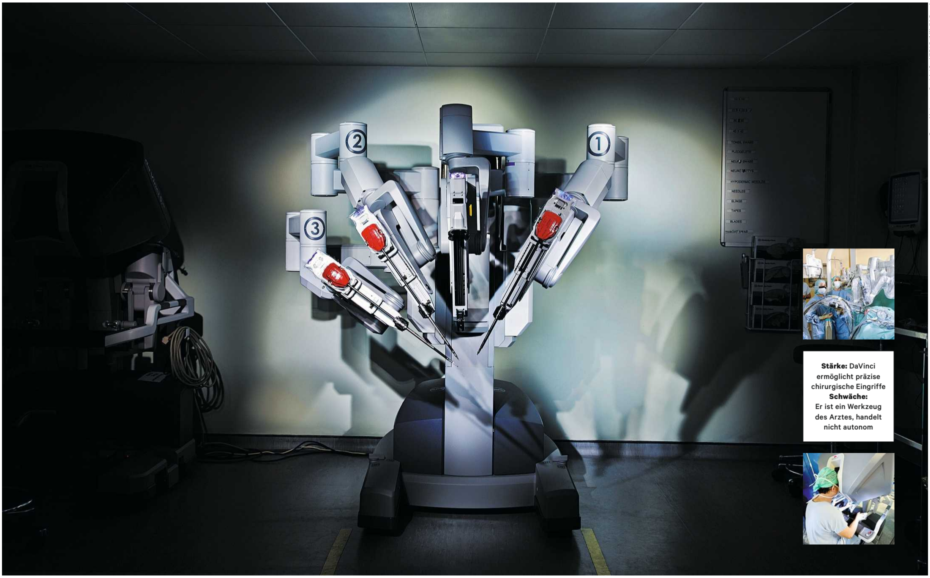
29. DEZEMBER 2016 DIE ZEIT N° 1

6. Wann Roboter autonom sind, lässt sich gar nicht so einfach sagen. Als digitale Chirurgen können sie toll schneiden, wissen aber nicht, wo



Stärke: DaVinci ermöglicht präzise chirurgische Eingriffe
Schwäche: Er ist ein Werkzeug des Arztes, handelt nicht autonom

Fotos: ddp images; Patrick Allard/REA/laif (2) (kl Fotos)

Dr. DaVinci, bitte in den OP

Längst operieren Roboter Menschen. Dabei fühlen sie nichts VON JOSEPHINA MAIER

Das erste Robotergesetz von Isaac Asimov lautet: Ein Roboter darf ein menschliches Wesen niemals verletzen. Der Science-Fiction-Autor hat dieses Gesetz bereits in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts formuliert. Heute liegt ein Patient in Vollnarkose im Operationssaal der Hamburger Martiniklinik und lässt sich von dem Medizinroboter DaVinci die vom Krebs befallene Prostata entfernen.

Vor wenigen Minuten wurde DaVinci an den Operationstisch geschoben. Seine vier Roboterarme hängen an einem Stativ über dem 58-Jährigen. Drei tragen sterile Instrumente: eine chirurgische Schere, eine Pinzette, eine Greifzange. Am vierten Arm ist eine 3-D-Kamera befestigt, die den Eingriff filmen wird. Die Entfernung der Prostata mit DaVinci ist eine minimalinvasive Prozedur: Die Operation findet also nicht am geöffneten Körper, sondern im Körperinneren statt. Damit Kamera und Instrumente sicher in die Bauchhöhle gelangen, hat der Chirurg Markus Graefen mit dem Skalpell kleine Schnitte in die Bauchdecke des Patienten gesetzt und schmale Röhren eingeführt, an die sein Assistent die Roboterarme ankoppelt.

Der erste Prototyp für den Medizinroboter im Hamburger Operationssaal entstand bereits in den achtziger Jahren im amerikanischen Stanford. Die treibende Kraft dahinter war – wie bei vielen neuen Technologien – das Militär. Während des Vietnamkriegs war die Idee aufgekommen, einen Roboter zu entwickeln, der in Kriegsgebieten oder bei Weltraum-Missionen aus der Ferne gesteuert Verletzte operieren sollte. Bisher finden solche telemedizinischen Eingriffe aber kaum statt, außer zu Demonstrationszwecken. Noch ist technisch nicht gewährleistet, dass die Daten schnell und sicher genug übertragen werden können. Dabei könnte die Technologie in Zeiten des Ärztemangels vielleicht ein paar Versorgungsprobleme lösen.

Zu einem medizinischen Erfolg wurden die minimalinvasiven Operationen mit der Technik aus Stanford dennoch. Im Jahr 2000 bekam das kalifornische Start-up Intuitive Surgery in den USA die Zulassung für das DaVinci-System. Heute sind nach Unternehmensangaben in Amerika 2500 DaVinci-Roboter im Einsatz, in Europa mehr als 600, davon 85 in Deutschland. Allein im vergangenen Jahr gab es weltweit mehr als 650 000 Operationen mit dem System. Bei Eingriffen wie der Prostata-Entfernung hat die Roboterchirurgie in den USA die konventionelle Operationstechnik sogar weitgehend verdrängt – obwohl die Ergebnisse bisher nicht eindeutig besser sind, wie zuletzt eine Studie im Fachjournal *Lancet* zeigte.

Für das Unternehmen hat sich die Entwicklung auf jeden Fall ausgezahlt. Im Jahr der DaVinci-Zulassung ist es auch an die Börse gegangen. Seitdem stieg der Wert der Intuitive-Aktie von zehn auf zuletzt mehr als 600 Dollar. Auch andere Anbieter versuchen inzwischen, vom Trend zum Roboterchirurgen zu profitieren, dessen Einsatzgebiet sich laut dem jüngsten Report der International Federation of Robotics zur wichtigsten Sparte der Medizinrobotik entwickelt. So treiben neben Start-ups auch große Medizintechnikunternehmen wie Medtronic die Entwicklung eigener Prototypen im Gebiet der Viszeralchirurgie voran.

In der Hamburger Martiniklinik tritt Chirurg Graefen nach der Vorbereitung des Roboters vom Operationstisch zurück. Er zieht den sterilen Kittel aus, schlüpft aus seinen grünen Gummilatschen und setzt sich in Socken an eine Konsole in der Ecke des Saales. Von hier aus wird er in den folgenden dreieinhalb Stunden mithilfe von zwei Handgriffen und mehreren Fußpedalen den Medizinroboter steuern. Aus der Bauchhöhle manövriert er die Instrumente langsam ins Becken des Patienten, wo die Prostata unterhalb der Blase sitzt.

Die Entfernung ist heikel: Auf beiden Seiten des Organs verlaufen feinste Geflechte aus Blutgefäßen und Nerven, die intakt bleiben müssen. Werden sie verletzt, könnte der Mann auf dem Tisch später inkontinent und impotent sein.

An dieser Stelle kommen die feinmotorischen Fähigkeiten von DaVinci ins Spiel. Zittert beispielsweise die Hand des Operateurs, rechnet ein Tremorfilter das Zittern heraus und erzeugt eine glatte, flüssige Bewegung. Außerdem skaliert der Medizinroboter die Fingerbewegungen des Chirurgen um: Wenn er den Griff zwischen rechtem Daumen und Zeigefinger einen Zentimeter nach vorne führt, bewegt sich die Schere im Inneren des Patienten nur einen Millimeter. Weil Graefen das Bild der 3-D-Kamera auf dem Display der Konsole zudem in zehnfacher Vergrößerung sieht, kann er mit den Instrumenten auf engstem Raum hantieren, als hätte er zehnmal so viel Platz.

Einen guten Chirurgen zeichnet allerdings nicht nur die Feinmotorik aus. Er hat auch Fingerspitzengefühl, eine feine Sensorik. Wenn er eine von Krebs befallene Prostata abtastet, spürt er, wo das derbe Tumorgewebe endet und das Organ sich wieder so prall und elastisch anfühlt, wie es soll. An der Konsole fühlt man nichts davon. »Es gibt kein haptisches Feedback«, sagt Graefen. Stattdessen orientiert er sich am dreidimensionalen Bild auf dem Display. Die Tiefenwahrnehmung sei so gut, erklärt er, dass er seine Bewegungen problemlos daran ausrichten könne. Trotzdem bleibt eine Frage: Wieso beherrscht der Hightech-Medizinroboter DaVinci die Feinmotorik so exzellent, die Sensorik aber nicht?

> Chirurgieroboter sind dumm. Dennoch machen sie Ärzte besser

Dieses Defizit lässt sich mit einem Anruf beim Robotik-Experten Alois Knoll an der TU München aufklären. Knoll hat schon vor zehn Jahren Prototypen für die Herzchirurgie entwickelt, die dem Operateur ein haptisches Feedback geben. »Dafür baut man an den Roboterinstrumenten feine Sensoren zur Kraftmessung ein«, erklärt er. »Die gemessenen Kräfte muss man dann auf die Hebel übertragen, mit denen der Chirurg den Roboter steuert. Bewegt der Operateur beispielsweise die Roboterschere mit der rechten Hand zu weit nach vorne und stößt dabei gegen ein Blutgefäß, lenken kleine, integrierte Motoren den Steuerungshebel in die entgegengesetzte Richtung aus, sodass der Widerstand an der Bedienkonsole zu spüren ist.« Nach Ansicht von Knoll ist es technisch anspruchsvoll, aber durchaus möglich, eine realistische haptische Rückkopplung in einen Operationsroboter wie DaVinci einzubauen.

Diese Entwicklung konnte der Hersteller Intuitive Surgical lange vernachlässigen, weil es an Konkurrenz mangelte. Dank seiner aggressiven Patentpolitik ist das Unternehmen bisher der unangefochtene Marktführer in der Roboterchirurgie. Das dürfte sich allerdings bald ändern: Der US-amerikanische Konkurrent TransEnterix hat in Europa bereits die Marktzulassung für einen Chirurgieroboter erhalten, der über ein haptisches Feedback verfügt. Im Moment wird er an einzelnen Kliniken in Italien und Großbritannien erprobt. Auch wenn das Feedback an die sensorischen Fähigkeiten einer menschlichen Fingerkuppe noch nicht heranreichen wird – früher oder später wird es Medizinroboter geben, die neben der Feinmotorik auch die zweite Schlüsselqualifikation des Chirurgen beherrschen, das Fingerspitzengefühl.

Legt man an DaVinci die Maßstäbe der modernen Robotik an, hat er aber noch ein zweites, interessanteres Defizit: Er ist nicht intelligent. Er ist so dumm, dass es eigentlich falsch ist zu sagen, der Medizinroboter operiere einen Patienten. Chirurg Graefen macht die Arbeit. DaVinci bewegt sich keinen Millimeter, wenn der Mensch an der Konsole ihm nicht den Befehl dazu gibt. »Das ist eigentlich gar kein Roboter, sondern ein Telemanipulator«, sagt Graefen. Er sei der Operateur. »Das sind meine Finger«, sagt er, »meine Instrumente!«

So sieht es auch Janina Loh, Expertin für Roboterethik am philosophischen Institut der Universität Wien. »DaVinci handelt nicht autonom«, sagt sie. »Das ist ein rein assistierendes System, eine artifizielle Verlängerung des Armes des Operateurs.« Noch deutlichere Worte für die Machtverhältnisse im Operationssaal findet Jörg Raczkowsky, der am Institut für Anthropomatik und Robotik in Karlsruhe forscht. »Was der Chirurg auf der Master-Seite macht, führen die Arme des Manipulators auf der Slave-Seite aus«, sagt er. Diese Fachbegriffe aus der Robotik machen klar: Die Beziehung zwischen Arzt und Maschine erinnert an die zwischen einem Herrn und seinem Sklaven.

Nicht ohne Grund betonen viele Kliniken auf ihren Internetseiten, dass der Operateur während des gesamten Eingriffs die Kontrolle über DaVinci behalte. Die Medizin, und besonders die Chirurgie, ist eben kein Anwendungsgebiet der Robotik wie jedes andere. »Medizinroboter handeln ganz physisch am konkreten Menschen«, sagt Technikphilosophin Loh. »Vielleicht ist man deshalb so vorsichtig, autonome artifizielle Systeme in Bereichen wie der Altenpflege und der Chirurgie einzuführen.«

Nach Ansicht von Raczkowsky hat das heutige Bedürfnis nach Kontrolle auch mit dem holprigen Start der Medizinrobotik zu tun. Bereits Ende der neunziger Jahre setzten deutsche Hüftchirurgen in vielen Kliniken programmierbare Fräsmaschinen ein, um Prothesen im Oberschenkelknochen zu verankern. Erst nach Tausenden Operationen fiel auf, dass mehr Patienten als gewöhnlich über Komplikationen wie Schmerzen und Gehprobleme klagten. Die Fräsroboter verschwanden schnell aus den Krankenhäusern. Heute hämmern und meißeln die meisten Chirurgen wieder selbst.

Auch das hat mit dem ersten Robotergesetz von Isaac Asimov zu tun: Ein Roboter darf ein menschliches Wesen nicht verletzen. Ärzte, und besonders Chirurgen, müssen mit ihren Instrumenten aber zuweilen den Körper eines anderen versehren. Die Situation ist schon heikel genug, solange nur menschliche Akteure beteiligt sind, denn der Patient setzt sich mit der Operation einem Risiko aus. Während der Narkose übergibt er die Verantwortung für seinen Körper an den Chirurgen und vertraut darauf, dass diesem kein Fehler unterläuft. Käme nun ein autonomer Roboter als weiterer Akteur hinzu, geriete das althergebrachte Gefüge der Verantwortung ins Wanken. Wem wäre ein Vorwurf zu machen, wenn einem intelligenten Operationssystem ein schwerwiegender Fehler unterliefe?

»Die Verantwortung ist eine Kompetenz, die traditionell dem Menschen vorbehalten ist«, sagt Technikphilosophin Loh. »Es ist in der Roboterethik umstritten, ob man diese Kompetenz überhaupt auf artifizielle Systeme übertragen kann – und wenn ja, in welchem Ausmaß.« Auch weil es auf diese Fragen bislang keine befriedigende Antwort gibt, ist der weltweit erfolgreichste Chirurgieroboter DaVinci nicht intelligent, sondern nur ein Telemanipulator. Nicht mehr als ein Werkzeug des Arztes.