

# Roboter im Blut

**Medizin** Forscher basteln Nanomaschinen oder Minifähren, um Medikamente in den Körper zu schleusen. Bei Katzen funktioniert das bereits.

Wer durch das menschliche Gefäßsystem reisen könnte, wäre der beste Arzt der Welt. Durch das rund 100 000 Kilometer lange Netz würde er nahezu jeden Winkel des Körpers erreichen, um kaputte Organe zu reparieren oder gefährliche Viren zu killen.

Bisher war das Stoff für Science-Fiction. Im Film „Die phantastische Reise“ reisen auf Mikrobengröße geschrumpfte Helfer in einem U-Boot durch die Adern eines Patienten, um in dessen Gehirn ein Gerinnsel zu entfernen.

Jetzt, ein halbes Jahrhundert nach der Filmpremiere, verwandelt sich die Utopie in Realität; die ersten Systeme werden erprobt. „Die Nanowelt ist so greifbar wie nie zuvor“, sagt Rainer Haag, 48, der am Institut für Chemie und Biochemie der Freien Universität (FU) Berlin winzige Transporter für Medikamente entwickelt.

Eine Vielzahl von Methoden setzt auf die Mini-Helfer (siehe Grafik). Forscher vom Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Stuttgart haben mit Kollegen aus Spanien und China soeben das kleinste Düsentriebwerk der Welt in Betrieb genommen. Sie stellten dazu aus Siliziumdioxid Röhrrchen her, die mit einem Durchmesser von 220 Nanometern (milliardstel Metern) kleiner als Bakterien sind.

Die Nanoröhrrchen sind mit dem Enzym Urease beschichtet, das Harnstoff in Ammoniak und Kohlendioxid zerlegt; dabei wird Energie frei. Setzt man so ein Röhrrchen in eine Flüssigkeit, die Harnstoff enthält, dann bewirkt dessen Spaltung einen Rückstoß – wie bei einem Jet. In Experimenten erreichte die Nanodüse eine Geschwindigkeit von zehn Mikrometern in der Sekunde, das sind knapp vier Zentimeter in der Stunde. Bald soll sie erstmals durch das Innere einer Zelle flitzen.

Auch der kleinste Propeller der Welt kommt aus Stuttgart. Das Schraubchen, je nach Ausfertigung 300 Nanometer bis 3 Mikrometer lang, wird durch ein Magnetfeld zum Rotieren gebracht und bewegt sich nach vorn. „Weil der Mikropropeller durch die Maschenstrukturen in Geweben geht, könnten wir mit ihm den gerichteten Transport hinbekommen“, hofft der Physi-

## Fantastische Reise

Mögliche Methoden, Medikamente oder Werkzeuge zu Zielen im Körper zu bewegen

### Nanotransporter

Mit Medikamenten gefüllte Kugeln diffundieren in der äußeren Hautschicht zwischen den Zellen hindurch oder entlang der Haarfollikel.



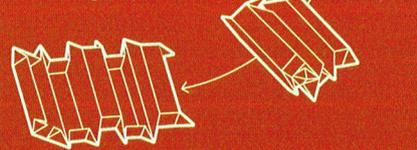
### Nanogele

Mit einem Krebsmittel beladene Knäuel gelangen im Blutstrom zum Tumor, wo ein niedrigerer pH-Wert herrscht. Dieser pH-Wert führt zur Freisetzung des Krebsmittels.



### „Origami“-Roboter

Der Patient schluckt eine Eiskapsel, die einen Mikro-roboter enthält. Im Magen schmilzt das Eis. Der Roboter entfaltet sich daraufhin und kann Fremdkörper wie Knopfzellen bergen.



### Nanodüse, Mikropropeller, Minipeitsche

Ein Röhrrchen wird durch eine chemische Reaktion wie ein Düsenflugzeug angetrieben. Ein Magnet bringt von außen ein Vehikel mit der Form eines Korkenziehers zum Rotieren oder Geißeln zum Schlagen.



ker Peer Fischer, 44, der am Stuttgarter Max-Planck-Institut die Gruppe Mikro-, Nano- und Molekulare Systeme leitet.

Einen Mikroroboter, der im Körper einfache Arbeiten ausführen kann, entwickeln Forscher am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge. Der Prototyp besteht aus Schweinedarm und anderen Materialien und wird, wie eine Origami-Figur, auf ganz bestimmte Art und Weise zusammengefaltet und in einer Kapsel aus Eis eingefroren. Diese Kapsel würde der Patient dann schlucken. Im Magen, nachdem das Eis geschmolzen

ist, soll sich der Roboter wie von Geisterhand entfalten und bereit für den Einsatz sein. Eine der Jobideen für ihn: verschluckte Knopfzellen abzutransportieren. Diese Batterien können Löcher in den Magen ätzen und werden bisher notfalls chirurgisch entfernt. Die Forscher bauten eine künstliche Speiseröhre sowie einen Magen, den sie mit einer Art Magensaft füllten. Den Roboter bestückten sie mit einem Magneten und schickten ihn auf seine Mission.

Es klappte; brav heftete sich der Mini-Falt-Bot an die Knopfzelle. Den Rest erledigten die Forscher von außen, indem sie ein magnetisches Feld anlegten und damit den kleinen Helfer zum Magenausgang manövrierten – im echten Patienten würde er dann samt Knopfzelle ausgeschieden.

Vor einem Einsatz am Menschen müssen die Wissenschaftler ausschließen, dass ihre Maschinchen unkontrolliert durch den Körper geistern. „Die Systeme müssen genau dahin gelangen, wo man sie haben will“, sagt Rainer Haag. „Und sie müssen so lange aktiv sein, bis ihr Job erledigt ist.“

Mit seinem Ansatz ist Haag diesen Zielen schon recht nahegekommen. Gemeinsam mit Kollegen hat er im Labor Kügelchen (Durchmesser ungefähr zehn Nanometer) aus einem besonderen Kunststoff hergestellt. Dieser ist offenbar verträglich und wird mit der Zeit abgebaut. Er ist fett- und wasserfreundlich und kann aus diesem Grund besonders gut in Gewebe dringen.

Forscher an der FU Berlin haben diese Nanotransporter mit einem Wirkstoff beladen und auf menschliche Haut aufgetragen. Im Vergleich zu einer herkömmlichen Salbe wurde der Wirkstoff bis zu siebenmal besser aufgenommen. Für Menschen mit Schuppenflechte etwa könnten die Kügelchen, beladen mit dem Arzneistoff Tacrolimus, eine große Hilfe sein. Bisher bleibt ein Gutteil des teuren Mittels in der äußersten Hautschicht hängen.

Der Nanotransporter aus Berlin wird schon an Patienten erprobt, allerdings nicht an Menschen: Alte Hauskatzen mit Schilddrüsenüberfunktion spielen hier die Versuchskaninchen. Die Tiere schütten vermehrt die Hormone Thyroxin und Trijodthyronin aus, was ihnen schlecht bekommt: Oft leiden sie unter Durchfall, sie magern ab, sind gereizt, es wachsen ihnen lange Krallen, das Fell verstruppt. Zwar gibt es Wirkstoffe dagegen, doch deren übliche Darreichungsform – als Tablette – fressen Katzen nicht gern.

Die Firma Dendropharm, eine Ausgründung der FU Berlin, testet derzeit eine Nanotransporter-Salbe, die einen Wirkstoff enthält. Die ersten Erfahrungen sprächen für die neuartige Medizin, sagt Haag. „Die Katzen mögen es ganz gern, wenn man ihnen das Ohr mit einem Pinsel bestreicht.“

Jörg Blech

Mail: joerg.blech@spiegel.de