

7. Ein **Pflegeroboter** hilft Ärzten – solange er keinen Mist macht ...

8. Nanoroboter könnten **Medikamente** in Zellen transportieren, müssen aber noch üben

## »Hallo, wie geht es Ihnen?«

An einer Universität in Japan entwickeln Forscher den automatischen Krankenpfleger **VON FELIX LILL**

Das Labor 205 in Block 38 trägt einen befremdlich wirkenden Namen. »Zentrum für Forschung zur Symbiose von Mensch und Roboter« heißt dieser Ort, an dem sich Wissenschaftler über die Zukunft Gedanken machen. Dazu gehört: In Japans alternder Gesellschaft nimmt der Bedarf an Pflege derart schnell zu, dass bis 2025 voraussichtlich eine Million menschlicher Pflegekräfte fehlen werden. Die Mitarbeit von Robotern ist also nicht nur hilfreich, um Kosten zu senken, sondern auch, um den Fortbestand des Gesundheitswesens zu sichern.

Labor 205 gehört zur Technischen Universität Toyohashi, kurz TUT, einer der besten in Japan. Seit die Hochschule in den siebziger Jahren gegründet wurde, besteht ihr Anspruch darin, alle möglichen Bereiche des Lebens zu automatisieren. »Go to the future« prangt in großen Lettern am Hauptingang. In Labor 205 läuft Ryosuke Tasaki im Zickzack durch den Raum, in dem auch ein Roboter umherrollt. »Und jetzt!«, ruft Tasaki, bevor er abrupt stehen bleibt. Mit leichter Verzögerung stoppt auch der Roboter, der ihn die ganze Zeit über ansieht hat. Kein Zusammenprall. Nicht einmal über die herumliegenden Kabel ist der Roboter gestolpert. »Gib Terapio neuen Strom«, weist Tasaki einen Helfer an.

Terapio ist die wohl spektakulärste Entwicklung der TUT. Der Roboter verspricht den Arbeitsalltag von Ärzten und Krankenpflegern nicht nur sicherer und körperlich weniger belastend zu gestalten. Er soll sogar das Zeitalter der teilautomatisierten Pflege in Krankenhäusern einleiten. Seit vier Jahren schon arbeitet der 33-jährige Jungprofessor Tasaki an dem brusthohen, grün-weißen Roboter, den man leicht mit einem Mülleimer verwechseln könnte.

Zwei Augen blicken von seinem Displaygesicht, das Terapio auf Kommando in eine Arbeitsoberfläche verwandelt. Professor Tasaki berührt den Bildschirm. Bisher war der Trackingmodus aktiv, der den Roboter dazu bringt, dem Chefarzt während der Visite zu folgen. Jetzt lädt er automatisch die Krankenakte eines neuen Versuchspatienten, damit der Arzt alle Informationen besitzt. Etliche Praxistests in zwei verschiedenen Kliniken hat Terapio schon hinter sich.

Nachdem Terapio die fiktiven Patienten mit einem »Hallo, wie geht es Ihnen?« begrüßt hat, zeigt er auf dem Display jetzt das EKG an, die Ergebnisse der Urinprobe und den Blutdruck. Eine Kamera ermöglicht es dem Roboter, Patienten anhand ihrer Gesichter wiederzuerkennen, sodass er direkt nach den passenden Akten suchen kann. Die Gespräche zwischen Patient und Personal nimmt Terapio per Mikrofon auf, und wenn der Arzt ein Fach im Robotergehäuse öffnet, findet er dort typische

Werkzeuge wie Pinzette und Verbandszeug sowie eine Reihe von Medikamenten.

Die Idee für diese Entwicklung kam Tasaki ein Jahr nach dem Erdbeben und dem Tsunami in Nordostjapan im März 2011. Die Katastrophe kostete fast 20000 Menschen das Leben. Tasaki arbeitete zu dieser Zeit an einem autonomen, sich sehr geschmeidig bewegenden Elektrorollstuhl. Ein Krankenhaus aus Fukushima, das nach dem Tsunami nicht genügend Personal hatte, um die Verletzten zu versorgen, hatte davon gehört und bat Tasaki, als Nächstes einen Pflegeassistenten zu entwickeln, der die Ärzte bei ihren Visiten begleitet.

In Labor 205 arbeiten heute fünf Studenten unter Tasakis Aufsicht an Terapio. Andere beschäftigen sich mit Geh-Assistenzrobotern, wieder andere entwickeln die selbstfahrenden Rollstühle weiter. »Wenn ich ein Krankenhausmanager wäre«, sagt Tasaki und klopft kumpelhaft ans Gehäuse seiner Maschine, »würde ich als Erstes eine Liste machen: alle Arbeitsbereiche zwischen Menschen und Robotern aufteilen. Schweres Heben und das Speichern von Informationen sollte komplett Robotern überlassen werden. Menschen machen zu viele Fehler oder schaden sich sogar selbst. Die psychologischen Komponenten der Pflege sollten dagegen eher menschliche Pflegekräfte leisten.«

Diese Vision deckt sich ziemlich genau mit den Zielvorgaben der japanischen Politik. Die Regierung in Tokio will, dass der Markt für Pflegeroboter wächst.

Von vermutlich gut zehn Milliarden Euro (das entspricht etwa 81 Millionen Euro) im Jahr 2013 auf 260 Milliarden Euro im Jahr 2030. Mit staatlichen Fördermitteln werden Krankenbetten gebaut, die sich in einen Rollstuhl verwandeln können, und intelligente Stützen als Hilfe zum Aufstehen. Statt teure Therapiehund auszubilden, gibt es bereits jetzt humanoide Therapieroboter, die Demenzpatienten bei Laune halten. Auch gegen die Einsamkeit im Alter wurden schon Zärtlichkeit spendende Maschinenmännchen entworfen. Japanische Informatiker und Ingenieure aus Europa schwärmen davon, dass hier in Japan nicht jede Forschungsfrage durch ethische Fragen aufgehalten werde. Für originelle Projekte erhalte man schnell Fördermittel und könne sie ausprobieren.

Das macht Japan zur weltweit führenden Nation in der Assistenzrobotik. Die Verheißungen sind groß, aber die Liste der Niederlagen ist auch lang.

Ein Beispiel dafür ist Riba. Die Abkürzung steht für »Robot for Interactive Body Assistance«, er ist ein Artverwandter von Terapio. Wissenschaftler des Forschungsinstituts Riken erhielten fünf Jahre lang Steuermittel für ihre Idee, einen Roboter zu bauen, der bettlägerige oder gelähmte Patienten heben kann. Weltweit berichteten Medien über die Maschine, die aussieht wie ein Teddybär. Schon deren Vorgängermodell Ri-Man wurde vom *Time Magazine* zu »einer der besten Erfindungen 2006« erklärt. Als sich jedoch auch



**Stärke:** Terapio hat bei einer Visite stets die aktuellen Patientendaten  
**Schwäche:** Er ist zu langsam im hektischen Klinikalltag

der dritte Prototyp noch immer nicht flüssig genug für die kommerzielle Nutzung bewegen konnte – und zugleich die Fördermittel ausliefen –, war der Traum plötzlich vorbei. Trotz vielversprechender Testläufe roseter Riba jetzt in einem Labor vor sich hin. Eine große Vision, die nie Realität wurde. Diese Gefahr besteht auch für Terapio. Die Fertigstellung verzögert sich. »Eigentlich wollten wir Terapio von diesem Jahr an regulär in Krankenhäusern einsetzen«, gesteht Tasaki. Doch beim letzten Test stellte sich heraus, dass einige Ärzte derart schnell über die Gänge rasen, dass der Roboter kaum hinterherkommt. Deswegen führt Tasaki jetzt Bewegungstests in Labor 205 durch.

Die finale Version von Terapio soll viel leistungsfähiger werden als anfangs geplant. Von Patienten genommene Blutproben, die bei Visiten in Terapios eimerartigem Körper abgelegt werden, soll er dann direkt auswerten können. Das lernt er derzeit. Dass der grün-weiße Helfer aber selbst Blut abnimmt, bleibt ein Traum. »Wir haben es versucht. Aber das ist schon rechtlich schwierig, weil Terapio dann quasi eine Krankenpflegerausbildung brauchte«, sagt Tasaki. Doch auch darin sieht er wiederum einen Segen: »So kostet Terapio auch weniger Arbeitsplätze. Bei unseren Testläufen haben wir bemerkt, dass die menschlichen Pfleger ihn gar nicht bedrohlich fanden, sondern als Assistenten schätzten.«

## Ab in den Magen

In Stuttgart entstehen in einem Labor ganze Flotten von Mikrorobotern, die kleiner sind als menschliche Zellen **VON CHRISTIAN HEINRICH**

Der Roboter, um den es hier geht, durchquert Ozeane, auf denen noch nie ein Boot unterwegs war, er kämpft sich durch zugewachsene Orte, die keine andere Maschine passieren kann. Dabei ist er weder besonders intelligent, noch hat er besondere Fähigkeiten. Aber die richtige Größe: unfassbar winzig.

Sein Durchmesser beträgt ein paar Hundert Nanometer, also nicht einmal ein Mikrometer (0,001 Millimeter). Zum Vergleich: Ein menschliches Haar ist etwa 70 Mikrometer dick. In dieser Dimension erscheinen die Flüssigkeiten im menschlichen Auge wie ein Ozean und die Magenschleimhaut mit ihren großen Molekülen wie dichtes Gestrüpp, das den Weg blockiert für alle nur geringfügig größeren Objekte. Sowohl im Auge als auch in der Magenschleimhaut hat unser Roboter in Versuchen bereits gezeigt, dass er sich tatsächlich darin fortbewegen kann.

Für ein derart kleines Objekt ist ein Putzschwamm ein Inferno, das darin enthaltene Seifenwasser führt schnell zu einer Sintflut. Deshalb hängt vor der Labortür von Peer Fischer auch ein Zettel: »Bitte nicht sauber machen.« Fischer ist Professor für Physikalische Chemie an der Universität Stuttgart und leitet die Forschungsgruppe »Mikro-, Nano- und Molekulare Systeme« am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme. Er und seine Kollegen haben die winzigen Roboter geschaffen. Namen gibt Fischer ihnen keine, er nennt sie nur Mikro-roboter. Fischer sagt: »Die kleinen Strukturen sind Pioniere. Sie eröffnen den Zugang zu einer Welt, die uns bislang verschlossen war.«

Auf der einen Seite träumt die Wissenschaft von der Weite des Weltraums. Am anderen Ende der Größenskala wagen sich Wissenschaftler immer weiter vor in die Welt der Atome, Moleküle und Zellen. Und je kleiner die Dimensionen werden, desto größer erscheinen die Welten, die sich hier eröffnen. *There is Plenty of Room at the Bottom*, es gibt viel Spielraum nach unten, so lautete der prophetische Titel eines Vortrags des amerikanischen Physikers Richard Feynman aus dem Jahr 1959. Peer Fischer und sein Team sind bei dieser Expedition in die Winzigkeit weltweit an der Spitze. Ihre Mikroroboter sind sogar um ein Vielfaches kleiner als eine menschliche Körperzelle mit 25 Mikrometer Durchmesser.

Die Technologie, die das möglich macht, ist komplex: In einer Vakuumkammer erwärmen die Forscher zum Beispiel Glas oder Silizium und ordnen mithilfe verschiedener Methoden Moleküle darauf so an, dass die Miniroboter entstehen. Peer Fischer ist also im Grunde Ingenieur. Nur brauchen seine Konstruktionen nicht Jahre, um gebaut zu werden, sondern Minuten. »Wir bauen gleich mehrere Milliarden unserer Wunschkonstruktionen in einem Rutsch«, sagt Fischer. Die Mikroroboter sind also nicht einzelne U-Boote, sie sind ganze Schwärme winziger U-Boote.

Das Herzstück des Miniroboters der Stuttgarter Mikroingenieure ist der Antrieb. Er ist der größte Stolz von Fischer. Denn andere Riesmoleküle und winzige Objekte bewegen sich nur passiv, etwa im

Blutstrom durch den menschlichen Körper. Sie sind in der Pharmakologie schon Standard, über Stunden setzen sie beispielsweise eine in ihnen gespeicherte Substanz frei. Um Dimensionen größer ist auch die Kapsel-Endoskopie, die bereits an mehreren Zehntausend Patienten eingesetzt wurde. Dabei handelt es sich um ein wenige Zentimeter großes Objekt von der Form einer Pille, das mit einer Kamera ausgestattet ist. Wenn der Patient die Kapsel schluckt, macht sie mehr als 50000 Bilder, während sie den Verdauungstrakt durchläuft, bis sie wieder ausgeschieden wird. Aber all diese Objekte können sich nicht eigenständig bewegen. Sie treiben eher wie Korken in einem Ozean, ohne durch eigene Kraft die Richtung vorgeben zu können.

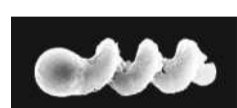
Eigene Bewegungsimpulse liefert erst der Antrieb der Mikroroboter von Peer Fischer. In einer Variante sieht er aus wie eine Schiffsschraube. Aktiviert wird er von außen durch Magnetfelder. In einer anderen Variante steuert ein Roboter gezielt in Richtung zuckerhaltiger Gefilde. Weil Enzyme – die Zucker brauchen – mit einem chemischen Antrieb dorthin steuern. Wenn sich das alles bewährt und weiterentwickelt wird, könnte es die Medizin in einigen Bereichen revolutionieren. Zum Beispiel ließen sich Arzneistoffe gezielt zum Wirkungsort transportieren – etwa zu einem Tumor, theoretisch sogar in dessen einzelne Zellen – und dort in hohen Dosen anwenden.

Andererseits bergen solche Roboter, die sich autonom durch den menschlichen Körper bewegen, auch enorme Risiken. Noch lassen sie sich nicht wirklich programmieren, doch wenn irgendwann Roboter gezielt bestimmte Zellen ansteuern und dort einen Wirkstoff abgeben, ist es auch bis zu einem Missbrauch der Technologie nicht weit. So wäre es zumindest denkbar, dass über die Miniroboter tödliche Gifte in den Körper eingeschleust werden.

Unabhängig von alledem ist da noch das menschliche Abwehrsystem, das dem Fortschritt im Wege steht. Denn die Roboter können dem Immunsystem nicht einfach auf die Schulter klopfen und sagen: »Hey, wir kommen mit guten Absichten.« Menschliche Abwehrzellen greifen alle Fremdkörper an, die als nicht körpereigen erkannt werden. Dabei legen sich die Zellen ähnlich wie eine Schlange um den Fremdkörper und nehmen ihn langsam in sich auf. Ein Mikroroboter, der nur den Bruchteil der Größe einer Immunzelle hat, würde so rasch außer Gefecht gesetzt. Werden im Blutkreislauf Fremdkörper von Immunzellen erkannt, kann das eigene Immunsystem auch überreagieren, was tödlich enden kann.

Zwar gibt es bereits Versuche, Partikel so zu beschichten, dass sie wie körpereigene Abwehrzellen aussehen. Doch selbst wenn man das Immunsystem austricksen könnte – in absehbarer Zukunft werden die Mikroroboter im Blutstrom nicht manövrieren, die Strömung ist viel zu stark.

Deshalb will Peer Fischer mit seinen Winzlingen zunächst im Auge und auf der Magenschleimhaut anfangen. Bislang experimentiert man zwar nur im Labor. In einigen Jahren aber, so hofft er, könnten die ersten Miniroboter ihre Arbeit im menschlichen Körper aufnehmen.



**Stärke:** Die Mikro-roboter können sich selbstständig in Körperflüssigkeiten bewegen  
**Schwäche:** Im Blut ist die Strömung für sie zu stark

ANZEIGE

Ein guter Jahrgang für meine Finanzen. Genau wie der letzte, vorletzte und vorvorletzte.

**Ausgezeichnete Beratung**

Als einzige Großbank erhalten wir zum vierten Mal in Folge den Titel „summa cum laude“ für exzellente Vermögensverwaltung und Beratungsqualität.\*



[hvb.de/privatebanking](http://hvb.de/privatebanking)

Das Leben ist voller Höhen und Tiefen. Wir sind für Sie da.

Willkommen bei der **HypoVereinsbank** Private Banking

Member of **UniCredit**

\*Elite Report: Die Elite der Vermögensverwalter 2017.