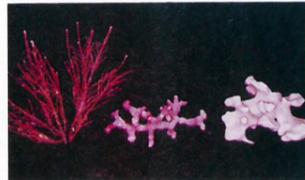
Der Grund: Echte Knochen sind stark porös. Die in nur einem Gramm enthaltenen Poren haben eine Oberfläche von 20 bis 100 Quadratmetern. Die Hydroxylapatit-Keramik hingegen ist solide und fest: Ein Gramm des Materials bringt es lediglich auf eine Gesamtoberfläche von 0,1 bis 0,3 Quadratmeter. Alle technischen Bemühungen, die Porosität des Stoffes zu erhöhen, sind bislang gescheitert.

Also beschränkt Christian Kasperk einen anderen Weg. Wo zu nach ausgefeilten Techno-

Tricks suchen, wenn die Natur bereits Lösungen bereithält, überlegte er sich – damals, als er noch Doktorand bei Rolf Ewers war. Bereits zuvor hatte er sich eingehend mit Algen-Gesellschaften im Helgoländer Felswatt befaßt. So war sein Vorschlag nur naheliegend, die feinen – hochporösen – Skelette der von ihm untersuchten Rotalgen als natürlichen Knochen-„Rohstoff“ zu nutzen. Die Idee war bestechend – und Ewers schnell überzeugt. Den beiden stellte sich jedoch folgendes Problem: Die Algen-Skelette bestehen aus Calcium-Carbonat. Sie müssen also in das chemisch

knochenähnliche Calcium-Phosphat umgewandelt werden – und zwar ohne die filigrane Architektur der Skelette zu zerstören.

Die Lösung fand, nach langwierigen Experimenten, der Kieler Mineraloge Bruno Simons. Sein Umwandlungs-„Rezept“: Man nehme Rotalgen und entferne durch Erhitzen auf 500 Grad Celsius deren organische Bestandteile. Dabei zerfällt ihr fünf bis zehn Zentimeter großes, bäumchenartiges Skelett in hirse- bis reisgroße Kügelchen. Deren Carbonatanteil wird mittels einer Phosphatlösung in das gewünschte Phosphat umgewandelt. Nun



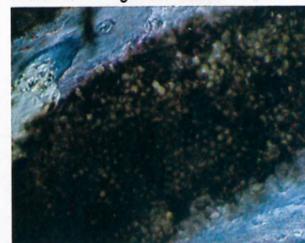
Rohstoff für Kunst-Knochen: Algen



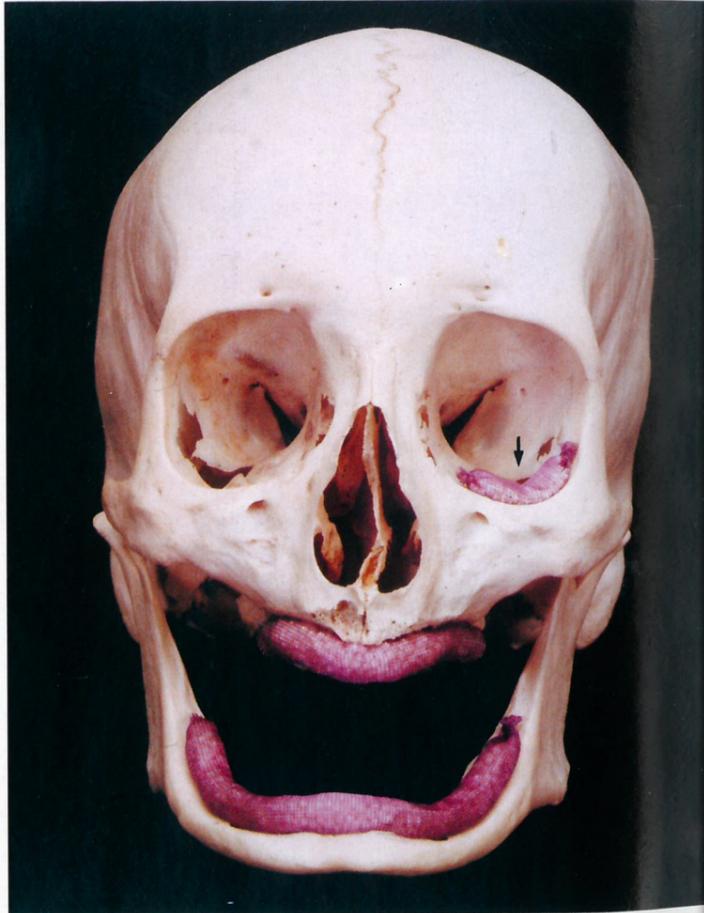
Algen-Granulat, 160fach vergrößert



Kiefer samt Algen-Ersatzteil



Innig verwachsen: Algen-Implantat und umliegendes Knochengewebe (blau). Der erhöhte Kiefer gibt »dritten Zähnen« Halt



muß das Granulat nur noch bei erhöhtem Druck und erhöhter Temperatur in die gewünschte Form gebracht werden.

Das Produkt, das den Ofen verläßt, ist ein Knochenersatz, wie ihn sich Ärzte schon lange wünschen: Es entspricht natürlichen Knochen nicht nur in der chemischen Zusammensetzung, sondern auch in der porösen Struktur. Ein Gramm der „Algen-Knochen“ hat immerhin eine Gesamtoberfläche von rund 50 Quadratmetern.

Wie wichtig die poröse Struktur für den Erfolg einer Knochen-Implantation ist, konnten Ewers und Kasperk bei ihren Experimenten mit den Ratten und Hunden beobachten: „Die Versuche“, so Ewers, „haben gezeigt, daß Knochen und Gefäße in die feinen Poren des Implantats hineinwachsen. Es ist dadurch wesentlich inniger mit dem natürlichen Knochen verbunden als herkömmliche Materialien.“

Tatsächlich wird die bislang verwandte Hydroxylapatit-Keramik beim Einheilen – mangels Poren – nicht von Knochengewebe durchdrungen, sondern nur umwachsen. Klar, daß die Kunst-Knochen da schlechter hielten.

LEGIERUNGEN

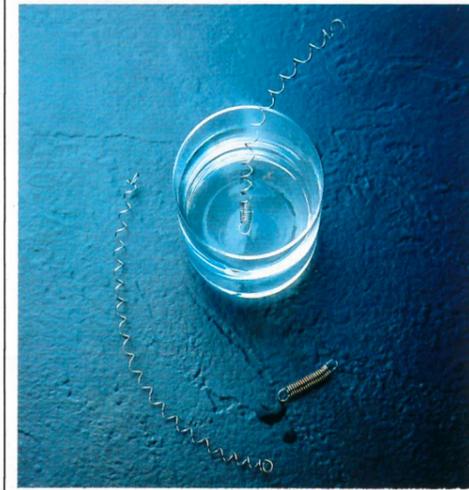
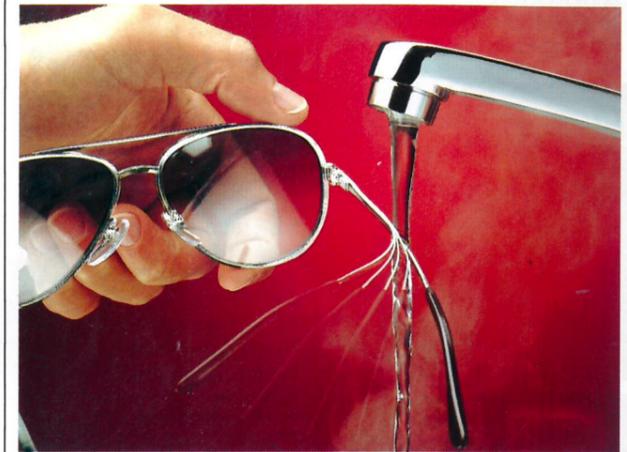
Brillenbügel mit Köpfchen

Gute Nachrichten für Liebhaber von Metallbrillen: Die Firma Beta Phase im kalifornischen Menlo Park hat einen Brillenbügel entwickelt, der sich an seine Form „erinnern“ kann. Wenn der mal verbogen wird, muß nicht erst umständlich ein Optiker in Anspruch genommen werden. Es reicht, heißes Leitungswasser über den Bügel strömen zu lassen – schon nimmt er, wie von Geisterhand ju-

stiert, wieder seine ursprüngliche Form an.

Solche Bügel bestehen aus „Nitinol“, einer Legierung aus Nickel und Titan. Dieses Material ist trotz hoher mechanischer Stabilität relativ leicht, und es ist ähnlich korrosionsbeständig wie Edelstahl.

ralfedern nehmen, gewaltsam in die Länge gezogen, wieder ihre ursprüngliche Form an, wenn sie in heißes Wasser getaucht werden. Flugzeugbauer und Militärs verwenden formerinnernde Legierungen schon seit längerem. Bislang jedoch war die



Fix in Form: Verbogene Brillenbügel und überdehnte Spiralfedern aus »formerinnernden« Legierungen nehmen in heißem Wasser erhitzt wieder ihre ursprüngliche Gestalt an

Die Biegeprozedur kann nach Angaben von Beta Phase millionenmal wiederholt werden, ohne daß Nitinol Ermüdungserscheinungen zeigt. Aus Nitinol lassen sich nicht nur Brillenbügel herstellen, auch Spiralfedern und spezielle Steckkontakte für elektronische Geräte. Auch die Spi-

Herstellung solcher Materialien für die breite Anwendung zu kostspielig. Dank eines effektiveren Produktionsverfahrens können die Kalifornier den Stoff jetzt vergleichsweise billig anbieten: Der Aufpreis für formerinnernde Brillenbügel beträgt 20 Dollar.

EVOLUTION

Duo für Frosch und Vogel

Jeder Tischredner kennt das Problem: Will er sich Gehör verschaffen, so schlagen Versuche, seine sich angeregt unterhaltenden Tischnachbarn mit lauter Stimme zu übertönen, nicht selten fehl. Klopft er jedoch gegen ein Glas oder läutet er mit einer Tischglocke, so kann er sicher sein: Die hellen, klaren Klänge durchdringen das allgemeine Stimmengewirr mühelos – trotz ihres vergleichsweise niedrigen Schallpegels.

Diesen „Tischredner-Trick“ machen sich in ähnlicher Weise auch einige Tierarten zuzunutzen, wie – unabhängig voneinander – zwei Zoologen bei Expeditionen in die nepalesische Himalaya-Region herausfanden.

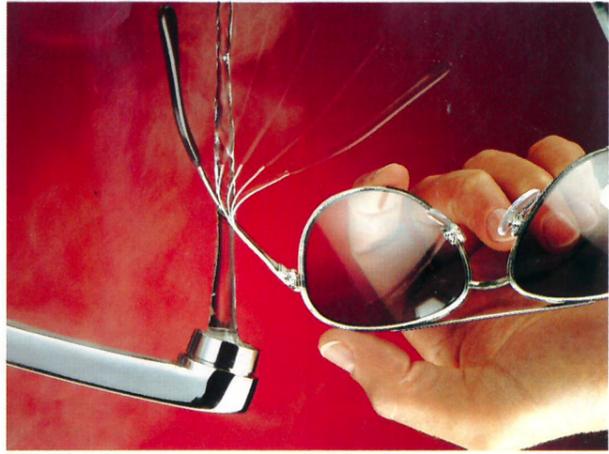
Der eine, Jochen Martens vom Institut für Zoologie der Universität Mainz, untersuchte den Gesang einiger dort heimischer Laubsängerarten. Dabei fiel ihm auf, daß die Männchen einer Art – es handelt sich um die in unmittelbarer Nähe tosender Wildbäche lebenden „Schluchtenlaubsänger“ – bei ihren Balzgesängen deutlich andere Töne anschlugen als ihre männlichen Artverwandten.

Um gegen das dumpfe Grollen der Wildwasser anzukommen, stießen die Schluchtenlaubsänger-Männchen rhythmische Folgen von jeweils fünf gellenden Pfiffen aus. Die Pfiffe klangen relativ rein und bedeckten – anders als die verwandter nepalesischer Laubsänger – einen nur sehr schmalen Frequenzbereich um fünf Kilohertz. Auf diese Weise konnten die Vögel – ähnlich wie die Glocke des Tischredners – den Lärm buchstäblich übertönen, und Martens vermochte sie selbst

Duo für Frosch und Vogel

in die Länge gezogen, wieder ihre ursprüngliche Form an, Solche Bügel bestehen aus „Nitinol“, einer Legierung aus Nickel und Titan. Dieses Material ist trotz hoher mechanischer Stabilität relativ flugzeugtauglich und Milittärs verwenden formtorniernde Legierungen schon seit längerem. Bislang jedoch war die

Jeder Tischredner kennt das Problem: Will er sich Gehör verschaffen, so schlagen Versuche, seine Stimme zu übertrahalten, scheitern. In der



Fix in Form: Verborgene Brillenbügel und überdehnte Sphärische

ausgestaltete, Jochen Martens vom Institut für Zoologie der Universität Mainz, unter ralfiedern aus suchte den Gesang einiger »formierbaren« Laubsängerarten. Dabei fiel ihm auf, daß die Männchen einer Art – es handelt sich um die in unmittelbarer Nähe tosender Wildläubsänger – bei ihren Balzgesängen deutlich andere Töne anschlugen als ihre männlichen Artverwandten. Um gegen das dumpfe Grollen der Wildwasser anzukommen, stießen die Schlichterlaubsänger-Männchen rhythmische Folgen von jeweils fünf klingenden Pfiffen aus. Die Pfiffe klangen relativ rein und bedeckten – anders als die verwandter nepalesischer Laubsänger – einen nur sehr schmalen Frequenzbereich um fünf Kilohertz. Auf diese Weise konnten die Vögel – ähnlich wie die Glocke des Tischredners – den Lärm buchstäblich überhören, und Martens vermochte sie selbst

Gerät an



Herstellung solcher Materialien für die breite Anwendung zu kostspielig. Dank einer Biegeprozedur kann nach Angaben von Beta Phase mittlerweile wiederholt werden, ohne daß Nitinol Ermüdungserscheinungen zeigt. Aus Nitinol lassen sich nicht nur Brillenbügel herstellen, sondern auch Spiralfeder und spezielle Steckkontakte für elektronische Geräte. Auch die Spi-

men zu lassen – schon nimmt er, wie von Geisterhand ju-

stert, wieder seine ursprüngliche Form an. Solche Bügel bestehen aus „Nitinol“, einer Legierung aus Nickel und Titan. Dieses Material ist trotz hoher mechanischer Stabilität relativ leicht, und es ist ähnlich korrosionsbeständig wie Edelstahl.

Die Biegeprozedur kann nach Angaben von Beta Phase mittlerweile wiederholt werden, ohne daß Nitinol Ermüdungserscheinungen zeigt. Aus Nitinol lassen sich nicht nur Brillenbügel herstellen, sondern auch Spiralfeder und spezielle Steckkontakte für elektronische Geräte. Auch die Spi-

men zu lassen – schon nimmt er, wie von Geisterhand ju-

stert, wieder seine ursprüngliche Form an. Solche Bügel bestehen aus „Nitinol“, einer Legierung aus Nickel und Titan. Dieses Material ist trotz hoher mechanischer Stabilität relativ leicht, und es ist ähnlich korrosionsbeständig wie Edelstahl.

Die Biegeprozedur kann nach Angaben von Beta Phase mittlerweile wiederholt werden, ohne daß Nitinol Ermüdungserscheinungen zeigt. Aus Nitinol lassen sich nicht nur Brillenbügel herstellen, sondern auch Spiralfeder und spezielle Steckkontakte für elektronische Geräte. Auch die Spi-

men zu lassen – schon nimmt er, wie von Geisterhand ju-

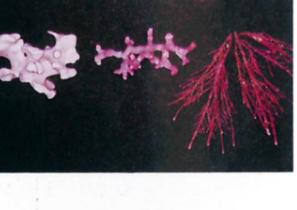
stert, wieder seine ursprüngliche Form an. Solche Bügel bestehen aus „Nitinol“, einer Legierung aus Nickel und Titan. Dieses Material ist trotz hoher mechanischer Stabilität relativ leicht, und es ist ähnlich korrosionsbeständig wie Edelstahl.

Knochen aus dem Meer

mus“ allein, so zeigte sich, ist vortragende Bio-Kompatibilität. Der Grund: Echte Knochen sind stark porös. Die in nur einem Gramm enthaltenen Poren haben eine Oberfläche von 20 bis 100 Quadratmetern. Die Hydroxylapatit-Keramik hingegen ist solide und fest: Ein Gramm des Materials enthält nur ein bis zwei Prozent Poren. Die Idee war bestechend – zehn Zentimeter großes, baumchenartiges Skelett in den beiden stellen sich jedoch und Ewers schnell überzeugt. Den beiden stellte sich jedoch

Ob die Ratten mit ihren neuen Kieferknochen ein gutes Kaugerät haben, darüber können sie nichts mitteilen. Aber es hat zumindest den Anschein, Rolf Ewers und Christian Kasperk, Kieferchirurgen an der Universität Kiel, sind mit dem Verlaufe ihrer Implantations-Experimente jedenfalls sehr zufrieden: Die Ratten sind der leibende Beweis für die Theorie der Medizin, daß sich Knochen durch ein aus Meeressalzen gewonnenes Material ersetzen lassen.

Im Laufe des letzten Jahres ist es Ewers und Kasperk mehrfach erfolgreich gelungen, ihren Knochenersatz aus dem Meer Ratten sowie Hundeneinzupflanzen. Das Naturojekt erwies sich als deutlich „bio-kompatibel“, als bislang verwandte synthetische Materialien. Dadurch ermutigt, wollen die Forscher die „Algen-Knochen“ noch in diesem Jahr erstmals einem Menschen implantieren. Behandelt werden sollen Patienten, bei denen der Kiefer nach dem Verlust der Zähne geschwunden ist. Deren Kieferkamm soll mit dem neuen Material jeweils soweit erhöht werden, daß eine Zahnprothese wieder sitzen kann. Später sollen die Algen-Knochen auch zur „Konturverbesserung“ in der plastischen Chirurgie und zum Auffüllen von Knochendefekten verwendet werden. Bereits seit einigen Jahren kennen Mediziner einen Knochenersatzstoff, der chemisch ähnlich zusammengesetzt ist wie menschliche Knochen und Zähne. Es handelt sich um ein Calciumphosphat mit der idealisierten Formel $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ – auch Hydroxylapatit-Keramik genannt. Doch der richtige „Chemis-



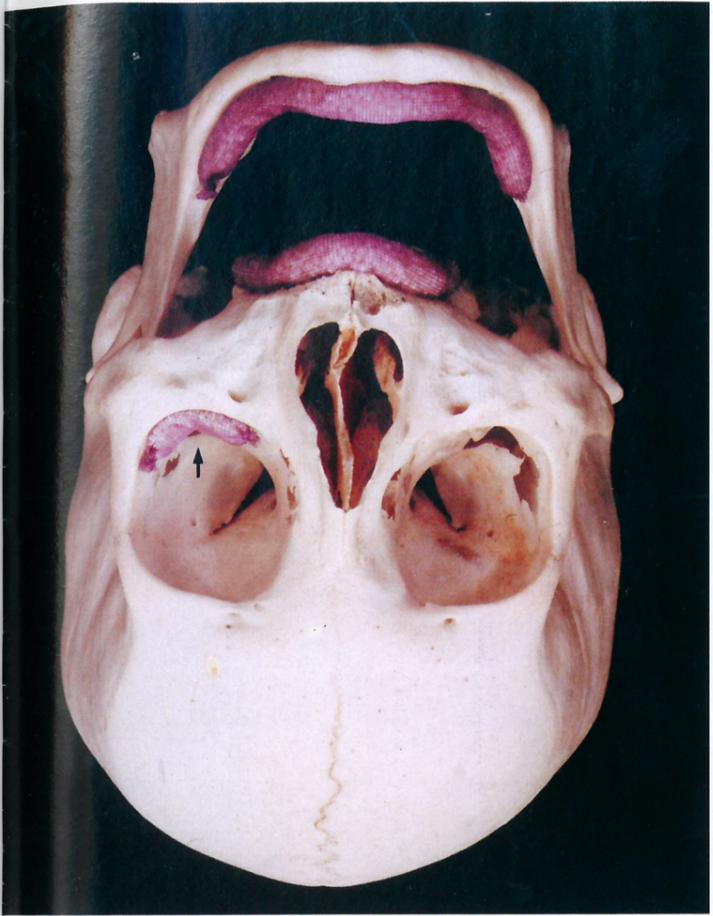
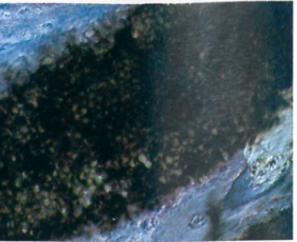
Rohstoff für Kunst-Knochen: Algen



Algen-Granulat, 160fach vergrößert



Kiefer samt Algen-Ersatzteil



Innig verwachsen: Algen-Implantat und umliegendes Knochengewebe (blau). Der erhöhte Kiefer gibt »dritten Zähnen« Halt

Tricks suchen, wenn die Naturoknochenähnliche Calcium-Phosphat umgewandelt wird – und zwar ohne die filigrane Architektur der Skelette zu zerstören. Bereits zuvor hatte er sich eingehend bei Rolf Ewers war. Bereits im Helgoland-Felswart betafelt. So war sein Vorschlag nur nach „Rezept“: Man nehme Rotalgen und entferne durch Erhitzen auf 500 Grad Celsius deren organische Bestandteile. Dabei zerfällt ihr fünf bis zehn Zentimeter großes, baumchenartiges Skelett in hirse- bis reisgroße Kügelchen. Deren Carbonatanteil wird mittels einer Phosphatlösung in das gewünschte Calcium-Carbonat. Sie müssen also in das chemisch

Das Produkt, das den Ofen wünschenswert: Es ent-spricht natürlichen Knochen nicht nur in der chemischen Zusammensetzung, sondern auch in der porösen Struktur. Ein Gramm der „Algen-Knochen“ hat immerhin eine Gesamtoberfläche von rund 50 Quadratmetern. Wie wichtig die poröse Struktur für den Erfolg einer Knochen-Implantation ist, konnten Ewers und Kasperk bei ihren Experimenten mit den Ratten und Hunden beobachten: „Die Versuche“, so Ewers, „haben gezeigt, daß Knochen und Gefäße in die feinen Poren des Implantats durch wesentlich inniger mit dem natürlichen Knochen verbunden als herkömmliche Materialien.“ Tatsächlich wird die bislang verwendete Hydroxylapatit-Keramik beim Einheilen – mangels Poren – nicht von Knochengewebe durchdrungen, sondern nur umwachsen. Klar, daß die Kunst-Knochen da schlechter hielten.

LEGIERUNGEN

Brillenbügel mit Köpfchen

men zu lassen – schon nimmt er, wie von Geisterhand ju-