

Faszination

Ausbilden
direkt
am Baum
vegetus

Stärker als der Eiffelturm

Biophysiker versuchen zu verstehen, wie Knochen so stabil und gleichzeitig so anpassungsfähig sein können

Damit der Eiffelturm hält, muss alles stimmen - die Geometrie der Stahlkonstruktion, die Dicke der Träger und das verwendete Material. So ähnlich verhält es sich auch mit dem menschlichen Skelett, allerdings mit einer Besonderheit: Während der Eiffelturm seit über 100 Jahren unverändert steht, bauen sich Knochen ständig auf, ab und um. Der Trick dabei: „Knochen sind archisch aufgebaut. Jede Einheit besteht wieder aus kleineren Einheiten“, sagt Peter Fratzl vom Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam. Fratzl gehört zu einer Reihe von Biophysikern, die herausfinden wollen, weshalb sich der Knochen unterschiedlichsten Belastungen anpassen kann.

Was beim Eiffelturm die Stahlstreben sind, sind bei einem Wirbelknochen die Trabekel. Diese bis zu einem halben Millimeter dicken Fasern ziehen sich durch den Knochen, sodass er innen aussieht wie poröser Schaum. Dadurch machen die Trabekel ihn stabil - vorausgesetzt, dass sie selber halten. Und das wiederum hängt von den Fasern in ihrem Innern ab. Die kleinsten sind etwa 1000-mal dünner als die Trabekel selbst. Diese kleinsten Einheiten müssen

Faszination

Ausbilden
direkt
am Baum
vegetus

dehnbar und trotzdem steif sein. Beides ist notwendig. Der Knochen soll schließlich den Körper tragen, ohne zu verbiegen, aber auch Stöße auffangen, ohne zu brechen. Peter Fratzl hat untersucht, wie der Knochen das schaffen kann. Mit seinem Team aus der Abteilung Biomaterialien des Potsdamer Max-Planck-Instituts hat er dazu Truthahnsehnen gedehnt und in der italienischen Synchrotron-Strahlungsquelle Elettra mit Röntgenstrahlen durchleuchtet. Denn die Sehnen sind im Prinzip wie kleine Knochenfasern aufgebaut.

Das Hauptergebnis: „Die Sehnen sind lange nicht so homogen wie wir gedacht haben“, sagt Fratzl. Es zeigte sich nämlich, dass die Sehnen aus zwei Komponenten bestehen: Die eine ist dehnbar und belastbar, die andere fest und spröde, ähnlich wie Gummi und Keramik. Wenn ein Mensch hinfällt, wird der Stoß vom Knochen aufgefangen, indem sich Mikrorisse in den steifen Fasern bilden. Die dehnbaren Fasern aber bleiben intakt und halten den Knochen zusammen, bis er sich regeneriert hat.

Dieses ständige Reparieren und Regenerieren macht den Knochen zu dem, was Forscher „intelligentes Material“ nennen. Es passt sich der Belastung an. Wo sie hoch ist, wird viel neue Knochenmasse gebildet und wenig alte abgebaut. Diese Verbindung von Sensorik und Knochenwachstum ist eines der Rätsel, dessen Lösung zur Bekämpfung mancher Knochenkrankheiten beitragen könnte. Als Sensorzellen stehen die Osteozyten im Verdacht. Auf einzelne dieser Zellen hat es Christoph

B
a
u
m

Faszination

Ausbilden
direkt
am Baum
vegetus

Schmidt, Physiker an der Freien Universität Amsterdam, abgesehen - allerdings in kompakterem Knochenmaterial, wie es in Zähnen vorkommt. „Eine Theorie ist, dass die Osteozyten in kleinen Kanälen im Knochen sitzen. Wenn der Knochen belastet wird, drückt die Flüssigkeit durch diese Kanäle und stimuliert kleine Härchen, die sich an den Osteozyten befinden. Kalzium geht hinein und löst eine Kaskade aus, bei der ein Botenstoff erzeugt wird“, erklärt er. Der Botenstoff (es handelt sich um Stickstoffmonoxid) diffundiert durch den Knochen und setzt den Regelungsmechanismus bei den Zellen in Gang, die Knochen ab- und aufbauen. Doch wie die einzelnen Zellen zusammenarbeiten und wie der Regelmechanismus etwa durch Hormone beeinflusst wird, ist noch unverstanden. Markus Hartmann aus der Gruppe von Peter Fratzl wollte nicht warten, bis diese Frage geklärt ist. Er hat schon jetzt untersucht, wie sich die Trabekelnetzwerke im Wirbelknochen entwickeln und wie sie altern, wenn er unterschiedliche Regelungsmechanismen programmiert. In seinem Computermodell werden Trabekel in einem Knochen dort verstärkt, wo die Belastung hoch ist. Dadurch ergibt sich automatisch, was Mediziner beobachten: „Mit zunehmendem Alter wird das Trabekelnetzwerk dünner“, sagt Hartmann. „Die verbleibenden Trabekel aber werden dicker, sodass der Knochen immer noch gut hält.“ Wenn Hartmann allerdings den Regelmechanismus in seinem Modell abschwächt, passiert genau das, was auch bei

B a u m

Faszination

Ausbilden
direkt
am Baum
vegetus

Osteoporose beobachtet wird: Die Knochenmasse nimmt ab und die Bruchgefahr steigt.

So wichtig die Architektur des Trabekelnetzwerks ist, bei Knochenimplantaten kann sie nicht nachgebildet werden. Alexander Woesz, der ebenfalls in der Potsdamer Gruppe arbeitet, benutzt deshalb das Rapid Prototyping. Mit dieser Methode lassen sich im Labormaßstab kontrollierte Strukturen herstellen und auf ihre mechanische und biologische Eignung hin untersuchen. Das Ziel ist, Implantate an die Festigkeit der Knochenzellen anzupassen. „Zunächst wird dazu eine Struktur am Computer erzeugt“, sagt Woesz. Sie wird dann dreidimensional ausgedruckt, nur dass der Drucker statt Tinte Wachs spritzt. Die Struktur kann dann mit Keramik gefüllt und das Wachs entfernt werden. In Zukunft möchten die Wissenschaftler ein Modell entwickeln, mit dem sie im Voraus berechnen können, wie stabil eine Knochenstruktur ist. Das würde das Design der Implantate erheblich vereinfachen. Statiker wollen ja auch vor dem Bau einer Stahlkonstruktion wie dem Eiffelturm wissen, dass sie hält.

Michael Fuhs

Aus Süddeutsche Zeitung 30. März 2005

B
a
u
m