

Hochauflösende Nano-Computertomografie

Ein Team von Forschern der TUM, des Paul Scherrer Instituts (PSI) und der ETH Zürich hat ein neues Nano-CT-Verfahren entwickelt, mit dem es möglich ist, die Struktur- und Dichteänderungen von Knochen hochaufgelöst und in 3-D darzustellen

Osteoporose, auch Knochenschwund genannt, ist eine der häufigsten Erkrankungen des alternden Knochens: In Deutschland ist etwa ein Viertel der Bevölkerung über 50 Jahre davon betroffen. Bei den Patienten schrumpft die Knochensubstanz übermäßig rasch, damit steigt das Risiko für Brüche deutlich. In der klinischen Forschung wird Osteoporose bisher fast ausschließlich über die Messung einer allgemein verringerten Knochendichte bestimmt. Diese sagt jedoch wenig über die damit verbundenen und ebenso wichtigen lokalen Struktur- und Knochendichteänderungen aus. Franz Pfeiffer, TUM-Professor für Biomedizinische Physik und Leiter des Forscherteams, hat das Dilemma gelöst: „Mit unserem neu entwickelten Nano-CT-Verfahren ist es jetzt möglich, die Struktur- und Dichteänderungen des Knochens hochaufgelöst und in 3-D darzustellen. Damit kann man die der Osteoporose zugrunde liegenden Strukturänderungen auf der Nanoskala erforschen und bessere Therapieansätze entwickeln.“

Wissenschaftler machen Nanostruktur sichtbar

Pfeiffers Team hat bei der Entwicklung auf der Röntgen-Computertomografie (CT) aufgebaut. Hierbei wird der Körper mit Röntgenstrahlen durchleuchtet. Ein Detektor misst dabei unter verschiedenen Winkeln, wie

Link
www.physik.tu-muenchen.de/lehrstuehle/E17

viel Röntgenstrahlung jeweils absorbiert wird. Im Prinzip werden einfach Röntgenbilder aus verschiedenen Richtungen aufgenommen. Aus einer Vielzahl solcher Aufnahmen können dann mittels Bildverarbeitung digitale 3-D-Bilder des Körperinneren erzeugt werden. Die neu entwickelte Methode misst nun für jeden Beleuchtungswinkel nicht nur die gesamte vom untersuchten Objekt absorbierte Intensität, sondern auch die Teile des Röntgenstrahls, die in verschiedene Richtungen abgelenkt – in Physikersprache „gestreut“ – werden. Diese erzeugen für jeden Punkt ein Streubild, das zusätzliche Informationen über die genaue Nanostruktur liefert, da die Röntgenstreuung gerade auf aller kleinste Strukturänderungen sensitiv ist. „Da wir dabei sehr viele Einzelbilder extrem präzise aufnehmen und verarbeiten müssen, war bei der Implementierung des neuen Verfahrens die Verwendung hochbrillanter Röntgenstrahlung und schneller, rauscharmer Pixel-Detektoren besonders wichtig – beides steht an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz (SLS) zur Verfügung“,

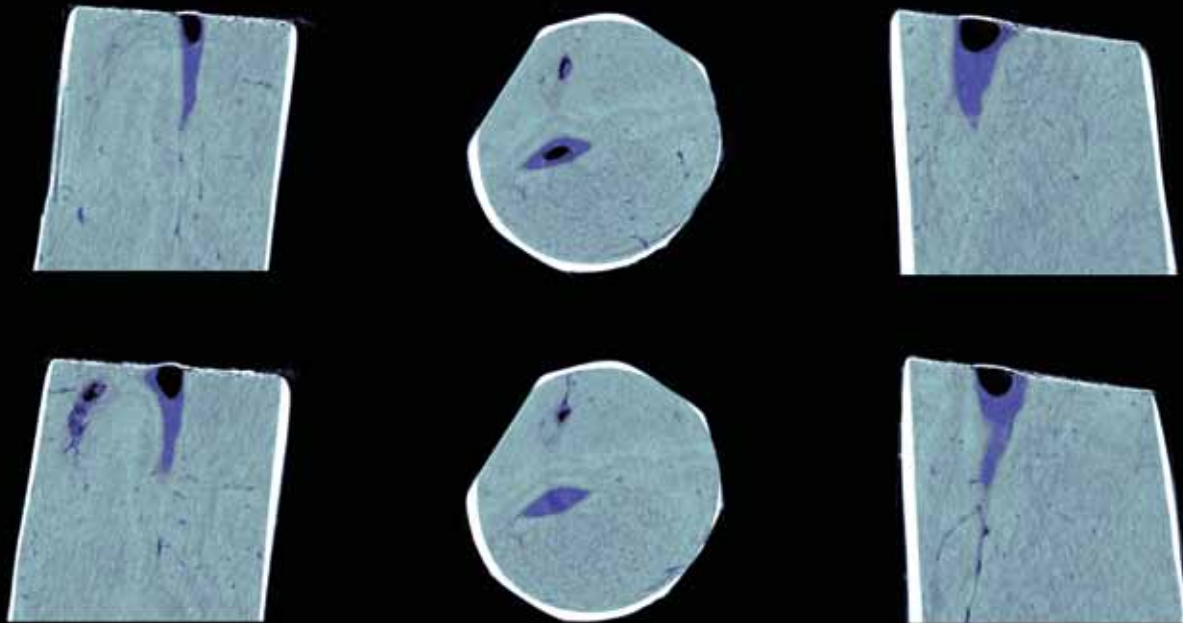


Bild: TUM

Die ersten Nano-CT-Aufnahmen einer Knochenprobe mit einem Durchmesser kleiner als ein menschliches Haar (ca. 25 Mikrometer). Deutlich zu sehen sind Querschnitte durch Osteozyt-Lakunen, also Hohlräume, in denen knochenerhaltende Zellen (Osteozyten) eingebettet sind (im Bild blau), und deren rund 100 Nanometer feines Verbindungsnetzwerk (Kanalikuli)

so Oliver Bunk, der an der vom schweizerischen PSI betriebenen Synchrotronlichtquelle den entsprechenden Experimentierplatz mit aufgebaut hat.

Die Streubilder werden anschließend mit einem Algorithmus verarbeitet, der von dem Team entwickelt wurde. TUM-Forscher Martin Dierolf erklärt: „Wir haben einen Bildrekonstruktionsalgorithmus entwickelt, der aus den über 100.000 Streubildern ein hochaufgelöstes dreidimensionales Bild der Probe errechnet. Dabei berücksichtigt der Algorithmus nicht nur die klassische Röntgenabsorption, sondern die wesentlich sensitivere Beeinflussung der Phase der Röntgenwellen.“ Exemplarisch wurde mit der neuen Technik die mit 25 Mikrometern härchenfeine Knochenprobe einer Labormaas untersucht – mit überraschend exakten Ergebnissen. Die sogenannten Phasenkontrast-CT-Aufnahmen stellen selbst kleinste Dichteunterschiede in der Knochenprobe extrem genau dar: Querschnitte durch Hohlräume, in denen Knochenzellen eingebettet sind, und deren rund 100 Nanometer feines Verbindungsnetzwerk sind gut erkennbar.

„Das neue Nano-CT-Verfahren erreicht zwar nicht die Ortsauflösung, die derzeit in der Elektronenmikroskopie möglich ist, kann aber aufgrund des hohen Durch-

dringungsvermögens von Röntgenstrahlung dreidimensionale Tomografiebilder von Knochenproben liefern“, kommentiert Roger Wepf, Leiter des Elektronenmikroskopiezentrums (EMEZ) an der ETH Zürich. „Darüber hinaus zeichnet sich das neue Nano-CT-Verfahren durch seine hohe Genauigkeit in der Knochendichtebestimmung aus, welche gerade für die Knochenforschung von entscheidender Bedeutung ist.“ Mithilfe des Verfahrens wird man insbesondere die Frühphase der Osteoporose-Erkrankung genauer studieren sowie Behandlungserfolge verschiedener Therapien in klinischen Studien evaluieren können.

Aber die neue Technik ist auch außerhalb der Medizin sehr nützlich: Weitere Anwendungsfelder liegen in der Entwicklung neuer Werkstoffe in den Materialwissenschaften oder in der Charakterisierung von Halbleiterbauelementen. Schließlich lässt sich das Nano-CT-Verfahren auch auf neuartige, laserbasierte Röntgenquellen übertragen, so wie sie derzeit im Rahmen des Exzellenzclusters Munich-Centre for Advanced Photonics (MAP) und am neu bewilligten Großforschungsprojekt Centre for Advanced Laser Applications (CALA) auf dem TUM-Campus Garching bei München entwickelt werden. □