



Link

[www.dhm.mhn.de](http://www.dhm.mhn.de)

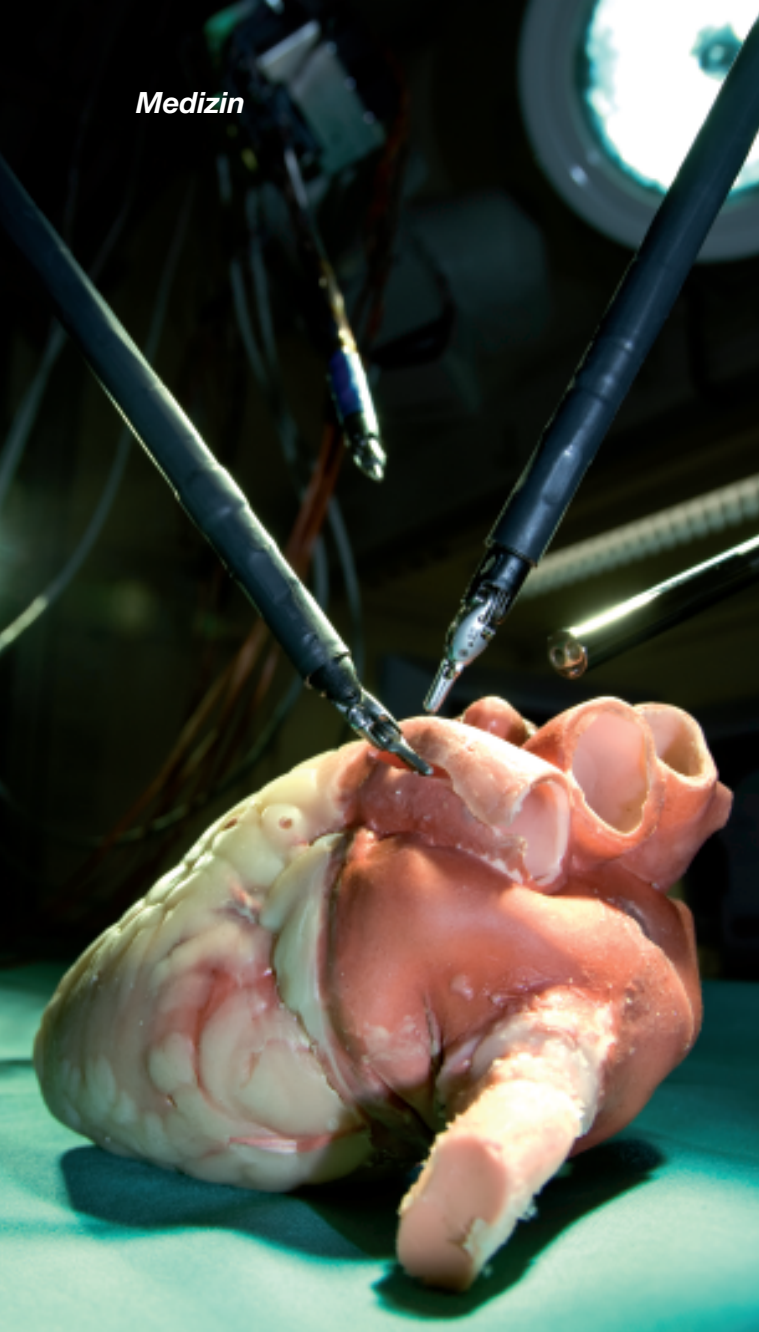
Foto: Stephan Yavira

# Ein Roboter mit viel Gefühl

Am Deutschen Herzzentrum München entwickeln Mediziner und Informatiker einen Roboter für endoskopische Herzoperationen. Der Clou: Er gibt den Ärzten Rückmeldung darüber, wie sich das Gewebe anfühlt, an dem er arbeitet







**Die Roboterarme des chirurgischen Telemanipulators**, der mit Tastsinn ausgestattet ist, werden über zwei Bedienelemente gesteuert. Der Monitor gewährt den Operateuren 3D-Blick auf den OP-Situs – hier ein „Patientenmodell“. Der Operationsroboter ist eine Entwicklung des Deutschen Herzzentrums München mit dem Lehrstuhl Robotics and Embedded Systems der TUM im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 453

**Z**wei grelle Scheinwerfer werfen ihr weißliches Licht auf einen menschlichen Brustkorb aus Plastik. Auf der linken Seite des Modells sind die Nachbildungen von Rippen zu sehen. Durch die Hohlräume ragen vier lange Stäbe ins Innere des Plastik-Brustkorbes. Sie zielen auf ein Herz aus Kunststoff, das täuschend echt aussieht.

Zu sehen ist diese Szenerie in einem der Forschungslabore der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie am Deutschen Herzzentrum München (DHM) der TUM. Geleitet wird die Klinik von Prof. Rüdiger Lange. Schnell fühlt sich der Betrachter bei dem Anblick erinnert an eine Operationssituation, bei der ein Eingriff mit endoskopischen Methoden im Brustkorb vorgenommen wird.

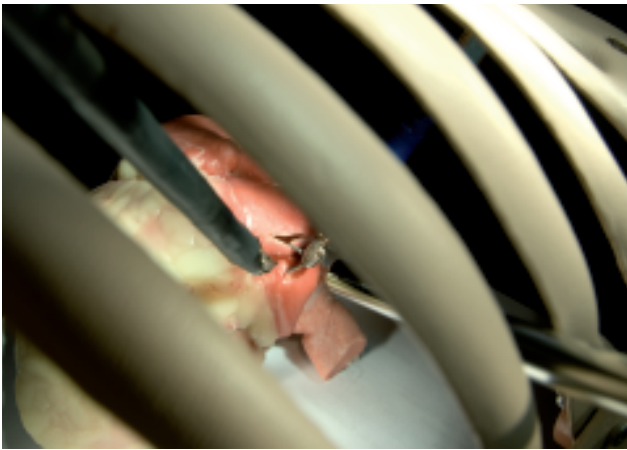
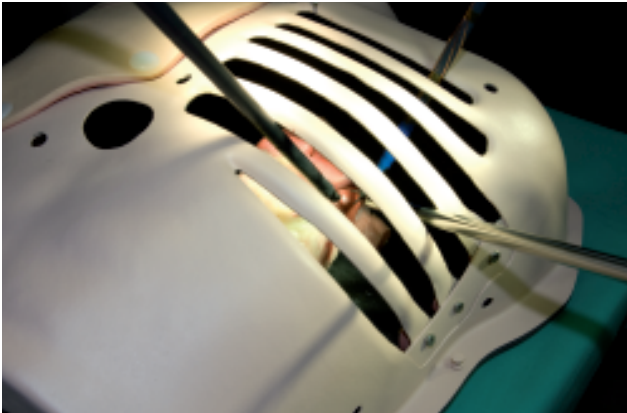
Doch es gibt einen entscheidenden Unterschied: Direkt am „Patientenmodell“ stehen keine Chirurgen oder Operationsschwestern. Statt der Ärzte am Operationstisch hängen über der Anordnung große weiße Roboterarme mit vielen Kabeln. Die Arme münden schließlich in den vier dünnen schwarzen Stäben. An drei dieser Stäbe sind kleine silberne Zangen angebracht, der vierte Stab ist eine endoskopische Stereokamera, die direkt das Plastikherz unter den Rippen im Fokus hat. „Wir entwickeln hier einen Telemanipulator, der künftig endoskopische Eingriffe am Herzen ermöglichen soll“, erklärt Dr. Eva U. Braun von der Klinik für Herz- und Gefäßchirurgie am Deutschen Herzzentrum München. Die Medizinerin ist Mitarbeiterin im Teilprojekt I4 des Sonderforschungsbereichs 453 der Deutschen Forschungsgemeinschaft

„Wirklichkeitsnahe Telepräsenz und Teleaktion“. Mit beteiligt an dem Vorhaben sind neben den Chirurgen des Herzzentrums auch die Informatiker des Lehrstuhls für Echtzeitsysteme und Robotik der TUM (Prof. Alois Knoll).

Operationsroboter sind in der Regel als Telemanipulatoren mit Eingabekonzole ausgelegt. Das auffälligste Merkmal dieser Technologie ist die Tatsache, dass der Chirurg nicht mehr direkt beim Patienten steht, sondern die Greifarme für den endoskopischen Eingriff von einem speziellen Arbeitsplatz ein paar Meter vom Operationstisch entfernt bedient. Über zwei Bedienelemente steuert der Operateur bei gleichzeitigem Blick in ein Kamerasystem die Instrumentenarme des Telemanipulators.

Zur Demonstration setzt sich Eva U. Braun an den Arbeitsplatz. Vor ihr ist eine Armlehne und ein großer schwarzer Kasten installiert. In dem Kasten befindet sich der Monitor, über den die Stereo-Endoskop-Kamera die Bilder vom Herzen überträgt. Auf dem Bildschirm zu sehen sind auch vier Greifarme, von denen die Medizinerin gleich zwei steuern wird. Zuvor setzt sie sich noch eine Polarisationsbrille auf, die ihr eine dreidimensionale Darstellung des Herzens über den Bildschirm ermöglicht.

Anschließend legt Eva U. Braun um ihre Daumen und Zeigefinger kleine Schlaufen mit Klettverschlüssen. Die Schlaufen sind wiederum an einer Mechanik für die Steuerung der Roboterarme befestigt. So werden die Fingerbewegungen der Medizinerin auf die kleinen Roboterzangen am Ende der Stäbe übertragen. Ebenso kann Braun durch die Bewegung ihrer Arme und ▶



die Drehung der Hände die Greifer des Telemanipulators nach vorne und nach hinten dirigieren, sie kreisen lassen und öffnen und schließen.

„Der Telemanipulator übt in diesem Modus keine selbständigen oder programmierten Bewegungsabläufe aus, der Chirurg hat zu jedem Zeitpunkt die Kontrolle über das Gerät und dessen Instrumentbewegungen“, erklärt Braun während sie ihre Hände rotieren lässt. Sofort reagieren die Greifarme vor ihr auf dem Monitor und führen exakt ihre Handbewegungen aus. „Wir können die Motorik des Handgelenks eins zu eins in das Operationsgebiet übertragen“, erläutert Braun weiter.

Erfahrungen mit Operationsrobotern hat man am Deutschen Herzzentrum München bereits zuvor gesammelt. Hier wurde im Jahr 2000 mit dem Telemanipulator „Da Vinci“ die weltweit erste totalendoskopische Mitralklappenrekonstruktion durchgeführt, bei der der Eingriff ohne Öffnung des Brustkorbes erfolgte. Die Mitralklappe funktioniert wie zwei Torflügel, die den Rückfluss des Blutes aus der linken Herzkammer in den linken Vorhof bei der Kontraktion verhindern.

Diese endoskopische Operation war jedoch nur für Patienten mit einfachen Klappenerkrankungen geeignet. Bei komplizierten Fällen, wie etwa bei einer Verkalkung der Klappen, war die Methode nicht geeignet. Dafür muss-

**Modell des menschlichen Brustkorbes aus Plastik.** Durch die Zwischenrippenräume ragen die endoskopischen Instrumente und die Stereokamera des Telemanipulators direkt auf das Herz

ten die Mediziner den Brustkorb des Patienten weiterhin öffnen. Insgesamt war man damals mit dem System nicht zufrieden.

### Tastsinn für den Telemanipulator

Wie bei dem Operationsroboter „Da Vinci“ fehlt den heutigen Telemanipulatoren in der klinischen Anwendung noch eine ganz entscheidende Fähigkeit: das Feingefühl. Zwar filtern die Roboter elegant jegliches Zittern der Hände aus dem Bewegungsablauf heraus, doch keines der Assistenzsysteme ist bisher fähig, Tastsinn zu entwickeln und ihn auf die Hände des Chirurgen zu übertragen.

So ist es den Medizinern nicht möglich, veränderte Strukturen, wie zum Beispiel Kalk oder verhärtetes Gewebe, sowie Kollisionen der Instrumente untereinander zu spüren. „Die Chirurgen mussten daher, z.B. bei Da Vinci, während des Eingriffs am Herzen alle Eindrücke wie Bewegung, Kollision oder Deformation im dreidimensionalen Bild visuell kompensieren“, erläutert Eva U. Braun.

Doch mit der neuen Technologie, die die Mediziner gemeinsam mit den Informatikern am Deutschen Herzzentrum München entwickeln, könnte sich das bald ändern. Zur Demonstration nimmt Eva U. Braun mit den Greifarmen auf dem Operationstisch eine Nadel und einen Faden auf. Sie sticht die Nadel in das Plastikherz unter den Rippen und zieht den Faden straff. Sobald der Faden gespannt ist, verspürt die Medizinerin einen Widerstand. „Wir konnten bereits die Erfassung von Kräften auf den Roboter übertragen“, erklärt Eva U. Brauns Kollege Dr. Hermann Mayer. Er arbeitet als Informatiker an dem Projekt. Gleich neben dem Arbeitsplatz für den Chirurgen steht Mayers Computer. Dort tüftelt er an der Programmierung des Telemanipulators. Mayer ist es mittlerweile gelungen, den Telemanipulator individuell an den Chirurgen anzupassen. „Es gibt unterschiedliche Einstellungen, mit denen die Chirurgen arbeiten können“, sagt der Informatiker. So kann nun an dem Telemanipulator die direkte Übertragung der Kräfte 1:1, aber auch beliebig verstärkt auf der Benutzerseite stattfinden.



Die geeigneten Einstellungen ergaben sich aus einem umfangreichen Test, der zusammen mit dem Institut für Arbeitswissenschaften der Universität der Bundeswehr in Neubiberg durchgeführt wurde. Dabei wurden insgesamt 25 Herzchirurgen des DHM mit unterschiedlicher Erfahrung gebeten, den Telemanipulator zu evaluieren. Die Mediziner mussten mit den zwei Greifarmen chirurgisch Knoten, tasten und Nahtmaterial zerreißen. „Mit der Haptik konnten die Chirurgen sehr viel besser den Zeitpunkt des Reißens des Fadens erkennen als ohne die Rückkopplung“, resümiert Mayer. Braun fügt hinzu: „Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass mit Haptik Gewebe weniger stark zerstört wird.“

### **Eine Methode, die Patienten schont**

„Ein wichtiger Punkt bei den telemanipulierten Operationsverfahren ist die optimale Platzierung der Instrumenten- und Kamerazugänge zwischen den Rippen. Nur dann kann eine Operation am geschlossenen Brustkorb erfolgreich durchgeführt werden“, erläutert Professor Robert Bauernschmitt, der Leiter des Projekts im Sonderforschungsbereich am DHM. Minimalinvasive und endoskopische Operationsmethoden haben ein großes Potenzial für die Herzchirurgie, davon ist Bauernschmitt, der zugleich Chef der herzchirurgischen Forschungsabteilung am DHM ist, überzeugt.

Zum einen würde ein chirurgisches Assistenzsystem den Operateur in die Lage versetzen, menschliche Barrieren zu durchbrechen: „Ein solches System lässt sich auf unterschiedlichste Kraft- und Größenbereiche skalieren, überbrückt Distanzen und überwindet Beschränkungen

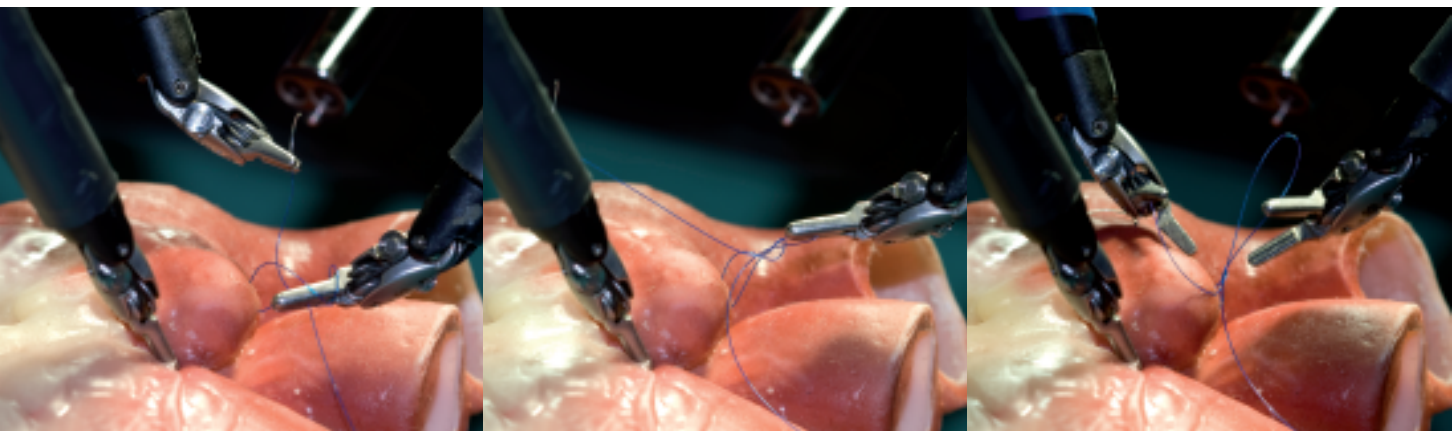
der räumlichen Zugänglichkeit im Operationsgebiet“, erläutert der Herzchirurg. Der zweite Vorteil ist für Bauernschmitt ein noch stärkeres Argument: Telemanipulatoren würden eine erhebliche Reduktion der Haut- und Gewebeeinschnitte sowie der Erholungszeiten der Patienten nach der OP ermöglichen.

### **Große Möglichkeiten für die Herzchirurgie**

Für die Zukunft will das Team eine weitere Verkleinerung der Instrumente und eine maximale Flexibilität der Telemanipulatorarme erreichen. So will man den Patienten in der endoskopischen Herzchirurgie ein breiteres Behandlungsspektrum anbieten. Neben der Mitralklappenrekonstruktion soll dann zum Beispiel auch der Ersatz der Aortenklappe möglich werden. Die Aortenklappe verhindert den Rückfluss des Blutes ins Herz.

„Die Möglichkeiten der minimalinvasiven und endoskopischen Techniken sind in der Herzchirurgie noch lange nicht vollständig genutzt“, so Klinikdirektor Prof. Dr. med. Rüdiger Lange. Würden die Techniken der endoskopischen Chirurgie mit assistierenden haptischen Manipulatoren und Instrumenten verknüpft, wären vielfältigere Indikationsspektren möglich und momentane Einschränkungen könnten überwunden werden.

Eva U. Braun ist gleicher Meinung: „In den nächsten zwei Jahren der Projektphase des SFB wollen wir mit unserem Telemanipulator erste reale Operationen am Schweineherzen durchführen“, sagt sie. „Letztendlich ist es unser Ziel, alle Operationen am Herzen endoskopisch durchführen zu können.“ *Thorsten Naeser*



**Die haptische Ausstattung des Telemanipulators hat sich in den Versuchen bewährt:** Das Gewebe wird weniger stark zerstört und beim chirurgischen Knoten treten weniger Fadenrisse auf