

Vom Hochhaus



Bild: Lang Hugger Rampp

Bauinformatiker helfen eigentlich Ingenieuren, Schwachstellen ihrer Bauten zu erkennen. Der Lehrstuhl für Bauinformatik an der TUM stößt nun für die Medizin neue Türen auf: Nicht nur Hausbauten, sondern auch Hüftoperationen sollen dank Computersimulationen deutlich präziser werden

Knallrot, tiefblau und dazwischen ein sattes Grün: Ist das wirklich ein Oberschenkelknochen da auf dem Bildschirm? Was im ersten Moment wie eine psychedelische Reise in die Zeit des Flower-Power wirkt, ist eine Spannungsanalyse des menschlichen Beins mit einer Hüftprothese. Die grellen Farben zeigen sogenannte Kraftströme, die im Inneren des Knochens wirken: Rot steht für Belastung, in den blauen Zonen wirkt weniger Druck. Das Bild ist ein Blick in die Zukunft der Medizin – möglich durch interdisziplinär angewandtes Fachwissen aus den Ingenieurwissenschaften.

Probleme schon früh erkennen

Solche bisweilen ungewöhnlichen Fächerkooperationen sind für Professor Ernst Rank von der TUM nichts Besonderes. Der 53-jährige Vizepräsident der TU steht mit seinem Forschungsansatz für fächerübergreifendes Arbeiten. Schon allein sein Lehrstuhl, die Bauinformatik, ist eine Synthese zweier Disziplinen: des Bauingenieurwesens und der Computerwissenschaften. Das Fach soll dazu dienen, den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks am Computer zu simulieren und Probleme, etwa bei der Statik oder beim Energieverbrauch, schon in der Planungsphase zu erkennen und zu beheben. Die Informatik ist eine sehr bewegliche Disziplin, die sich alle zehn Jahre neu erfindet. Rank: „Wir arbei-

Entschichtete Schemadarstellung eines Hochhauses

zum Hüftgelenk

Link

www.inf.bv.tum.de

ten an der TUM heute mit Höchstleistungscomputern, um das vorwegnehmen zu können, was in zehn Jahren in jedem Ingenieurbüro möglich sein wird.“ Im Klartext: Superrechner, die heute einen Tanzsaal füllen, passen in zehn Jahren unter jeden Schreibtisch. Und damit rücken Anwendungen in greifbare Nähe, die früher nur wenigen spezialisierten Rechenzentren vorbehalten waren.

Von dieser Entwicklung profitiert auch das Forscherteam um Rank. Denn Rechenleistung war bisher die Hürde, an der effizientes Arbeiten im Computational Engineering oftmals scheiterte. Der Alltag in vielen Ingenieurbüros ließ sich in drei Kapitel einteilen: Eingabe eines Simulationsszenarios in den Rechner, stundenlanges Warten auf die Ergebnisse – und schließlich die Auswertung und Modellkorrektur. Dann begann das Spiel von neuem. Damit ist nun in absehbarer Zeit Schluss. Heutige Rechnetze und Höchstleistungscomputer sind erstmals so leistungsstark, dass sich die Zeit zwischen Eingabe neuer Daten und der Ausgabe der Ergebnisse selbst bei sehr aufwendigen Berechnungen nur noch in Sekundenbruchteilen misst. Jeder Arbeitsschritt ist nun ineinander verzahnt, die Grenzen zwischen Dateneingabe, Berechnung und Auswertung verschwimmen.

Das verändert nicht nur den Umgang mit dem Computer, sondern erfordert auch neue Programme. Unter dem Stichwort „Computational Steering“ – zu Deutsch: computergesteuertes Arbeiten – entsteht nun eine ▶



Bild: TUM und edlundsepp

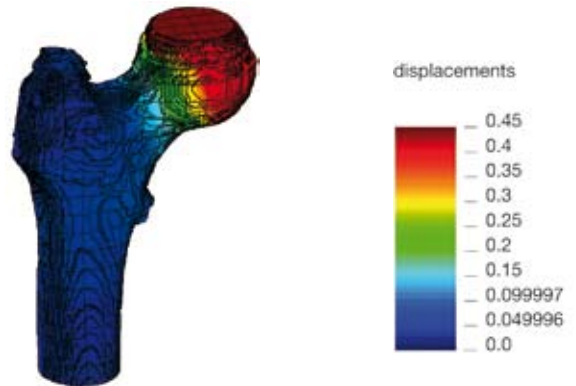
Entschichtete Schemadarstellung eines Knochens

Kräfte, die im Knochen wirken

Für die im Bauwesen beobachteten Kraftwirkungen sind, soweit die Statik und Dynamik der Tragwerke betroffen sind, vorab die **Gravitation** und daneben **Bewegungsänderungen**, welche durch **Wind-, Erdbeben-, Brems- und Fliehkräfte** erzeugt werden, verantwortlich. Die Materialfestigkeiten und Verformungseigenschaften aller metallischen, mineralischen sowie organischen Baustoffe werden durch deren molekularen Aufbau bestimmt.

Jede auf einen Körper einwirkende Kraft erzeugt zwingend eine Gegenkraft (3. Newton'sches Gesetz). Sobald diese Kraft nicht in eine Bewegung umgesetzt werden kann, wirkt die Kraft auf den Körper und beansprucht diesen durch **Druck-, Zug-, Spannungs- oder Torsionskräfte**.

Diese Erkenntnisse sind auf alle Disziplinen, Materialien und Bausteine übertragbar.



Berechnete Verformungen eines Oberschenkelknochens

Generation von Programmen, die Veränderungen an bisweilen sehr komplizierten Modellen sofort sichtbar machen. Diese Möglichkeit will nun das Team um Ernst Rank für ein ganz anderes Forschungsfeld als das Ingenieurwesen ausnutzen – nämlich für das der Medizin. Die Grundidee, die die Forscher leitet, heißt: Eine der Kernaufgaben der Bauinformatik, die Berechnung von Belastungen in Gebäuden, könnte auch bei Operationen an menschlichen Knochen helfen, präziser zu arbeiten.

Erprobung im OP rückt näher

Denn im Grunde ist das menschliche Knochenskelett nichts anderes als ein Baugerüst. Mit dem Alter nutzen sich einige seiner Bauteile stärker ab als andere – etwa Hüftgelenke. Wird nun ein künstliches Gelenk eingesetzt, kann wortwörtlich viel schiefgehen: „Laufen die Kraftströme im Körper falsch, kann sich Knochengewebe zurückbilden“, sagt Rank. „Dann muss nachoperiert werden.“ Mit Ranks neuer Technik können die Leiden für Patienten und die Kosten für Krankenkassen verringert werden. Mit ihrem Wissen aus dem Ingenieurwesen wollen Ernst Rank und seine Forscher eine Methode entwickeln, die anhand von Bildern aus der Computertomographie, kurz CT, schon während der Operation quasi in Echtzeit simuliert, wie der Körper des Patienten auf das neue Hüftgelenk reagieren wird. Dabei

reichen unterschiedliche Grautöne auf dem CT-Bild, um die Belastungsfähigkeit des Knochenmaterials vorherzusagen.

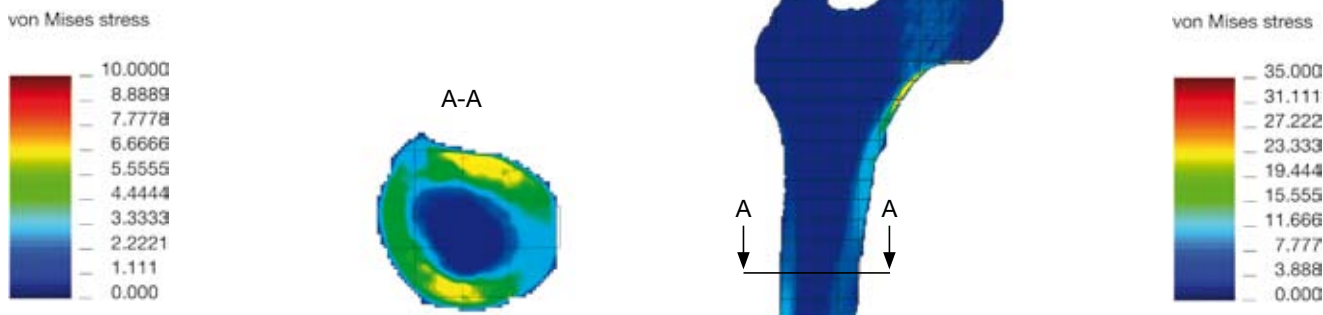
Da Knochen nicht unbedingt ein Fachgebiet der Bauinformatiker von der TUM sind, haben Rank und sein Team für die Realisierung des Projekts Partner in der Medizin gewonnen. Professor Reiner Gradinger vom Klinikum „Rechts der Isar“ in München liefert die medizinische Seite zu: Wie sehen Hüftprothesen aus? Welche Hürden gilt es bei einer Operation zu nehmen? Der Sportorthopäde hat alle Antworten auf medizinische Fragen parat. Zudem soll das Klinikum später das Versuchsfeld für das neue Programm stellen.

Bei der Analyse der Materialeigenschaften von Knochengewebe hingegen greifen die Münchner Wissenschaftler auf Ergebnisse des Biomechanikers Zohar Yoshibash von der Universität Beer Sheva zurück. Der israelische Forscher testet Knochenmaterial auf sein Verhalten unter Belastung – und liefert auf diese Weise wichtige Ergebnisse für die Simulationen am Bildschirm. So wird, einem Puzzle gleich, in enger Zusammenarbeit zwischen den Disziplinen die Vision vom Computer als idealem Prognostiker zusammengesetzt.

Versteckt hinter einer weißen Eisentür und den Büros des Lehrstuhls hat ein Teil dieser Zukunftsvision schon



3D-Simulation eines Knochens



Berechnete Von-Mises-Spannung eines Oberschenkelknochens

**Virtual-Reality-Umgebung:
Grafiken zum Greifen nah**

Manch einer kennt es aus dem Kino: Mit speziellen Brillen erwachen Filme und Bilder zum Leben und scheinen dreidimensional durch den Raum zu schweben – als ob man die dargestellten Objekte anfassen könnte.

Hinter der Produktion von 3D-Bildern steht eine Technik, die eine physiologische Besonderheit des menschlichen Sehvermögens ausnutzt. Zwei Projektoren werfen perspektivisch unterschiedliche, sich ergänzende Bilder auf eine Leinwand. Jedes der Bilder wird durch Folien vor den Projektoren auf unterschiedliche Weise polarisiert.

Wer eine Leinwand ohne Polarisationsbrille betrachtet, auf die ein solches 3D-Bild geworfen wird, erkennt nicht viel mehr als eine sehr unscharfe zweidimensionale Projektion. Denn in den Brillengläsern werden die polarisierten Bilder wieder getrennt: Jedes Brillenglas lässt nur eines der beiden Bilder durch. Sobald die zwei Bilder im Gehirn zusammengefügt werden, entsteht die Illusion eines dreidimensionalen Objektes, das zwischen Leinwand und Betrachter schwebt. *jf*

Wirklichkeit erlangt. Denn das Team von Ernst Rank hat in den vergangenen Jahren gemeinsam mit Wissenschaftlern um Prof. Westermann aus der Fakultät für Informatik Methoden entwickelt, die ein wichtiger Baustein für die Anwendung im OP sein werden. Hier, im ehemaligen Windkanal der Technischen Universität, werden zwar noch immer Strömungsverläufe der Luft simuliert – aber nur noch rein virtuell. Zwei Rückwandprojektoren und eine schnelle Netzwerkverbindung zum Bundeshöchstleistungsrechner im Leibniz-Rechenzentrum genügen, um den Lebenszyklus eines Gebäudes – oder eines Schenkelknochens – unter definierten Bedingungen in Echtzeit vorherzusagen. Die komplexen Berechnungen können schon heute mit den richtigen Programmen blitzschnell auf dem Bildschirm visualisiert werden, und das in drei Dimensionen. Das Ergebnis sind

nicht nur Bilder mit dreidimensionalen Perspektiven und Fluchten. Mit polarisierten Brillengläsern und zwei sich ergänzenden Projektionen, wie man sie aus 3D-Filmen kennt, wird das Bild zum Greifen nah. Es entsteht ein Raum im Raum: Virtuelle Objekte füllen scheinbar das Zimmer zwischen Betrachter und Leinwand (Kasten).

Eine beispielhafte Software – übrigens eine der ersten, die die Möglichkeiten der Virtual-Reality-Umgebung nutzen – erregte in den vergangenen Jahren das Interesse von Forschern und Unternehmen. Die Software, die aus mehreren Doktorarbeiten entstand, kann nicht nur Luftströmungen in Gebäuden berechnen, vielmehr können ganz im Sinne des „Computational Steering“ Geometrie oder Randbedingungen für die Strömung verändert werden – mit sofort sichtbarer Visualisierung der Ergebnisse. Blaue, grüne, gelbe, rote Fäden durchziehen den virtuellen Raum, zeigen die Strömungsgeschwindigkeit und ändern Farbe und Richtung mit jedem Mausklick. Genau mit Hilfe solcher Programme könnte in Zukunft auch die Knochensimulation für Orthopäden laufen. Die Anlage der TUM kostete vor zwei Jahren 20.000 Euro, und die Preise für die benötigte Technik fallen deutlich. „Zudem handelt es sich um eine einmalige Investition. Dem stehen die Kosten von Nachoperationen gegenüber. Volkswirtschaftlich gesehen wären Virtual-Reality-Umgebungen in OPs sehr rentabel“, sagt Rank und prognostiziert: „Wir werden ähnliche Systeme in zehn Jahren für alle möglichen Anwendungen in so manchen Operationssälen sehen.“

Computer und Projektoren gibt es – und der Zeitplan für die Entwicklung der Software steht. In drei Jahren wird das System im Klinikum „Rechts der Isar“ erprobt. Sechs Jahre von heute an könnte es bis zur Serienreife dauern. „Wir wissen, wie es geht und was zu tun ist. Jetzt“, so Rank weiter, „müssen wir es nur noch machen.“

Jonathan Fasel