

Wunderwerke der Evolution



Prof. Dr. Helmut Grubmüller ist seit 2003 Direktor der Abteilung für Theoretische und computergestützte Biophysik am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen. Seit 2005 lehrt er als Honorarprofessor an der Fakultät für Physik der Universität Göttingen.

Stellen Sie sich vor, in Ihrem Garten landet sanft, durch einen Rotor gebremst, eine seltsame Kapsel. Dieses merkwürdige Objekt ist nur wenige Zentimeter groß, hat es aber in sich. Handelt es sich etwa um eine Sonde einer außerirdischen Zivilisation – ein UFO? Es ist vollgepackt mit einer Nanotechnik, die der unseren weit überlegen ist. Im Vergleich erscheinen selbst unsere superminiaturisierten Halbleiter-Chips in etwa so grobschlächtig wie eine alte Dampflokomotive gegenüber unseren heutigen Chips.

Als ob das nicht schon genug wäre, ist diese Nanotechnik auch noch erheblich effizienter und sehr viel weniger störanfällig als alle menschliche Technik. Und sie bietet eine reiche Auswahl an Bauteilen: Nanomotoren, Nanosensoren, Nanopumpen, Filter, höchsteffiziente Solarzellen von der Größe einiger Nanometer, Energiewandler, Speicherelemente mit einer Kapazität von über einer Million Terabyte pro Kubikmillimeter, ganze Miniatur-Fließbandstraßen zur Fertigung eben dieser Maschinen und so weiter und so fort. Noch am Tag seiner Landung stürzen sich die besten Wissenschaftler auf dieses Wunderwerk und versuchen zu begreifen, wie Technik aufgebaut ist und wie sie funktioniert.

Science Fiction? Ein Traum? Mitnichten! Seit mehreren Milliarden Jahren perfektioniert die Evolution solche Nanomaschinen. Jede Zelle enthält all die genannten Wunderwerke; wir nennen sie schlicht Biomoleküle – Proteine, DNA, RNA. Und in der Tat stürzt sich eine rasch wachsende Zahl von Wissenschaftlern unterschiedlichster Disziplinen auf sie, um ihre Funktionsmechanismen aufzuklären.

Das ist freilich nicht so einfach, denn diese Nanomaschinen sind viel zu klein – und bewegen sich auch oft viel zu schnell –, um unter dem Mikroskop direkt bei der Arbeit beobachtet werden zu können. Einige der Mechanismen stützen sich buchstäblich auf die sorgfältig koordinierte Bewegung einzelner Atome. Erst in den letzten Jahren haben Physiker hinreichend empfindliche Techniken wie das Kraftmikroskop und optische oder magnetische Fallen entwickelt und verfeinert, die nun jene Kräfte messen können, die einzelne dieser Moleküle während ihres Arbeitszyklus ausüben.

Molekulare Motoren wie die rotierende F-ATP-Synthase, die in den Mitochondrien unserer Zellen vorkommt (siehe Physik in unserer Zeit 2006, 37(2), 73) oder der lineare DNA-Verpackungsmotor einiger Viren sind besonders eindrucksvolle Beispiele biologischer Nanomaschinen. So ähnelt die F-ATP-

Synthase frappierend einem Ottomotor: Hier wie dort gibt es antreibende Kraftstöße, eine sich drehende Kurbelwelle, sich bewegende Kolben – sowie eine enge Synchronisation zwischen beiden, die dem Motor seine Drehrichtung vorgibt. Der einzige Unterschied ist der Wirkungsgrad: Während der Ottomotor nur einen Bruchteil der thermodynamisch maximal möglichen Leistung erzielt, sind es bei der ATP-Synthase nahezu 100 Prozent

Moritz Mickler und Thorsten Hugel schauen in ihrem Beitrag in diesem Heft dem molekularen Verpackungsmotor des bakteriellen Virus $\Phi 29$ auf die „Finger“: Nach Zusammenbau der Hülle eines neuen Virus schiebt der Linearmotor in diese eine Kopie der viralen DNA hinein – gegen den beachtlichen Druck von 50 bar. Der Motor umschließt dabei die DNA wie eine Röhre. Die Messungen der Autoren legen nahe, dass diese Röhre abwechselnd gedehnt und gestaucht wird. Gleichzeitig lockert und festigt sich ihr „Griff“ um die DNA dergestalt, dass die DNA in die gewünschte Richtung vorangetrieben wird.

Die Münchner Physiker gaben sich mit dieser Erkenntnis nicht zufrieden. Ihr Ziel war es, selbst einen molekularen Motor zu bauen. Nur dann kann man schließlich behaupten, die

zugrundeliegenden Mechanismen verstanden zu haben. Sie wählten dazu Polymere aus optisch schaltbaren Azobenzol-Molekülen. Angetrieben durch kurze Lichtblitze durchlaufen diese Polymere periodische Längenänderungen, die über den Hebelarm eines Kraftmikroskops aufgenommen und in mechanische Arbeit umgesetzt wurden. Und in der Tat: Wenn auch der Wirkungsgrad dieses künstlichen molekularen Motors noch relativ gering ist – er läuft und läuft und läuft...

Wir haben gerade erst begonnen, einige Aspekte der großen Fülle unterschiedlicher Nanomaschinen zu verstehen, die auch das merkwürdige Objekt im Garten enthält. Es bleibt noch viel zu entdecken. Ich bin sehr gespannt darauf, welche Tricks uns diese hochkomplexen Biomoleküle noch lehren werden.

Und was war dieses UFO im Garten? Das war ein Ahornsamen, ein „Nasenzwicker“.

CHIPS SIND GROBSCHLÄCHTIG IM VERGLEICH ZU MOLEKULAREN MOTOREN