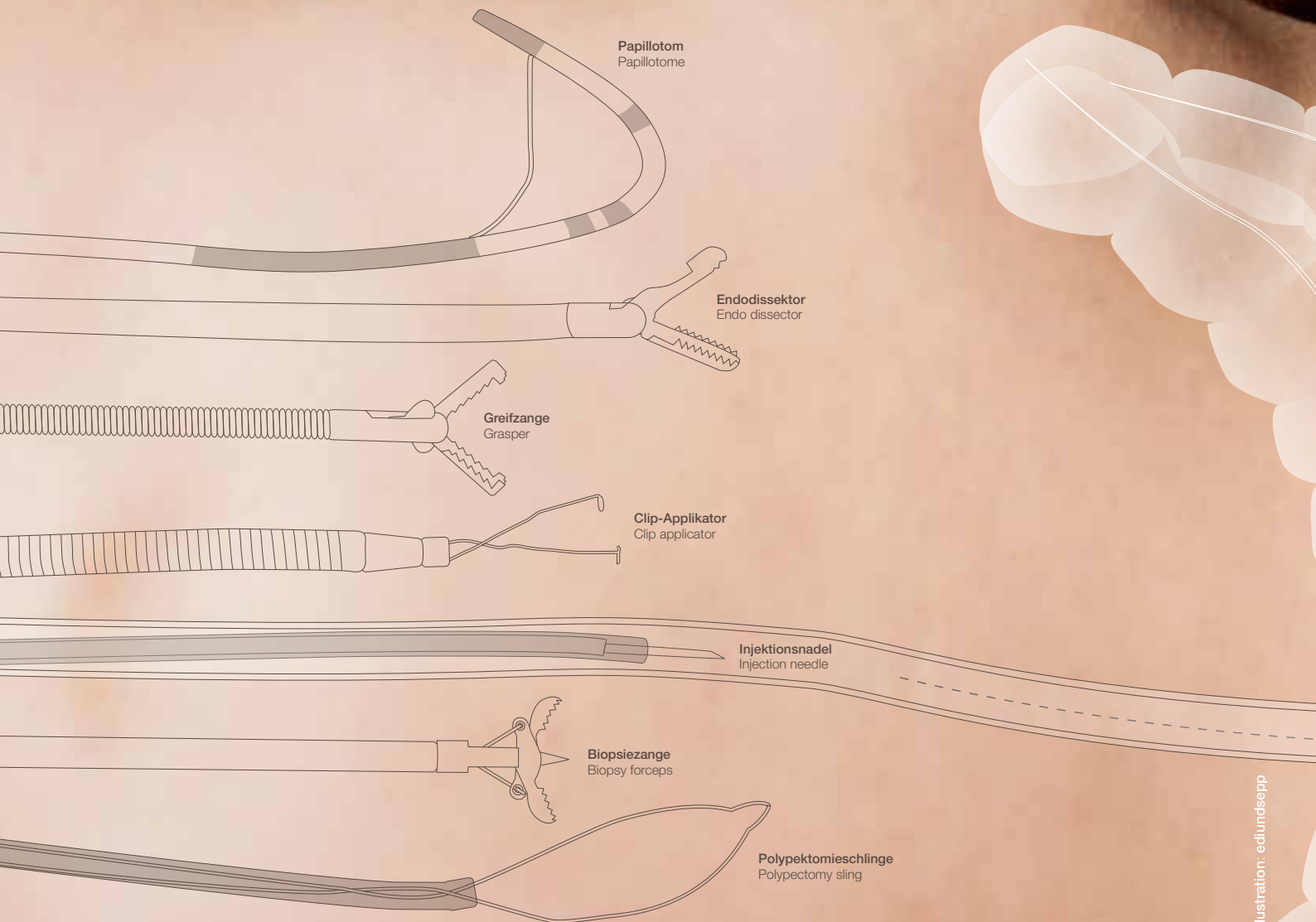


Mäusekino im Bauchraum

Operieren durchs Endoskop ist eine Kunst: Trotz schlechter Sicht und wenig Bewegungsfreiheit muss der Chirurg sicher und genau arbeiten. Forscher am Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik der TUM arbeiten daran, diese Aufgabe zu erleichtern **Small stage, big view – new technology for abdominal surgery** Performing an operation with the aid of an endoscope is an art: Surgeons have to work with the usual precision and care despite restricted vision and limited room to maneuver. Researchers at TUM's Institute of Micro Technology and Medical Device Technology are currently working on ways to make this type of surgery easier



Link

www.mimed.mw.tum.de

Keine Narben / No scars

Eingriff / Operation

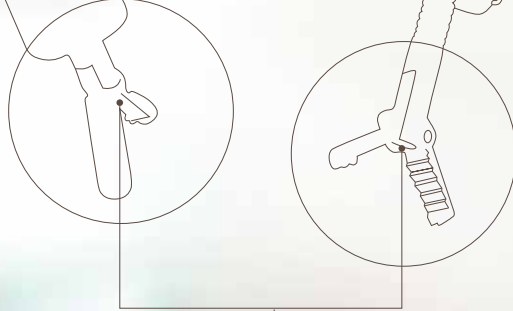
Vielleicht wäre eine Zusatzausbildung als Puppenspieler für einige Mitarbeiter von Prof. Tim C. Lüth gar nicht mal so falsch. Müssen sie doch feinste Instrumente mithilfe von Fäden bewegen, die durch ein halbmeterlanges bewegliches Rohr laufen. Denn hier am Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik der TUM in Garching arbeiten der Wissenschaftler und sein Team in einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt daran, Methoden zu entwickeln, mit denen man Patienten ferngesteuert operieren kann. Wie eine jener Spielzeug-Klapperschlangen windet sich der weiße Schlauch, der aus vielen Segmenten besteht, durch die Speiseröhre des Gummiphantoms, an dem die Forscher ihre Ideen erproben. Am einen Ende soll später der Chirurg stehen, der nicht nur im übertragenen Sinne die Fäden zieht, am anderen Ende, also im Inneren des Kranken, sitzen winzige Instrumente, mit denen der Arzt Tumoren oder Magengeschwüre entfernen und exakte Nähte setzen soll. „Die Vision ist sogar“, so Tim C. Lüth, „dass man eines Tages direkt vom Magen aus über einen kleinen Schnitt in den Bauchraum gelangen kann. So könnte man dort Operationen ausführen ohne jede von außen sichtbare Narbe.“ Weltweit wird an diesem neuen Konzept, dem sogenannten NOTES, geforscht. Die Abkürzung steht dabei für: Chirurgie über natürliche Körperöffnungen >

Additional training as a puppet artist might well be just the thing for some of the staff working under Professor Tim C. Lüth. Their job does after all involve moving delicate instruments using wires running through a flexible 50 cm long tube. Here at the Institute of Micro Technology and Medical Device Technology at TUM's Garching campus, the professor and his team are working on a German Research Foundation-backed project to develop methods for remote-controlled operations on patients. Just like a toy articulated snake, a segmented white tube winds its way through the esophagus of a rubber model used by the researchers to test their ideas. At one end the surgeon will at some stage be pulling the strings, and not just in the figurative sense. At the other end – inside the patient's body – tiny instruments will be in situ, which the surgeon will manipulate to remove tumors or stomach ulcers and make precise sutures. "What we aim to eventually achieve," says Lüth, "is to reach the abdominal cavity directly from the stomach by making a small incision. This would enable surgeons to carry out operations without leaving any externally visible scar."

Research on this new concept, known as NOTES (natural orifice transluminal endoscopic surgery), is being carried out all over the world. NOTES has not yet, however, become standard clinical practice. It remains a future vision, but would clearly have advantages over conventional surgical inter- >

3-D-gedruckter Prototyp eines Endoskops zum Operieren durch nur eine Körperöffnung
3D-printed prototype of an endoscope to enable surgery through a single orifice

Kameraführung / Camera guide



Das Endoskop wird über die Speiseröhre eingeführt. Seine drei Arme enthalten eine Kamera und zwei Instrumente, die zusammenarbeiten können / The endoscope is inserted through the esophagus. Its three arms hold a camera and two surgical instruments that can be operated together

(Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery). Die Methode hat sich jedoch noch nicht in der klinischen Routine durchsetzen können. Sie bleibt bisher Zukunftsmusik, aber fest steht, dass sie konventionellen chirurgischen Eingriffen überlegen wäre. Denn diese sind immer mit Belastungen für den Patienten verbunden: Gewebe wird durchtrennt, Blut verloren, Adern, Nerven und Fasern müssen durchgeschnitten werden, damit der Chirurg an die Stelle gelangt, die er eigentlich reparieren will. Bis alles wieder zusammengewachsen und gut verheilt ist, dauert es Wochen, und oft bleiben unschöne Narben zurück.

Schonend operieren

Kein Wunder, dass in den letzten Jahrzehnten die Endoskopie enorm an Beliebtheit gewann. Bei diesem „Blick ins Innere“ schiebt der Arzt ein dünnes Rohr oder einen Schlauch an den Ort des Geschehens vor, blickt hindurch, um den Zustand des Krankheitsherdes zu erkunden, und entnimmt bei Bedarf eine Gewebeprobe. Dafür sind nur noch sehr kleine Schnitte nötig, oder man benutzt direkt die natürlichen Körperöffnungen als Zugang. Die minimale Schädigung und die geringe Belastung für den Patienten liegen bei diesem Vorgehen auf der Hand. Um die Vorteile noch besser ausnutzen zu können, begann man Ende der 1990er-Jahre über das Endoskop auch ganze Operationen

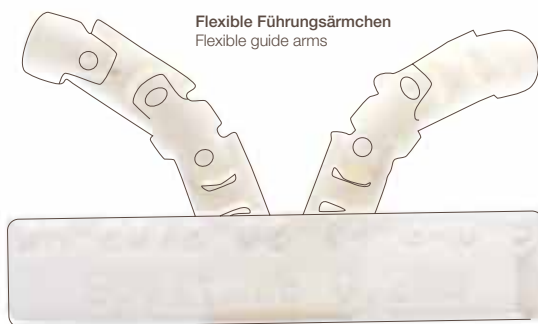
durchzuführen. Der Chirurg schiebt dazu winzige Skalpelle, Greifer und Scheren durch das Sichtrohr, er schneidet und näht auf allerengstem Raum. Immerhin waren endoskopische Operationen an den Gallengängen im Jahr 2011 bereits der fünfthäufigste Eingriff, informiert die Gesundheitsberichterstattung des Bundes.

Die zwei Hauptprobleme bei den „Eingriffen durchs Schlüsseloch“ sind jedoch nach wie vor schlechte Sicht und mangelnde Bewegungsfreiheit. Denn sowohl die Optik als auch die Instrumente sitzen am Ende des Endoskops. So können Zangen und Messer nur vor- und zurückgeschoben werden, und die Optik blickt nicht von oben aufs Geschehen, sondern von hinten. „Bei den heute üblichen Systemen hat der Chirurg nur wenige Freiheitsgrade für die Bedienung der Instrumente“, sagt Jan Gumprecht, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl. „Es wäre ein großer Fortschritt, wenn die Instrumente von rechts und links zur Mitte hin mit einem Gelenk beweglich wären und wenn eine Kamera von oben draufschauen könnte. Damit könnte der Arzt sehen, in welcher Tiefe er gerade arbeitet. Auf diese Weise ließen sich beispielsweise Nähte viel einfacher schließen.“

Drei Kanäle für den Chirurgen

Nun reichen aber die winzigen Kanäle in einem regulären Endoskop nicht aus, um diesen Plan zu verwirklichen. ▷

Um die Instrumente in der endoskopischen Chirurgie über zwei schwenkbare Achsen auszurichten, nutzten die Forscher die Stärken des 3-D-Drucks. Ausgehend von einfachen hohlen Kardanwellen mit konventionellen Gelenken (links), entwickelten sie über Flachbandspiralen (Mitte) die komplexen Ärmchen aus filigranen Festkörpergelenken (rechts) / To mount the instruments for endoscopic surgery on two pivoting axes, researchers are drawing on the strengths of 3D printing. Starting with simple, hollow shafts with conventional joints (left), they went on to develop flat ribbon spirals (center) and then tiny, complex arms from delicate flexure hinges (right)



ventions. At present, surgery has a number of downsides for the patient besides loss of blood. The surgeon often has to sever tissue, veins, nerves and fibers to access the zone of interest. It can take weeks for everything to mend and heal, and unsightly scars can often be left behind.

Low-impact surgery

It is no wonder, then, that endoscopy has gained dramatically in popularity in recent decades. With this method of “looking inside” the body, the physician inserts a thin tube as far as the zone of interest, looks through the eyepiece to examine the diseased cells and takes a biopsy if necessary. This intervention requires only tiny incisions, or the surgeon can sometimes gain access through the body’s natural orifices. The advantages are obvious: Minimum damage and minor impact for the patient. To put this technology to even better use, surgeons started to use endoscopes to perform entire operations in the late nineties. This involves pushing tiny scalpels, grippers and scissors through the endoscope. The surgeon then makes incisions and performs sutures in an extremely confined space. Indeed, endoscopic operations on the bile ducts were the fifth most common surgical procedure in 2011 according to Germany’s Federal Health Monitoring data. The two main challenges associated with this type of keyhole surgery remain, however: namely restricted vision and limited

room for maneuver. The difficulty is that both the optics and the instruments have to be positioned at the end of the endoscope. This means that graspers and scalpels can only be manipulated forwards and backwards, and the optics system does not look at the site from above, but rather from behind. “Most of the systems currently in use give the surgeon very little freedom to manipulate the instruments,” explains Jan Gumprecht, a research fellow at the institute. “It would be a big step forward if we could swivel the instruments to the right and to the left and if a camera could give visibility from above. This would give the surgeon a more accurate indication of depth, which would be a huge help when suturing, for example.”

Three operating channels

The tiny channels in a standard endoscope are not capable of making this vision a reality, however. So the researchers had the idea of installing an exoskeleton around the endoscope tube. According to Gumprecht, “if you cannot fit something inside, you have to find space for it outside.” The structure contains additional channels to accommodate the control system for the instruments. The scientists are currently trialing the system with wires, but these are set to be replaced with fine push rods. The researchers have already built the prototype for the exoskeleton. ▷



Deshalb haben die Forscher beschlossen, ein Exoskelett um den Endoskopschlauch herum zu bauen, denn „wenn man etwas nicht innen unterbringen kann, muss man es eben außen entlangführen“, erklärt Gumprecht. In dieser Hülle verlaufen weitere Kanäle, in denen die Steuerung für die Instrumente angebracht ist. Heute erproben die Wissenschaftler das Ganze noch mit den Fäden, später sollen diese durch feine Schubstangen ersetzt werden.

Von der Seite her zupacken

Den Prototyp für das Exoskelett haben die Forscher schon gebaut. Es ist ein Kunststoffschlauch mit einem Durchmesser von rund zwei Zentimetern, der aus einer Vielzahl gegeneinander beweglicher Segmente besteht. Dort laufen die feinen Kanäle entlang für die Steuerung der Instrumente. An der Vorderseite können diese dann die zwei Zentimeter Spielraum ausnutzen, um von den Seiten her zuzupacken.

Beobachtet wird das Ganze von einer Linse in einem dritten Kanal, die über Glasfasern mit einem Monitor verbunden ist. Später soll sie ersetzt werden durch eine winzige digitale CCD-Kamera, deren Signale elektrisch nach außen übertragen werden. Insgesamt entsteht so eine Art Mäusekino, in dem der Chirurg besser sehen kann, was er tut und wo er gerade hinfasst. Das gesamte >

Access from the side

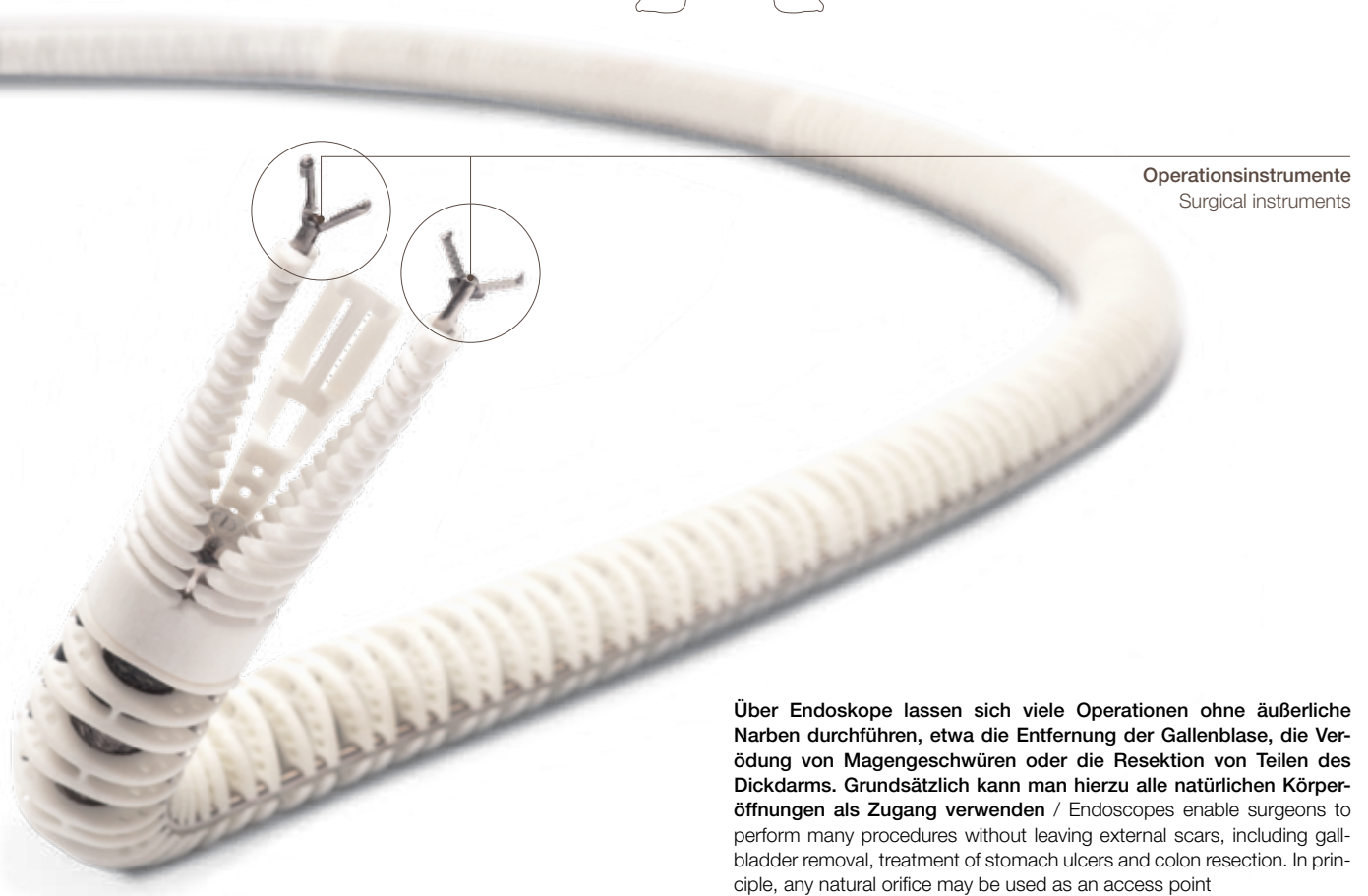
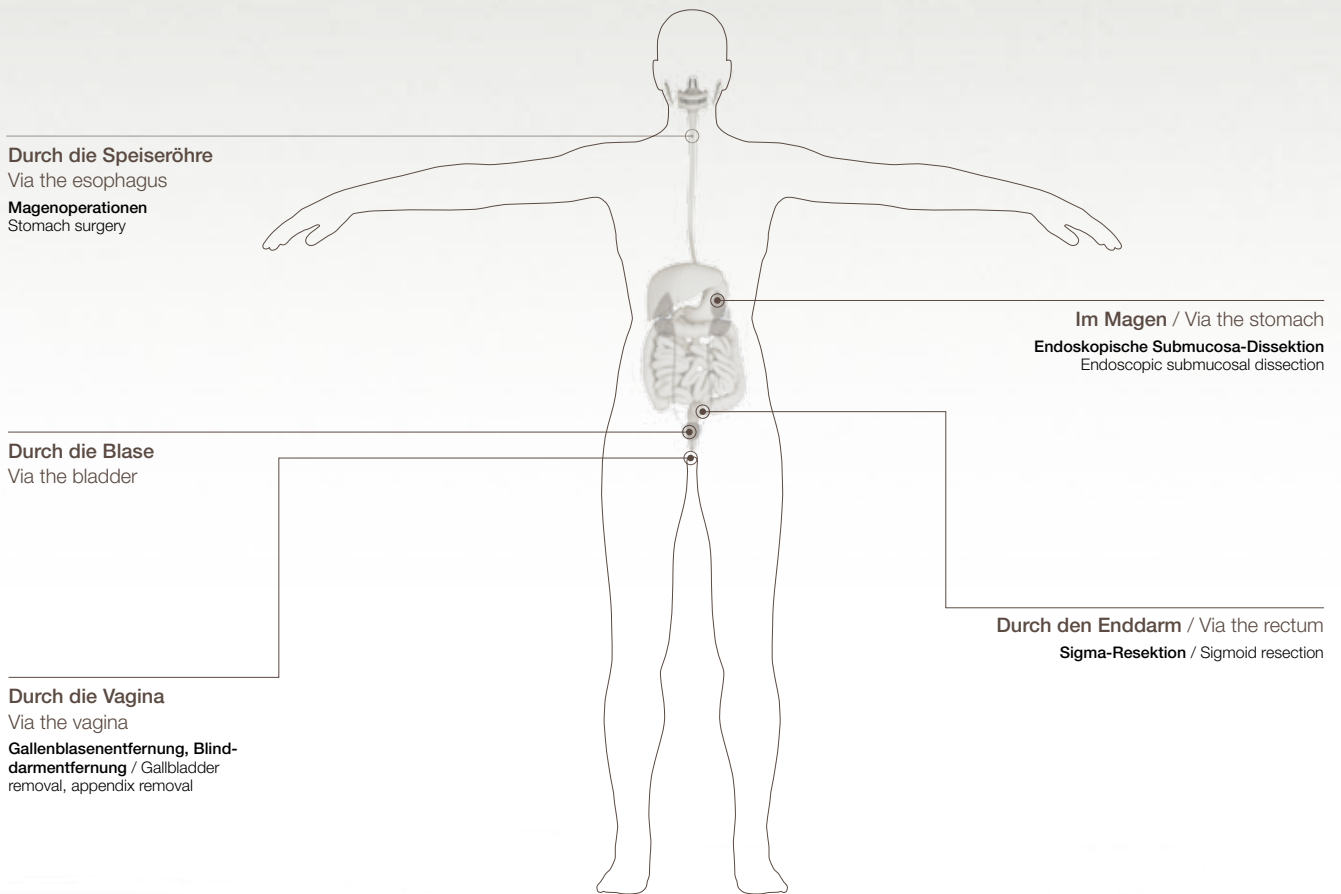
This is a plastic tube with a diameter of around two centimeters which consists of multiple interconnected segments. Running within this are the narrow channels for controlling the instruments. At the front, these channels can use the two centimeters of leeway for sideways gripping. The whole operation is observed using a lens in a third channel which is connected to a monitor via glass fibers. The plan is to replace this with a tiny digital CCD camera transmitting electrical signals. The end result would be vantage view of a tiny stage so the surgeon can see exactly what is happening and where.

The structure surrounding the endoscope tube is extremely complicated since it needs to be flexible in all directions and still be sturdy enough to safely support all the leads and attachments. To manufacture this from metal using conventional machine tools would be extremely costly, if not impossible. That is why the TUM researchers used a 3D printer to create the structures using polyamide. “We are the only team in the world to use this approach,” reveals Gumprecht. “And we have killed two birds with the one stone because the manufacturing process and the material we have chosen are so inexpensive that the instrument can be disposed of after use.” The problem with some metal implements in the past has been that they could not be sterilized again after use. They were either too delicate or so complex in structure >

Der Trend geht weg vom großen Universalroboter und hin zu kleinen, spezialisierten Geräten für Eingriffe am Innenohr (links), am Darm (Mitte und großes Bild rechts) oder in den Nasennebenhöhlen (rechts) / The trend is moving away from large, multi-purpose robots and toward small, specialized devices for procedures in the inner ear (left), intestines (center and large image, right) and paranasal sinuses (right)







Über Endoskope lassen sich viele Operationen ohne äußerliche Narben durchführen, etwa die Entfernung der Gallenblase, die Verödung von Magengeschwüren oder die Resektion von Teilen des Dickdarms. Grundsätzlich kann man hierzu alle natürlichen Körperöffnungen als Zugang verwenden / Endoscopes enable surgeons to perform many procedures without leaving external scars, including gallbladder removal, treatment of stomach ulcers and colon resection. In principle, any natural orifice may be used as an access point

Gebilde, das den Endoskopschlauch umgibt, ist äußerst kompliziert aufgebaut, denn es muss schließlich nach allen Seiten biegsam sein und dabei dennoch so stabil, dass es alle Führungen und Halterungen sicher tragen kann. So etwas mit konventionellen Werkzeugmaschinen aus Metall herzustellen, wäre extrem aufwendig, wenn nicht unmöglich. Die TUM Forscher nutzen deshalb einen 3-D-Drucker, um die Strukturen aus dem Kunststoff Polyamid aufzubauen. „Wir sind bisher weltweit die Einzigen, die diesen Weg eingeschlagen haben“, sagt Gumprecht. „Und wir erwischen damit zwei Fliegen mit einer Klappe, denn Herstellung und Material sind so preisgünstig, dass man das Instrument nach Gebrauch wegwerfen kann.“ Bisher scheiterten manche Produkte aus Metall daran, dass es nicht gelang, sie nach Gebrauch wieder zu sterilisieren. Entweder waren sie zu empfindlich oder zu verwinkelt aufgebaut, sodass Keime sich an unzugänglichen Stellen festsetzen konnten. Diese Sorgen hat man nicht, wenn man mit Einmalgeräten aus Kunststoff arbeitet, die man nach Gebrauch entsorgt.

Individuell angepasste Endoskope

Die Herstellung eines solchen Exoskeletts dauert etwa eine Nacht, und so ist es auch möglich, es individuell zu produzieren: Länge, Dicke, Symmetrie können ganz auf die Bedürfnisse des Patienten zugeschnitten werden, außerdem kann man das System an unterschiedliche Endoskop-Fabrikate anpassen. All das erproben die Forscher heute noch im Labor. Dazu haben sie eine Laser-Sinteranlage, die nach vorher eingegebenen CAD-Daten auch komplizierte Teile herstellen kann.

Letztendlich wird der Chirurg die Instrumente über Joysticks von einer kleinen Konsole aus bedienen, die am OP-Tisch befestigt wird. Damit unterscheidet sich das Konzept ganz fundamental von den großen OP-Robotern, auf die die Branche vor einigen Jahren noch ihre Hoffnungen setzte. Diese haben sich allerdings nicht erfüllt, denn die Geräte waren zu teuer und hatten im ohnehin überfüllten OP-Saal kaum Platz. Der einzige Großroboter, der die Krise überstand und auch heute noch – vor allem für Prostataoperationen – eingesetzt wird, ist der OP-Roboter da Vinci. „Das Konzept der ersten Systeme stammte von den Industrierobotern, die für viele unterschiedliche Aufgaben zu gebrauchen und deshalb groß und kompliziert aufgebaut sind“, sagt Jan Gumprecht. „Heute ist man von diesem Konzept weitgehend abgekommen und konzentriert sich lieber auf hochspezialisierte Kleinroboter.“

Und so entwickeln auch die Forscher an Lüths Lehrstuhl kleine, feine, intelligente Geräte, die den Arzt bei unterschiedlichen Operationen unterstützen, von Arbeiten am Innenohr über Manipulationen in den Nasen-Nebenhöhlen bis hin zum Entfernen von Tumoren in der Leber. Immer steht die Absicht im Vordergrund, den Arzt bei seiner Arbeit zu unterstützen, ihn nicht räumlich zu behindern ▶



Kunststofforgane für alle Zwecke: An den im 3-D-Drucker angefertigten Modellen lassen sich die geometrischen Verhältnisse studieren
Multi-purpose plastic organs: produced by 3D printers, these models allow examination of geometric properties

that bacteria could grow in inaccessible areas. The use of disposable devices would eliminate this problem.

Customized endoscopes

An exoskeleton of this kind can be manufactured in one night, and custom design alterations would also be possible. Length, thickness and symmetry can all be adapted to the patient's needs, and the design can also be tailored to suit different makes of endoscope. The researchers are currently testing all of these variables in the laboratory. They are using a laser sintering system, which is capable of manufacturing even complex parts once the CAD data has been entered.

The surgeon will eventually be able to operate the instruments using joysticks on a small console attached to the operating table. This compact design is the main difference and advantage relative to the large robotic surgical systems which the industry was pinning its hopes on a few years ago. The robots were not so successful in practice, because as well as being expensive, they took up a lot of space in already overcrowded operating theaters. The only large-scale robotic surgical system that has weathered the crisis and is still used today – primarily for prostate removals – is the da Vinci Surgical System. “The concept for the early systems was based on industrial robots, which were used for multiple tasks and so were large and complex,” says Jan Gumprecht. “Today, this concept has largely been abandoned, with the emphasis now more on small, highly-specialized robots.” The researchers under Lüth are following this approach, developing small, delicate, intelligent devices to assist sur- ▶



Auf der einen Seite die Medizin, auf der anderen der Maschinenbau. Tim C. Lüth legt Wert auf interdisziplinäres Forschen (links). Der 3-D-Drucker steht im Haus: Jan Gumprecht entnimmt ein fertiggestelltes Teil aus der institutseigenen Laser-Sinteranlage (rechts) / Medicine teams up with mechanical engineering: Tim C. Lüth places great value on interdisciplinary research (left). On-site 3D printing: Jan Gumprecht takes a finished part from the institute's own laser-sintering system (right)

und die Arbeitsabläufe nicht zu stören. Um dies zu erreichen, ist die enge Zusammenarbeit mit der Klinik unabdingbar. Und so experimentieren die TUM Forscher nicht nur mit künstlichen Phantomen und probieren ihre Geräte an Schweinen aus, sondern sie sind immer wieder als Gast bei Operationen in der Klinik anwesend, etwa bei den Professoren Alexander Meining und Hubertus Feußner am Klinikum rechts der Isar.

Arbeiten zwischen den Disziplinen

„Unser Arbeitsgebiet stellt eine Herausforderung für die Forscher dar“, sagt Tim C. Lüth. „Sie müssen sich auskennen in der Medizin und die Sprache der Ärzte verstehen, aber gleichzeitig im technischen Bereich breit aufgestellt sein.“ So arbeiten an seinem Lehrstuhl für Mikrotechnik und Medizingerätetechnik Informatiker, Elektroniker und Maschinenbauer eng zusammen. Sie greifen Anregungen der Mediziner auf und suchen nach Lösungen. Das Grundprinzip wird auch in Zukunft bleiben: nicht Bewährtes nochmals neu entwickeln, sondern die Dinge drum herum optimieren.

Autorin: Brigitte Röthlein

geons in a variety of operations, from inner ear procedures to manipulation of the paranasal sinuses to the removal of tumors in the kidney. The aim is always to support the clinical workflow, making sure the surgeon does not have to contend with restrictions in mobility or disruptions. To achieve this, close cooperation with the medical community is vital. To this end, the TUM researchers are not just experimenting on rubber models and pigs, but have also been present at numerous live operations, for example those performed by Professors Alexander Meining and Hubertus Feußner at TUM's Klinikum rechts der Isar.

Interdisciplinary collaboration

“This field of work is quite challenging for the researchers,” admits Tim C. Lüth. “They must know their way around the medical world and understand medical terminology, but also have a broad technical base.” That is why his institute brings computer scientists, electronic engineers and mechanical engineers together. These experts listen to the clinicians and search for solutions to their challenges. Their guiding principle has always been simple: There's no need to reinvent the wheel, just make it roll more smoothly.

Author: Brigitte Röthlein