

## Im chirurgischen Cockpit

Von Veronika Hackenbroch

**Die archaische Handarbeit mit Skalpell und Säge gehört bald der Vergangenheit an. Computer, Infrarotkameras und Navigationssysteme leiten den Operateur, Roboter und Laser schneiden mit ungeahnter Präzision.**

Ein bekannter Chirurgenwitz geht so: "Warum tragen Chirurgen während der Operation einen Mundschutz? - Damit sie nach dem Schnitt nicht das Messer ablecken." Chirurgie, so viel steht fest, hat etwas Archaisches an sich.

Wörtlich übersetzt aus dem Altgriechischen ist der Chirurg ein "Handarbeiter". Und genau das sind Chirurgen tatsächlich: Sie schneiden mit Skalpell und Schere, sägen mit einem ganzen Sortiment an Sägen, benutzen mit Begeisterung Hammer und Meißel, Nadel und Faden, Schläuche, Klebstoff, Tacker, Klemmen, Schrauben und Nägel. Viele dieser Werkzeuge haben eine lange Tradition. Schon römische Operateure, zeigen Grabbeigaben, kannten die wichtigsten chirurgischen Instrumente von heute: Skalpell, Pinzette, Nadel und Faden.

Der typische Chirurg redet meist nicht viel mit seinen Patienten. Nur im Operationssaal, am OP-Tisch, kommt er ihnen nahe. Da taucht er seine Hände tief in den geöffneten Körper und benutzt mitunter auch seine Finger, um sich voranzutasten: Wo genau bin ich? Wo sitzt der Tumor? Wo muss ich weiterschneiden?

So war es bislang. Doch jetzt wird die Welt digital. Computerchips sitzen in jeder Supermarktkasse, Robotertechnik steckt in Kinderspielzeug, Lasertechnik in jedem CD-Spieler. In den achtziger und neunziger Jahren hat die Schlüssellochchirurgie bereits einen Teil der Operationen revolutioniert. Aber wie wird die Chirurgie der Zukunft aussehen?

Wird der Chirurg bald nicht mehr in den geöffneten Körper des Patienten, sondern auf ein virtuelles Körperbild auf einem Computerbildschirm blicken? Wird er, statt eines Skalpells, wie Luke Skywalker ein Lasermesser schwingen? Oder wird der Chirurg der Zukunft gar ein Roboter sein? Ja, selbst Millionen mikroskopisch kleiner Roboter in Nanogröße, die im Körper selbst die Operationen vornehmen, wären denkbar.

"Chirurgie wird technisch sein oder nicht erfolgreich sein", sagte Volker Schumpelick, Direktor der Chirurgischen Universitätsklinik Aachen, in seiner Eröffnungsrede zum diesjährigen Kongress der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie Ende April in München. Als Motto hatte Kongresspräsident Schumpelick "Humanität durch Technik" gewählt, als Logo einen Mikrochip.

Tatsächlich sprießen neue Entwicklungen im Bereich der Chirurgietechnik derzeit nur so aus dem Boden. Mehr als 15.000 medizintechnische Patente wurden 2006 in Deutschland angemeldet. 22 Milliarden Euro Umsatz machte die Medizintechnik-Branche voriges Jahr. Die wichtigsten Fortschritte, darin sind sich Experten einig, wurden im Bereich der Digitalisierung erzielt. Auch die Chirurgie ist dabei, digital zu werden.

"Jetzt, wo es Computer gibt, in denen Milliarden und Abermilliarden von Rechenschritten in weniger als einer Zehntelsekunde ablaufen können, ist die Digitalisierung der Chirurgie wirklich möglich geworden", sagt der Computerexperte Heinz U. Lemke, Organisator des Kongresses für Computerassistierte Radiologie und Chirurgie Ende Juni in Berlin. Schon heute, so Lemke, existierten zahlreiche Entwicklungen als Prototypen, in den nächsten 5 bis 15 Jahren würden voraussichtlich viele von ihnen Serienreife erreichen.

Der erste große Einsatzbereich digitaler OP-Technik ist dabei die genaue Planung der Operation am Computer. In der Hirnchirurgie, wo jeder Fehlschnitt schnell zur Katastrophe führen kann, ist dies schon länger üblich. Sonst aber lässt der Chirurg bislang vieles einfach auf sich zukommen.

Zwar wird der Patient vor der Operation unters Röntgengerät gelegt, durch den Computertomografen (CT) oder den Kernspinapparat geschoben, die Bilder werden im Operationssaal für alle gut sichtbar aufgehängt, und der Chirurg guckt sie sich in der Regel vor der OP auch gründlich an. Aber mehr als eine

grundsätzliche Vorstellung, wie die Operation verlaufen soll, gibt es zumindest bei komplizierteren Eingriffen, etwa Tumor-Operationen, in der Regel nicht. Vieles wird erst entschieden, wenn der Patient aufgeschnitten ist. Viel ist Erfahrung, manches Gefühl, einiges muss der Chirurg auch einfach ausprobieren.

Bei der computerassistierten Chirurgie hingegen wird die Operation vorher am Rechner millimetergenau simuliert. Wie ist die optimale Schnittführung? Wo lauern die Gefahren? Oder ist die OP vielleicht gar nicht möglich?

Software, die diese Fragen beantworten kann, wird beispielsweise in Bremen entwickelt, am Fraunhofer Institut für Bildgestützte Medizin. Der Leiter des Instituts, der Mathematiker Heinz-Otto Peitgen, wird von führenden Chirurgen auf der ganzen Welt geschätzt - vor allem als Experte für die Planung von Leberoperationen.

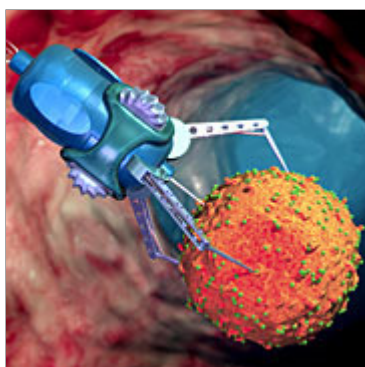
"Das große Problem bei diesen Operationen", erläutert Peitgen, der sich in der Medizin längst bestens auskennt, "ist, dass man einerseits genug von der Leber herausnehmen muss - etwa um einen Tumor vollständig zu entfernen oder wenn ein Teil der Leber als Lebendorgan gespendet werden soll. Andererseits muss genug von der Leber übrigbleiben, um den Patienten am Leben zu erhalten."

Das Heimtückische dabei: Die Leber wird von vier verschiedenen Gefäßbäumen durchzogen - den Leberarterien und -venen, die die Leber mit Blut versorgen, dem Pfortadersystem, das Nährstoffe zwecks Verstoffwechslung und Entgiftung vom Darm bis an die Leberzellen herantransportiert, und den Gallengängen, die die in der Leber produzierte Gallenflüssigkeit zur Gallenblase leiten. Schneidet man einen Teil der Leber heraus, durchtrennt man zwangsläufig auch diese Gefäßbäume - und alles Lebergewebe, das in den hinteren Versorgungsgebieten liegt, stirbt dabei mit ab.

Für Peitgen ist jede Leber-OP ein komplexes mathematisches Problem. Er hat eine Software entwickelt, die auf der Basis von CT-Bildern des Patienten ein dreidimensionales Leberbild für den Chirurgen errechnet, auf dem die bestmögliche Schnittführung für die jeweilige Operation eingezeichnet ist. Am Ende sieht es ganz einfach aus. "Aber dahinter", so Peitgen, "steckt so ziemlich die raffinierteste Mathematik, die man heute am Computer treiben kann."

### Die Technik assistiert im "chirurgischen Cockpit"

Leberchirurgie-Zentren aus der ganzen Welt schicken inzwischen CT-Bilder ihrer Patienten per E-Mail nach Bremen, damit dort die bestmögliche Schnittführung für sie ermittelt wird. Vor allem in Asien ist Peitgen bekannt, denn dort ist Hepatitis C sehr verbreitet, eine Krankheit, die häufig zu Leberkrebs führt. Und in Japan, wo keine Organe von Toten transplantiert werden, spenden stattdessen häufig lebende Menschen einen Teil ihrer Leber für Verwandte; auch bei dieser OP ist der richtige Schnitt entscheidend für den Erfolg. Der Bremer Service kostet zwischen 300 und 1000 Euro, je nachdem, wie kompliziert die OP ist. Inzwischen arbeitet Peitgen auch daran, Operationen an anderen Organen zu simulieren.



SPL / Agentur Focus

Zukunftstechnik: Ein Nanoroboter transportiert ein Medikament zu einer infizierten Zelle (Computersimulation)

Doch wie gelingt es dem Chirurgen, der die optimale Schnittführung auf dem Bildschirm präsentiert bekommt, diese Schnittführung auf dem echten Organ nachzuvollziehen? Freihändig aus dem Handgelenk, so viel steht fest, wird ihm das niemals millimetergenau gelingen. Längst werden deshalb Navigationssysteme entwickelt, die dem Operateur helfen sollen, sein Skalpell haargenau entlang der geplanten Route zu führen.

Ein Spezialist für das Chirurgen-Navi ist Tim Lüth vom Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik (Mimed) der Technischen Universität München in Garching. Stolz präsentiert Lüth auf der Homepage seines Instituts ein Foto, das Bundeskanzlerin Angela Merkel und Forschungsministerin Annette Schavan dabei zeigt, wie sie fröhlich lächelnd auf der Computermesse Cebit mit dem Münchner Navigationssystem eine Phantomleber operieren.

Die gängigste Methode, den Chirurgen sicher zum Ziel zu führen, erläutert Franz Irlinger vom Lehrstuhl Mimed, sei dabei die Überwachung der chirurgischen Instrumente mit einer Infrarotkamera. "Die Kamera steht neben dem OP-Tisch wie eine Stehlampe", erklärt er, "und erfasst die Lage der Instrumente im dreidimensionalen Raum." Möglich werde das, weil an jedem Instrument drei Glaskügelchen angebracht seien, die das Infrarotlicht reflektierten.

Auf dem Bildschirm kann der Chirurg dann sofort erkennen, ob er auch noch an der richtigen Stelle

schneidet. "Und wir können den Arzt zusätzlich noch mit einem Piepton warnen, wenn er vom Weg abkommt", sagt Irlinger, "oder sogar das ganze System so programmieren, dass sich in diesem Fall das elektrische Skalpell von selbst abschaltet."

Anwendung findet die chirurgische Navigation bislang vor allem in der Neurochirurgie, der Orthopädie, der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde und in der Zahnmedizin. Dort ist vieles einfacher, weil meist an harten Knochen operiert wird. Doch auch ein weiches Organ wie die Leber wurde bereits mit einem Prototypen-Navigationssystem erfolgreich operiert.

"Dabei", erläutert Markus Kleemann, Oberarzt am Universitätsklinikum Schleswig-Holstein in Lübeck, "überwachen wir die Leber mit einem Ultraschallgerät und können dort auf dem Bildschirm sofort erkennen, ob wir dem Plan entsprechend schneiden." Ab September soll in einer klinischen Studie überprüft werden, ob die navigierte Leberchirurgie der klassischen Technik tatsächlich überlegen ist. "In diesem Bereich sind wir auf dem Sprung in die kommerzielle Umsetzung", sagt Irlinger.

Inzwischen ist es, vor allem bei minimalinvasiven Operationen, sogar möglich, dem Chirurgen mit Hilfe einer Spezialbrille anatomische Strukturen in einer Art "aufgeladenen Realität", einer "augmented reality", farblich markiert erscheinen zu lassen. Diese visuelle Information soll das bei minimalinvasiven Operationen fehlende Tastgefühl ersetzen und die Orientierung erleichtern.

"All diese Entwicklungen", resümiert Computerexperte Lemke, "erinnern daran, wie in einem modernen Flugzeug-Cockpit Mensch und Computer eng verzahnt zusammenarbeiten: Auch im 'surgical cockpit', im 'chirurgischen Cockpit' assistiert die Technik, intelligent und vielfältig, sie hilft dem Chirurgen sehr - aber sie ersetzt ihn letztendlich nicht."

Doch warum eigentlich nicht, zumindest teilweise? Wenn die OP millimetergenau geplant und die Ausführung mit Detektoren genau überwacht werden kann - warum muss dann unbedingt noch eine menschliche Hand das Skalpell führen? Warum kann dies dann nicht auch ein Roboter erledigen?

"Genau das haben uns führende Medizintechnik-Firmen gefragt", sagt Gerd Hirzinger, Leiter des Instituts für Robotik und Mechatronik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen: "Warum soll man da noch mit der Hand rumzittern? Da sind Roboter doch viel besser!"

Die ersten Erfahrungen mit OP-Robotern waren allerdings ernüchternd. Patienten, denen mit dem "Robodoc" ein künstliches Hüftgelenk eingesetzt worden war, litten danach oft unter Schmerzen und Muskelkrämpfen. Bei der OP waren ihre Muskeln unnatürlich überdehnt worden, mitunter hatte der Roboter sogar den Knochen an der falschen Stelle aufgefräst.

Auch der OP-Roboter "DaVinci", eigentlich für minimalinvasive Herzoperationen entwickelt, war zunächst ein Flop. Die extrem langen OP-Zeiten machten das riesige Gerät für die Praxis unbrauchbar. Jetzt jedoch feiert DaVinci gerade ein furioses Comeback bei Prostata-Operationen und anderen Eingriffen im kleinen Becken - möglicherweise lassen sich durch ihn Nervenverletzungen in dieser sensiblen Region vermeiden.

"Roboter", sagt Hirzinger, "werden in Zukunft eine ganz entscheidende Rolle in der Chirurgie spielen. Weil Roboter Dinge tun können, die mit den Händen nicht möglich sind." Vor allem die minimalinvasive Chirurgie, glaubt Hirzinger, könnten sie schon bald revolutionieren. "Weil man mit den langen Instrumenten, die durch kleine Löcher in den Körper eingeführt werden, statt der natürlichen sechs Freiheitsgrade bei der Bewegung im Raum nur mehr vier Freiheitsgrade hat", sagt er, "wirkt klassisches und minimalinvasives Operieren oft wenig intuitiv, eher wie ein etwas unnatürliches Rumgefuchtel. Vor Chirurgen, die das, über den Patienten gebeugt und gleichzeitig auf das Endoskop-Display schauend, perfekt beherrschen, kann man nur größte Hochachtung haben." Durch den Einsatz von Roboterarmen jedoch ließen sich die zwei verlorenen Freiheitsgrade für die minimalinvasive Chirurgie zurückgewinnen.

Außerdem könnten Roboter das Zittern der Hand, ja sogar das Schlagen des Herzens wegfiltern. Und weil Roboter die Handbewegungen des Chirurgen skalieren, vor allem verkleinern könnten, sei mit ihnen auch Operieren an allerfeinsten Strukturen, etwa extrem kleinen Blutgefäßen, möglich.

### **Das ideale Material für das Skalpell der Zukunft ist Laserlicht**

In Oberpfaffenhofen wurde das Operationsrobotersystem "Mirosurge" entwickelt, mit dem immerhin schon kleine experimentelle Operationen an Modellen vorgenommen werden können. Mirosurge mutet wahrhaft futuristisch an: Der Chirurg sitzt im Anzug an einem Steuerpult, vor sich, auf einem Monitor, sieht er mit Hilfe einer Spezialbrille das Operationsfeld plastisch in 3D. In den Händen hält er zwei Steuerknüppel, mit denen er operiert. Seine Bewegungen übertragen sich auf drei kleine Roboterarme, die die minimalinvasiven Operationsinstrumente halten und sich damit, Aliens gleich, über den narkotisierten Patienten beugen.

"Der große Vorteil dieses Systems", sagt Hirzinger, "ist, dass anders als in der normalen minimalinvasiven Chirurgie die Bewegungen des Chirurgen wieder intuitiv sein können." Selbst so etwas wie das Gefühl tastender Finger will Hirzinger dem Chirurgen mit der Robotertechnik zurückgeben. Und für die Herzchirurgie hat er noch eine besondere Vision: die minimalinvasive Bypass-Operation am schlagenden Herzen. Die Roboter würden dabei einfach synchron im Takt des Herzschlags mitwippen - und der Chirurg könnte in aller Ruhe an dem für ihn dann scheinbar stillstehenden Herzen die Operation vornehmen.

Selbst der Einsatz von Nanorobotern, die im Körper selbständig Verletzungen reparieren oder Tumoren vernichten, scheint mehr als Phantasterei zu sein. Eine Krebstherapie mit Nanopartikeln, die "MagForce-Therapie", befindet sich immerhin bereits in der klinischen Erprobung: Winzige magnetische Nanoteilchen dringen dabei gezielt in den Tumor ein. In einem Magnetfeld werden sie erhitzt und sollen so das Tumorgewebe zerstören.

### **Roboter könnten Operationen am schlagenden Herzen erleichtern**

"Ein Riesenvorteil gegenüber der konventionellen Chirurgie", so der Nanotechnik-Experte Wolfgang Heckl, Leiter des Deutschen Museums in München und Mitglied des Aufsichtsrats der MagForce Nanotechnologies AG, "ist, dass ich nicht mehr darüber nachdenken muss, ob ich zu viel oder zu wenig wegschneide - der Tumor wird ganz gezielt zerstört."

Tatsächlich ist die Entwicklung chirurgischer Instrumente, die äußerst präzise arbeiten, auch außerhalb der Nanomedizin ein erklärtes Ziel der Medizintechnik-Entwickler. Wird die Operation schon millimetergenau geplant und wird diese Planung mit Hilfe eines Navigationssystems und Roboterarms millimetergenau umgesetzt, dann darf das Skalpell nicht stumpf sein.

Reinhart Poprawe, Leiter des Fraunhofer Instituts für Lasertechnik in Aachen, ist sich sicher, das ideale Material für das Skalpell der Zukunft gefunden zu haben: Laserlicht. "Mit einem Laser", so Poprawe, "erzeugen wir extrem hohe Temperaturen, die das Gewebe verbrennen und dadurch schneiden. Aber wir erzeugen diese Temperaturen nur für eine extrem kurze Zeit - im Femtosekunden-Bereich - und nur auf ganz kleinem Raum - im Mikrometer-Bereich. Der Schnitt mit einem Laserskalpell ist also extrem präzise, viel präziser, als ein Haar breit ist."

Poprawe experimentiert auch mit Laserlicht unterschiedlicher Wellenlänge, ja, er ist sogar dabei, einen Röntgenlaser zu entwickeln. "Für Augenlicht", so Poprawe, "ist unser Körper nicht transparent - für Röntgenstrahlen aber wohl." In 50 Jahren, so seine Vision, könnte deshalb mit dem Röntgenlaser vielleicht sogar etwas heute völlig Undenkbares möglich sein: eine Operation durch die geschlossene Bauchdecke.

#### **URL:**

<http://www.spiegel.de/spiegelwissen/0,1518,633418,00.html>

#### **FORUM:**

[Gesünder durch Hightech-Medizin?](http://forum.spiegel.de/showthread.php?t=7762&goto=newpost)

<http://forum.spiegel.de/showthread.php?t=7762&goto=newpost>

© SPIEGEL Wissen 2/2009

Alle Rechte vorbehalten

Vervielfältigung nur mit Genehmigung der SPIEGELnet GmbH