

# Das Navi für den Körper

Hier zählen Bruchteile von Millimetern: Minimal-invasive Operationen können nur dann erfolgreich sein, wenn der Arzt weiß, wo er sich befindet. Eine Kooperation von Siemens und TUM eröffnet Medizinern neue Einblicke

Link

<http://campar.in.tum.de>

**C**hirurgen geht es manchmal wie Autofahrern, die auf einer Straßenkarte den Weg durch eine fremde Stadt suchen. Bei so genannten Schlüssellochoperationen – minimal-invasiven Eingriffen – tasten sie sich mit Endoskopen, Kathetern und winzigen Bohrern durch kleine Öffnungen sachte in den Körper vor. Den Weg durch Knochen oder die verzweigten Blutgefäße der Leber sehen sie nicht direkt. Sie orientieren sich an einem abstrakten zweidimensionalen Bild auf dem Röntgenmonitor im Operationssaal.

Ganz so wie ein Autofahrer mit der guten alten – aber zweidimensionalen – Straßenkarte den Weg aus dem Wirrwarr bunter Striche herauslesen muss. Während Navigationsgeräte dem Fahrer längst sagen, wo es lang geht, gibt es für Chirurgen bislang kaum eingängige Orientierungshilfen, die vergleichbar einfach funktionieren. Doch die Lösung naht: Denn Informatiker der Technischen Universität München, Ärzte von Münchner Kliniken und Experten der Firma Siemens arbeiten in Kooperation an acht Projekten, die leicht bedienbare digitale Wegweiser für den OP hervorbringen werden. Das Ziel sind Systeme, die dem Arzt während minimal-invasiver Operationen ein dreidimensionales Bild des Körperinnern und der Instrumente geben – ohne ihn dabei mit Technik zu überfrachten.

Dr. Sandro-Michael Heining setzt das Skalpell an – zitterfrei, sicher. Er schneidet tief, legt einen Teil des Knochens frei. Heining greift zu einem winzigen Bohrer.

Jetzt geht es um Millimeter. Heining blickt zum Monitor neben dem Tisch, während ein leises Surren erklingt und seine Hände den Knochen bearbeiten. Grau ist im Röntgenbild der Knochen zu erkennen, die dünne Bohrer Spitze als heller Punkt. Dann kommt Farbe auf die Mattscheibe – ein buntes Videobild legt sich wie eine leuchtende Folie über das Röntgen-Grau. Heining hat eine Videokamera zugeschaltet, die denselben Ausschnitt des Beins und den Bohrer von außen aus der Vogelperspektive zeigt. Heining starrt konzentriert auf den Knochen am Bildschirm. Er setzt eine Schraube an, dreht. Sie sitzt auf Anhieb perfekt.

### Der Navigator für den Knochen

Sandro-Michael Heining ist Chirurg am Münchener Klinikum Innenstadt. Was er derzeit noch an Tierkadavern oder an Patienten-Dummys aus Kunststoff testet, soll in wenigen Monaten erstmals in klinischen Studien am Menschen eingesetzt werden – ein Navigations-Doppelpack, ein Orientierungssystem aus klassischem Röntgen-C-Bogen und einer aufgepflanzten Beobachtungskamera. CAM-C (camera augmented mobile C-Arm) heißt das von den Informatikern der TUM erdachte System. Für gewöhnlich orientiert sich der Chirurg bei orthopädischen Operationen oder beim Verschrauben komplizierter Brüche allein mit einem gewöhnlichen C-Bogen. Das ist ein schwenkbarer Halbkreis mit etwa zwei Meter Durchmesser. An diesem sitzt

### Bildgebende Verfahren in der Medizin

#### Röntgenaufnahme

Eine Röntgenuntersuchung kann Körperregionen und -gewebe als „Schattenbild“ darstellen. Der Körper des Patienten oder ein Teil desselben wird mit Röntgenstrahlung durchstrahlt. Auf der Gegenseite wird die Strahlung registriert und in ein Bild umgewandelt. Dieses zeigt die im Strahlengang liegenden Gewebe in der Projektion: Knochen absorbieren mehr Strahlung als Weichteile und werfen daher Schatten; luftgefüllte Gewebe wie die Lunge sind relativ durchlässig, so dass dahinter eine höhere Strahlenintensität registriert wird.

Da verschiedene Strukturen sich im Strahlengang überlagern, ist es oft hilfreich, Bilder aus unterschiedlicher Projektionsrichtung anzufertigen. Dennoch gehen bei der Röntgenaufnahme Informationen über die Dicke der Strukturen verloren. Diese erbringt die Computertomographie.

#### Computertomographie (CT)

Die Computertomographie erstellt viele Röntgenbilder aus unterschiedlichen Richtungen und rekonstruiert daraus die Volumeninformationen. In der Regel setzen sich diese 3D-Rekonstruktionen aus Einzelschnitten, die quer durch das Objekt verlaufen, zusammen. Auf diese Weise kann für jedes Volumenelement des Objektes eine Dichte ermittelt werden. Die CT-Aufnahme ist übersichtlicher als ein normales Röntgenbild. Dank der besseren Kon-

trastabstufung kann der Arzt verschiedene Gewebearten unterscheiden. Im Gegensatz zu Röntgenaufnahmen, die in der Regel nur aus einer Richtung gemacht werden, kreist die Strahlenquelle beim CT rund um den Körper. Auf dem Bild gibt es deshalb keine Überlagerungen von Gewebe. Moderne CT-Geräte schaffen die Umdrehung in 0,36 Sekunden.

Nachteil der Röntgendiagnoseverfahren ist die hohe Strahlenexposition, die bei der CT sogar noch deutlich höher ist als bei herkömmlichen Röntgenaufnahmen. Eine Alternative stellt die Magnetresonanztomographie dar.

#### Magnetresonanztomographie (MRT)

Die Magnetresonanztomographie (MRT) arbeitet mit Magnetfeldern und Radiowellen. Das Messverfahren beruht auf einer synchronen Anregung von Kernteilchen und der anschließenden Messung der Zeit, bis sie wieder in den Normalzustand übergehen. Dabei senden sie Signale aus. Ein Computer berechnet daraus ein Schnittbild. Im Gegensatz zur CT können bei der MRT neben horizontalen auch andere Schnittebenen dargestellt werden, ohne die Lage des Patienten zu verändern. Die Magnetresonanztomographie liefert sehr differenzierte Darstellungen von Körpergeweben, insbesondere Weichteile, Organe, Knorpel und Gehirn.

Tina Heun

eine Röntgenkamera, mit der man den Patienten von allen Seiten umkreisen kann. Der wird auf diese Weise aus verschiedenen Winkeln durchleuchtet.

Der Arzt kann damit auch jene Details erkennen, die in einer schlichten frontalen Röntgenaufnahme verborgen sind; durch einen gebrochenen Knochen verdeckte Splitter zum Beispiel. Wird es kompliziert, muss der Chirurg den C-Bogen Stück für Stück weiterdrehen und Röntgenaufnahme nach Röntgenaufnahme schießen. Komplizierte Brüche beispielsweise muss man gleich mit mehreren Schrauben richten: Die einen stoßen mitten durch den Knochen und halten ihn – und dann fixieren andere Schrauben die ganze Konstruktion.

Der Chirurg muss präzise arbeiten, damit Schraube exakt in Schraube greift. „Hat man nur das C-Bogen-Röntgenbild, drückt man häufiger auf den Auslöser, um sich zu orientieren“, sagt Heining. Entsprechend hoch ist die Strahlenbelastung für den Patienten – und den Arzt, der täglich im OP steht.

### Spicken statt Strahlen

Wo befindet sich die Spitze des Bohrers? Wie tief sitzt sie? Bohre ich im richtigen Winkel? Während der Operation schaut der Arzt ständig auf den Monitor. Ein ergänzendes Videobild kann da sehr hilfreich sein. „Es gibt bestimmte Eingriffe, bei denen das Videobild wichtige zusätzliche Informationen liefert – die Neigung des Instruments oder dessen Eindringtiefe.“ Der Vorteil: Der Arzt kann besser abschätzen, wo sich die Spitzen der Instrumente befinden und muss den C-Arm nicht ständig in eine neue Position schieben und Röntgenbilder schießen. Nicht zu vergessen: Die Röntgenbelastung sinkt erheblich.

CAM-C ist die goldene Mitte, wenn es um die Visualisierung von orthopädischen Eingriffen geht. Es füllt die Lücke zwischen dem klassischen Röntgen-C-Bogen und Hightech-Trackingsystemen. Dieses bestimmt mithilfe mehrerer im Raum aufgestellter Kameras exakt die Lage der Endoskope in der Hand des Arztes und errechnet daraus vollautomatisch die genaue Position der Endoskope im Körper des Patienten.

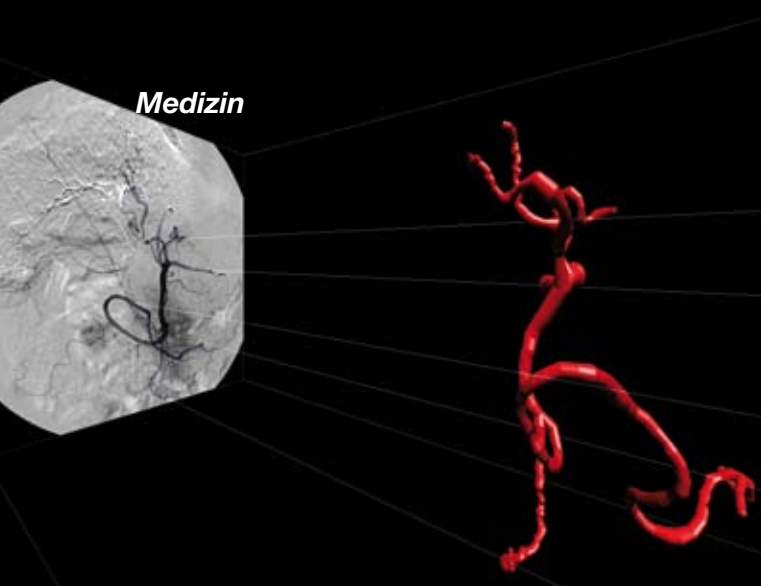
Solche Anlagen werden beispielsweise für Operationen der Wirbelsäule eingesetzt, bei denen es auf höchste Präzision ankommt. Sie müssen vor der Operation aufgestellt und aufwendig justiert werden. Eine zeitraubende Prozedur, die den Arbeitsablauf im Krankenhaus aufhält. CAM-C liefert einerseits mehr Information als der C-Arm und lässt sich andererseits schnell und einfach auf Knopfdruck bedienen. „Da CAM-C auf eine bestehende Technik aufsattelt, müssen die Ärzte nicht wie bei komplexen Medizintechnik-Geräten erst angeleitet werden. Jeder Chirurg kann das Gerät sofort benutzen“, betont Prof. Ekkehard Euler, Chef der Chirurgischen Klinik und Poliklinik am Klinikum Innenstadt.



**Sandro-Michael Heining zeigt** an einem mit Tüchern verdeckten Wirbelsäulennachbau aus Kunststoff die Funktionsweise des Cam-C-Systems. Röntgenbild und Videoaufnahmen werden auf den Monitoren im Hintergrund überlagert

Genau das ist das Ziel des Kooperationsprojektes: Hilfsmittel entwickeln, die die Kliniker in der Praxis schnell und unkompliziert einsetzen können. Echte Unterstützung statt Technikverwirrung.

Die Nähe zur Praxis kommt nicht von ungefähr. Die TUM-Informatiker arbeiten direkt vor Ort in den Kliniken – Tür an Tür mit den Ärzten im Operationssaal. So hat das CAM-C-Team im Innenstadt-Klinikum eigens ein Labor eingerichtet. „Normalerweise kann ein Mediziner nicht in medizintechnische Geräte hineinschauen“, sagt Heining. „Jetzt aber sitzen bei uns Informatik-Spezialisten, die Geräte direkt nach unseren Vorstellungen programmieren können.“ CAM-C – eine Röntgenkamera mit aufgepflanzter Video-Optik – das klingt nicht gerade nach einem Geniestreich. Doch der Teufel steckt im Detail. „Die Herausforderung bestand darin, das ▶



Das Bildgebungssystem **AngioReg** überlagert 3-D-Gefäßmodelle (rot, im Vordergrund rechts) mit 2-D-Röntgenaufnahmen der Blutgefäße. Der Eindruck erleichtert dem Arzt die Orientierung

Röntgen- und Videobild exakt zur Deckung zu bringen, damit beide wirklich denselben Ausschnitt zeigen“, erklärt Jörg Traub, Leiter des Teilprojekts CAM-C am Institut für Informatik der TUM. Registrierung nennt man eine solche Eichung auf ein gemeinsames Koordinatensystem. Probleme macht die unterschiedliche optische Verzerrung von Röntgen- und Videobild. Die Informatiker mussten zunächst also eine Software stricken, um dem System den Silberblick auszutreiben. Ansonsten ist die CAM-C-Software ausgesprochen schlank. Während der Operation müssen weder riesige Bilddaten noch andere Informationen hin- und hergeschoben werden. Die Genialität von CAM-C besteht in seiner Einfachheit.

### Genial, aber möglichst einfach

Ähnliches gilt auch für andere Teilprojekte der trilateralen Kooperation. Stets geht es darum, dem Arzt die alltäglichen Handgriffe mit wenig Technik zu erleichtern. Ein solches Projekt ist auch AngioReg.

AngioReg wird künftig bei der lokalen Behandlung von Lebertumoren zum Einsatz kommen – der Chemoembolisation. Bei einem solchen Eingriff schiebt der Mediziner einen mit Medikamenten beladenen Katheter über die Hüftarterie bis in die Leber. Hat er das Tumorgewebe erreicht, entlässt er das Medikament an Ort und Stelle. Dem Patienten bleibt damit eine Medikamenteneinnahme erspart, die mitunter den ganzen Körper schwächt. Doch die minimal-invasive Tunnelfahrt durch die Blutgefäße ist anspruchsvoll. Verzweigt sich ein Blutgefäß, muss der Mediziner die richtige Ausfahrt nehmen, um den Katheter ans Ziel zu bugsieren.

Auch bei diesem Eingriff hilft er sich in der Regel mit einem Röntgen-C-Arm. Die Operation wird dadurch erschwert, dass Blutgefäße im Röntgenbild nur dann im Detail zu erkennen sind, wenn dem Patienten ein reflektierendes Kontrastmittel gespritzt wird. Zwar ist das

Kontrastmittel nicht giftig. Dennoch belastet es den Körper zusätzlich. Ähnlich wie beim orthopädischen Eingriff muss der Arzt also während der Operation immer wieder die Position des C-Bogens verändern, neue Röntgenaufnahmen schießen und dem Patienten zudem hin und wieder Kontrastmittel spritzen, um die Position des Katheters und die Verzweigung der Blutgefäße richtig einzuschätzen.

Für diesen Spezialfall haben die TUM-Informatiker um Traubs Kollegen Martin Groher jetzt AngioReg entwickelt. Auch hier werden zwei Bilddatensätze miteinander verknüpft, registriert. Bild 1 liefert, wie gehabt, die Röntgenkamera. Bildinformation 2 stammt hingegen aus dem Datensatz eines Computertomographen (CT). Ein solches CT-Bild ist heutzutage Standard. Dazu wird der Patient noch vor der Operation in einer CT-Röhre gescannt.

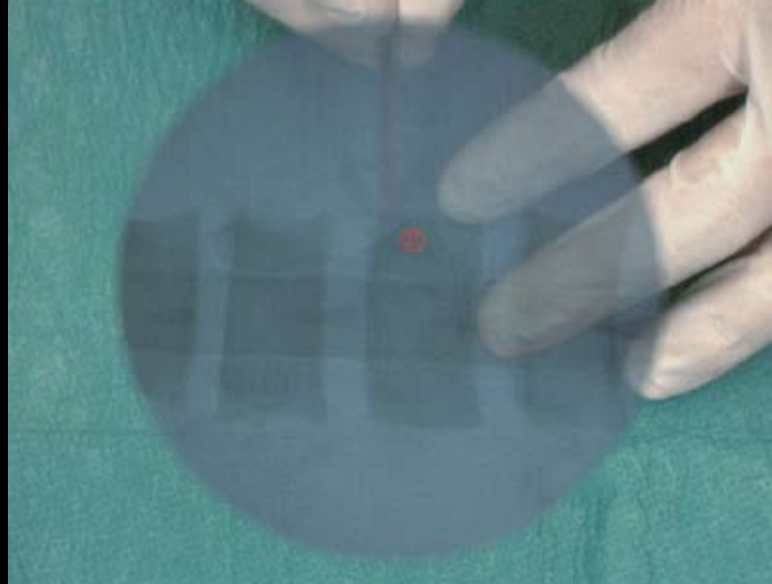
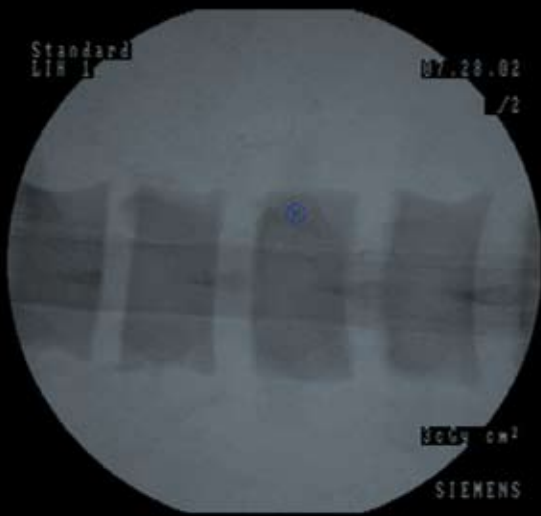
Ergebnis ist ein dreidimensionales Bild des betroffenen Körperabschnitts, das man am Computer aus allen Winkeln im Detail betrachten kann – in diesem Fall das Abbild des Blutgefäßgeflechts. Der Arzt plant an diesem CT-Modell den Eingriff. Während der Operation aber hilft ihm die schöne 3-D-Darstellung bisher wenig. Groher und seine Kollegen machen das jetzt möglich. Mit selbstentwickelter Software überlagern sie das aktuelle Röntgenbild mit dem bei der Voruntersuchung gespeicherten CT-Datensatz.

Der Clou: Das CT-Abbild richtet sich dank der Verknüpfung – Registrierung – automatisch nach dem aktuellen Röntgenbild aus. Der Arzt sieht auf dem Monitor die zweidimensionale Röntgenaufnahme, vor der das 3-D-Blutgefäßmodell schwebt. Statt den C-Bogen zu drehen, um damit um die Ecke zu schauen, dreht der Mediziner einfach den dreidimensionalen CT-Datensatz. Groher: „Der Mediziner kann so in manchen Momenten besser einschätzen, wo sich der Katheter befindet, ohne gleich Kontrastmittel spritzen zu müssen. Die Belastung für den Patienten verringert sich.“

### Selbst Störungen lassen sich herausrechnen

Eine Herausforderung sind derzeit noch die störenden Bewegungen des Patienten, etwa durch die Atmung oder die Bewegung des Darms, die die Lage der Blutgefäße kurzzeitig verändern können. Groher und seine Kollegen arbeiten bereits an speziellen Algorithmen, die diese Bewegungen aus den Daten herausrechnen können.

Wie Traub kooperiert auch Groher eng mit den Klinikern vor Ort – insbesondere mit Medizinern am Klinikum Großhadern. „Das Besondere dieses Kooperationsprojektes ist die intensive Zusammenarbeit von Spezialisten verschiedener Disziplinen – von Informatikern, exzellenten Medizinern und einem der führenden Medizintechnik-Unternehmen“, sagt Professor Nassir Navab, Inhaber des TUM-Lehrstuhls für Informatikanwen-



**Für gewöhnlich steht Chirurgen nur das abstrakte Röntgenbild (links) zur Verfügung.** Um zu erkennen, ob ein medizinisches Instrument in ihrer Hand die richtige Position zum Knochen hat, müssen sie während der Operation häufig neue Röntgenaufnahmen schießen. Nicht so mit Cam-C: Vor dem Eingriff legt der Chirurg die Eintrittsstelle des Instruments im Bild fest (Blauer Kreis mit Kreuz, Bild links)

dungen in der Medizin & Augmented Reality und geistiger Vater des Projekts.

#### **Die TUM liefert Wissen, die Wirtschaft Technik**

Weiterer Partner ist das Klinikum Rechts der Isar. „Die Mediziner haben im Alltag kaum Zeit für die Forschung. Dass unsere Fachleute direkt bei ihnen vor Ort arbeiten, erleichtert die Zusammenarbeit enorm und beschleunigt die praxisnahe Entwicklung.“

Mit Siemens, sagt Navab, sei ein Industriepartner im Boot, der nicht nur auf schnellen Gewinn schiele, sondern Interesse an einer langfristigen Entwicklung habe. „Wir entwickeln hier gemeinsam ja nicht die Technik von heute, sondern Technik, die vielleicht erst in zehn Jahren auf den Markt kommt.“

Für seine Mitarbeiter sei das Anreiz und Herausforderung zugleich. Dr. Rainer Graumann, bei Siemens Medical Solutions zuständig für den Bereich Special Systems, sieht das ähnlich: „Für uns bietet die Zusammenarbeit mit den Informatikern der TUM die Möglichkeit, ein Thema aus der Vorfeld-Entwicklung intensiv zu bearbeiten, von dem zunächst niemand weiß, ob es später auch tatsächlich in ein Produkt für den Markt münden wird.“

#### **Ein Tummelplatz für wissenschaftliche Talente**

Expertise für derlei Projekte einfach im eigenen Hause aufzubauen, so sind sich Firmenvertreter sicher, sei im Alltagsgeschäft schlicht nicht gut möglich. Auch aus diesem Grund pumpt das Unternehmen 1,2 Millionen Euro in die Kooperation. Neue medizintechnische Geräte gibt es gratis dazu. Auch der direkte Kontakt zu den Studenten ist Graumann wichtig: „Hier arbeiten viele Diplomanden und Doktoranden in engem Kontakt mit unseren Leuten. Es ist durchaus möglich, dass wir ihre Kenntnisse auch später in unserem Unternehmen brau-

chen können.“ Für die Studenten bietet die Zusammenarbeit damit vielleicht nicht gerade Arbeitsplatzgarantie aber sicher den richtigen Draht zu einem großen Technik-Unternehmen.

Graumanns Kollege in Erlangen, Dr. Klaus Klingenberg-Regn, der die Kooperation auf Siemensseite lange Zeit betreut hat, staunt vor allem über das Tempo der Forscher: „Die Einzelprojekte sind vor etwa vier Jahren, zum Teil sogar noch später gestartet. Es ist beeindruckend, wie viel man in Kürze erreichen kann, wenn sich eine universitäre Arbeitsgruppe mit vielen Experten einem solchen Thema widmet.“

Dazu zählt auch das Projekt „Stent“. Ende 2006 gestartet, gibt es schon jetzt erste Softwaremodelle, die künftig die Behandlung so genannter Aneurysmen, gefährlicher Ausbeulungen der Aorta, erleichtern sollen.

#### **Der nächste Schritt: Die Aorta stützen**

Aneurysmen sind Schwachstellen innerhalb der Aorta. Platzen sie, kann ein Mensch innerlich verbluten. Um den Druck auf die geschwächte Gefäßwand zu reduzieren und die Aorta zu stützen, schieben Ärzte „Stents“, kleine zylindrische Drahtgeflechte, in den betroffenen Abschnitt.

Dabei muss der Mediziner unbedingt vermeiden, dass Seitenäste und abgehende Gefäße verdeckt und blockiert werden. Die Informatikerin Stefanie Demirci hat dafür, ähnlich wie Groher, eine Software entwickelt, die CT-Datensatz aus der Voruntersuchung und C-Bogen-Bild passgenau überlagert. Auch hier geht es darum, die Zahl der Röntgenaufnahmen und die Gabe von Kontrastmittel zu reduzieren, indem man nicht den C-Bogen, sondern das CT-Bild dreht.

Der Mediziner soll damit künftig leichter durch die Aorta navigieren – wie der Autofahrer durch die engen Gassen einer Großstadt.

*Tim Schröder*