Sendereihe: Forschung und Gesellschaft

Datum: 27. September 2012

Zeit: 19:30 Uhr

Titel: Nanomaschinen: Der Sturm im Reagenzglas oder die unsichtbaren Maschinen

Autor: Holger Douglas

COPYRIGHT

Dieses Manuskript ist urheberrechtlich geschützt. Es darf ohne Genehmigung nicht verwertet werden. Insbesondere darf es nicht ganz oder teilweise oder in Auszügen abgeschrieben oder in sonstiger Weise vervielfältigt werden. Für Rundfunkzwecke darf das Manuskript nur mit Genehmigung von Deutschlandradio Kultur benutzt werden.

1.1 Atmo Sturm

SPRECHER

Wir können sie nicht sehen, wir wissen nicht, wie es im Inneren aussieht und wir werden es nie schaffen hineinzukommen. Wir wissen nur: Die Welten im Kleinsten sind vollkommen anders als die, die wir kennen und in der wir leben.

1.2 Atmo ICE rauscht vorbei

SPRECHERIN

In unserer Welt können wir durch Straßen gehen, es stehen Häuser, es fahren Autos und Züge.

1.3 Quirlende Atmo: fiktive Fahrt in Nanokosmos

SPRECHERIN

Könnten wir tiefer ins Innere unseres Körpers und unserer Organe in die Moleküle fahren, aus denen wir bestehen, würden wir einige Überraschungen erleben:

1.4 Sturmsymbole

SPRECHERIN

Stürmisch geht es zu, rau und extrem unwirtlich. Kein Ort, an dem wir uns aufhalten würden. Und doch wollen Wissenschaftler in diesen winzigen Welten Maschinen bauen - die kleinsten Maschinen der Welt. Zu reizvoll sind die Möglichkeiten, die sich dort bieten.

1.5 Herz pumpen

SPRECHER

Roboter, die durch unsere Blutbahnen tauchen und Reparaturen in unserem Körper vornehmen können. Molekulare Systeme, die Informationen speichern und sogar rechnen können. Maschinen, die sich selbst zusammenbauen.

kurz Musik hoch

SPRECHER

Doch noch sind die Wissenschaftler weit davon entfernt, etwas konstruieren zu können. Denn die Nano-Baumeister müssen bei ihren ersten Expeditionen erst einmal verstehen, wie diese kleinen Welten funktionieren. Und sie benötigen dazu Werkzeuge.

2 O-Ton Collage

Stellen Sie sich vor, Sie stehen auf einer einsamen Insel und es bläst ein Orkan von 300 km/h. Man befindet sich in einem ganz schlimmen Hagelsturm, und gleichzeitig, dass ist dann schwer sich das vorzustellen, bewegt man sich durch eine träge, viskose Masse, Was dort auf das Protein andonnert, ist sozusagen die Hölle. Da kommen Wassermoleküle mit hunderterten von Metern pro Sekunde angeflogen und donnern auf dieses Protein drauf, und es ist alles permanent in Bewegung. Man selber wird ständig hin und her geworfen, aber es fällt einem selber unheimlich schwer, Bewegung zu erzeugen. Es zerlegt Sie ab und zu, und dann werden Sie ab und zu in ein Fass von Teer getaucht. Ich glaube man kann es sich einig gar nicht vorstellen. Wir sind geprägt von unserer makroskopischen Welt. Da muß man einfach gewisse Randbedingungen hinnehmen, die auf der Nanometerskala gelten.«

SPRECHER

Wissenschaftler von der Technischen Universität München schildern, wie es aussehen würde, wenn wir uns ungefähr eine Milliarde mal kleiner machen und in Nanowelten eintauchen könnten. Sie wollen mit Baumaterialien aus biologischen Systemen neue Maschinen zusammensetzen, die auch Aufgaben erledigen können.

3 O-Ton

Das einzige, das einem letztendlich übrig bleibt, ist eben diese Energie, die von einem Sturm geliefert wird, umzusetzen in eine Bewegung in dem Medium, in dem man sich befindet. Und das ist im Grunde genommen das Geheimnis von den Nanomaschinen.

REGIE: Musik kurz hoch

SPRECHER

Hendrik Dietz, Professor für Biophysik leitet das »Dietz Lab« im Laboratorium für Biomolekulare Nanotechnologie an der Technischen Universität München. Das Ziel seiner Arbeitsgruppe ist die Erforschung neuer Methoden in biomolekularer Physik. Oder wie er plakativer formuliert: Basteln und Stricken auf der Nanoskala.

SPRECHERIN

Der erstaunlich junge Professor, der bereits in Harvard forschte, ist fasziniert vom Leben, das sich in den Zellen jedes Organismus abspielt. Rund 4000 bis 5000 Eiweiße arbeiten in einer einzigen Zelle nach einfachen Regeln. Alle Aufgaben sind miteinander verbunden, und es funktioniert perfekt. Und doch sind diese Welten völlig verschieden von der, in der wir leben.

4 O - Ton Dietz

Moleküle, die erleben so eine Welt. Und zum Beispiel, wie wir es kennen, dass man zum Beispiel Schwingungen haben kann, in denen, wenn man eine Feder auslenkt, die dann zum Beispiel vor und zurück schwingt, so etwas gibt es auf der Nanometerskala gar nicht. Wenn zum Beispiel etwas verformt wird aufgrund der großen Reibung im Lösungsmittel, gibt es so Kriechvorgänge. Und das ist total gegenintuitiv und hat ganz interessante Auswirkungen darauf, wie sich diese Moleküle eigentlich verhalten.

SPRECHERIN

Mit Intuition lässt sich für Menschen nichts mehr erfassen. Erfahrungen aus unserer großen, makroskopischen Welt gelten im Nanokosmos nicht.

5 O - Ton Dietz

Ein anderer Aspekt ist, dass diese Moleküle einem regelrechten thermischen Sturm, einem regelrechten Hurrikan unterworfen sind. Der auch sich total unserer Intuition entzieht sozusagen.

Ein wesentliches Element für die Funktion von Molekülen sind Fluktuationen. Es ist ungefähr so, wenn sozusagen, wenn Sie sich wie wild partiell immer wieder zerlegen würden und wieder zusammensetzen. Ihre Arme und Beine ganz schlimm herum wedeln würden und der Kopf ab und zu mal abfällt und wieder heransetzt, so müssen Sie sich das vorstellen, aber diese Arten von Strukturänderungen sind absolut essentiell für die Funktion von diesen Makromolekülen.

SPRECHER

Nanomaschinen - damit sind nicht jene Gebilde aus Silizium gemeint, die ähnlich wie Computerchips aus festen Stoffen hergestellt werden. Solche Gegenstände sind tote Materie - meist aus Kohlenstoffatomen zusammengebaut. Die Nanotechnologie, um die es hier geht, spielt sich im Reich der bewegten Materie ab. Deren Bausteine sind lebende Proteine, Eiweiß-Molekülhaufen, die frei herumwabern.

REGIE Musik kurz hoch

SPRECHERIN

Seitdem in den Vereinigten Staaten die ersten frappierenden Fortschritte gemacht wurden, dämmerte auch den Forschungsförderungsinstanzen hierzulande, dass sich dahinter womöglich eine sehr zukunftssträchtige Angelegenheit verbirgt. Forschungsgelder wurden bewilligt, neue Lehrstühle eingerichtet und deutsche Wissenschaftler kamen tatsächlich aus den Vereinigten Staaten zurück, um entsprechende Arbeitsgruppen zu leiten. Friedrich Simmel zum Beispiel, der früher in den berühmten Bell Labs in den Vereinigten Staaten forschte, untersucht nun an der TU München die Physik der Nukleinsäuren und ihre Anwendungen in der Bionanotechnologie. In seinem Chemielabor zeigt er auf ein großes Modell des DNA-Moleküls. Der berühmte Doppelstrang, zugleich Träger der Erbinformation, gehört zu den am besten erforschten Molekülen.

6 O-Ton Simmel

Diese Doppelhelix hat Eigenschaften, die man sehr gut kennt. Es gibt auch in der Chemie Bestrebungen, molekulare Maschinen herzustellen. Der Unterschied hier ist, dass die DNA ein ganz spezielles Baumaterial ist, das einem sehr große Designfreiheit gibt.

SPRECHER

Simmels Vision ist ein sich selbst organisierendes Molekularsystem, das sogar auf Einflüsse seiner Umgebung reagieren kann. Grundlage sind die berühmten vier Bausteine, aus denen das DNA-Molekül zusammengesetzt ist: Adenin, Thymin, Cytosin und Guanin oder kurz: A, T, C, G. Ein Durchbruch gelang vor zwölf Jahren, als die ersten künstlichen Strukturen aus Biomolekülen geschaffen wurden, die sich tatsächlich auch bewegten.

7 O - Ton Simmel

Die DNA Nanotechnologie ist natürlich ein bisschen älter. Sie ist Anfang der achtziger Jahre mit ersten Vorschlägen von Nadrian Seeman entstanden. Die Idee war, künstliche Strukturen aus DNA herzustellen.

SPRECHER

Der amerikanische Biochemiker Nadrian Seeman gilt als einer der Pioniere der biologischen Nanotechnologie. Bereits vor 30 Jahren entwickelte er erste Konzepte für eine Technologie, die auf DNA-Proteinen beruht. Er baute aus DNA-Molekülen einen Würfel und damit das erste dreidimensionale Nanoobjekt. Gleichzeitig entwickelte er Methoden, wie sich die vier Basenpaare der DNA zu ganz neuen Strukturen zusammensetzen lassen.

8 O - Ton Simmel

Dazu kommen viele technische Fortschritte, dass DNA heute synthetisch hergestellt wird, man kann beliebige DNA Strukturen chemisch synthetisieren. So dass wir solche Strukturen am Reißbrett gewissermaßen konstruieren können. Um künstliche Nanostrukturen erzeugen zu können. Im Grunde genommen ist damals die Zeit reif gewesen, dass eine gewisse technologische Entwicklung da war. Man kennt das Molekül sehr gut, so dass eben die Zeit erreicht war, wo man solche Dinge umsetzen konnte.

1.6 Atmo rauschendes Meer

SPRECHERIN

Arbeiten in der Nanowelt - das ist ungefähr so, als befände man sich auf einem Segelschiff im offenen Meer. Der Kapitän nutzt die Kraft des Windes für die Vorwärtsbewegung und versucht, die Natur für seine Zwecke zu Nutzen. Genau dies wollen Wissenschaftler mit Molekülen in den Nano-Welten.

1.7 Atmo Akustik geheimnisvolles Blubbern, Blasen

SPRECHERIN

Wenn man in diese Welten reisen könnte, würden sich vollkommen andere ‚Landschaften‘ eröffnen. Zum Beispiel: das Blatt eines Baumes. Fahren wir tiefer in das Blatt hinein, erkennen wir Adern und Blattmasse. Mit dem normalen Lichtmikroskop können wir gerade noch kleine Strukturen er-

kennen wie zum Beispiel die einzelnen Zellen oder Bakterien. Danach aber wird es schwierig. Nur mit Geräten wie Elektronenmikroskopen können wir dann Viren oder Aminosäuren sehen. Dann kommen wir bei unserer Fahrt in den sogenannten Nano-Bereich, den Bereich der Moleküle. Die sind so groß wie der Milliardstel Teil eines Meters. Hier geschieht Erstaunliches:

1.8 Atmo Sturm, Wind

SPRECHERIN

Die Luftteilchen bewegen sich - angetrieben von der Wärme der Umgebung. Denn Temperatur, das wissen die Physiker, ist nichts anderes als Bewegung von Teilchen. Je höher die Temperatur desto stärker bewegen sich Atome und Moleküle in Flüssigkeiten.

SPRECHER

Der britische Botaniker Robert Brown entdeckte, dass kleine in einem Gas oder in einer Flüssigkeit aufgelöste Teilchen unregelmäßige, zitterige Bewegungen machen. Je wärmer es ist, desto mehr Bewegungsenergie erhalten die Teilchen und desto heftiger bewegen sie sich - und umgekehrt. Diese Brownsche Molekularbewegung wirkt auch in den Welten des Nanokosmos.

1.9 Atmo leichtes Rauschen

SPRECHERIN

Es sind dieselben Vorgänge in der Luft, wie wir sie in unserer ‚großen‘ Welt auch erleben. Doch uns machen sie nichts aus. Wir sind schwer genug, um nicht gleich umgeworfen zu werden. Da muss schon ein starker Orkan her, um uns wegzublasen.

9 O-Ton Matthias Rief

Das ist etwas, was wir hier nie kennen. Wir empfinden Temperatur im Prinzip als Wärme, aber das ist nichts, was uns durch die Gegend bugsirt.

SPRECHER

Professor Matthias Rief ist Leiter des Lehrstuhles für Biophysik in München und untersucht die mechanischen Kräfte in biomolekularen Systemen.

10 O-Ton Matthias Rief

Das ist auf der molekularen Skala anders. Dort ist dauernd Bewegung, und das ist auch das, was die Proteine antreibt, dass sie sich selbst falten und auch wieder entfalten können. Also diese thermischen Kräfte muss man da mit berücksichtigen, und das ist etwas völlig anderes, als wir das in der makroskopischen Welt beispielsweise kennen.

SPRECHERIN

Weil die Objekte in der Nanowelt so extrem klein sind, sind die Bewegungen der Luft im Verhältnis zu ihrer Größe sehr stark. Das bedeutet, dass sie heftig hin und hergeworfen werden - Spielball der Winde oder der thermischen Bewegungen, wie Wissenschaftler sagen.

11 O - Ton Simmel

Wir merken kaum etwas von der thermischen Bewegung, und dominant ist die Bewegung von uns. Wenn wir jetzt auf dieser Nanoskala wären, dann würden wir die gesamte Zeit durch dieses Labor hier hin und hergeworfen werden, wir müssen unser Interview unter diesen erschwerten Bedingungen führen. Wir wären ständig in Bewegung, weil uns die Luftmoleküle hin und her reißen würden.

Musik kurz hoch

SPRECHER

Der Physiker Friedrich Simmel will jetzt in diesen Welten Nanomaschinen bauen:

12 O - Ton Simmel

Für mich als Nanotechnologe ist es jetzt natürlich die Aufgabe: Ich will eine künstliche Maschine bauen und nicht eine Maschine nehmen, die in der Natur bereits vorhanden ist.

1.10 Atmo Automotor wird angelassen

SPRECHER

Der Motor eines Automobils. Das sind die Maschinen, die wir seit langem kennen und die Ingenieure routiniert bauen. Wir können sie sehen, anfassen und auseinandernehmen und wieder zusammenbauen.

1.11 ruhige Laboratmo

SPRECHER

Die Werkstatt eines Maschinisten der Nanowelt sieht völlig anders aus: ein normales Chemielabor, Laborbänke, Reagenzgläser, Erlenmeyer-Kolben, Waagen, Kühlschränke mit unzähligen Materialien, vor allem mit vielen unterschiedlichen Proteinen. Das sind jene Rohstoffe, aus denen später einmal Nanomaschinen entstehen sollen. Die Werkzeuge der Nano-Techniker: eine Pipette und viele Flüssigkeiten, Lösungen und Enzyme. Die Arbeit der Biochemiker ist vom Prinzip her wenig abwechslungsreich: Ein paar Tropfen in eine andere Flüssigkeit hinein geben, erwärmen, warten, und prüfen, was passiert ist.

13 O-Ton Dietz

Was wir zunächst damit versuchen herzustellen, sind kleine Werkzeuge, mit denen ich wiederum mehr über gewisse Eigenschaften von Proteinen lernen kann. Zum Beispiel wollen wir herausfinden, wie stark gewisse Arten von Wechselwirkungen sind, die wir innerhalb von Proteinstrukturen finden, tatsächlich sind.

1.12 Atmo Automotor

SPRECHERIN

So leistet ein Automotor seine Arbeit: ein Treibstoff wie Benzin oder Diesel verbrennt und erzeugt dabei Wärme. Das verbrannte heiße Gas dehnt sich aus. Der Motor bewegt sich. Doch die Konstruktionsprinzipien im Nanobereich sind völlig unterschiedlich. Molekulare Maschinen erzeugen auch eine Kraft - nur auf eine völlig andere Art, sagt Matthias Rief.

14 O - Ton Matthias Rief

Allerdings sind natürlich die Dampfmaschinen – jetzt muss ich auch als Physiker sprechen – sind von ihrer Physik völlig verschieden von dem, was in einer Nanomaschine geschieht. Was macht eine Dampfmaschine? Oder auch ein moderner Automotor? Das ist alles im Grunde genommen dasselbe. Da wird Brennstoff verbrannt, in Wärme umgesetzt und diese Wärme wird dazu benutzt, irgendwelche mechanischen Teile anzutreiben. Das könnten Sie in unserem Körper gar nicht machen. Wir sind konstant bei 37°. Alles andere nennen wir ungut, unterkühlt oder Fieber. D.h., wir

wollen eine konstante Temperatur haben und haben somit überhaupt nicht die Möglichkeit, Wärme zu nutzen, um direkt Maschinen anzutreiben.«

SPRECHERIN

In einem Organismus wie dem menschlichen Körper verbrennt nichts. Er hat eine effektive Methode entwickelt, die Energie aus der Nahrung in sehr kleinen Einzelschritten abzubauen und sie etwa an den Muskelfasermolekülen abzuliefern. Enzyme zerkleinern sie chemisch, zerhacken sie gewissermaßen in vielen einzelnen Schritten in immer kleinere Einheiten. Dann übernimmt ein Molekül den weiteren Transport der Energie. Adenosintriphosphat - oder abgekürzt ATP - ist ein farbloser fester Stoff, der in fast allen Organismen eine zentrale Rolle spielt. Dieses Molekül transportiert Energie zu allen Zellen. Das große Molekül packt sich gewissermaßen ein energiereiches Phosphat und lädt es an seiner Endstation »Muskelzelle« wieder ab. Dabei wird Energie frei.

1.13 Atmo keuchender Sportler (nicht vorhanden, bitte aus Archiv)

SPRECHER

Ein Mensch, der läuft. Das Musterbeispiel einer gut funktionierenden Nanomaschine. Muskeln treiben ihn voran. Diese Muskeln wiederum bestehen aus Milliarden kleiner Maschinen. Sie wandeln chemische Energie direkt in Bewegung um.

15 O-Ton Matthias Rief

Dort haben wir chemische Reaktionen, also beispielsweise bei den ATP Molekülen - in unserem Körper wird das meiste an Energie über ATP zur Verfügung gestellt - das bindet an eine so eine Maschine und dann katalysiert die Proteinumgebung die Spaltung dieses ATPs, und dann wird Energie frei, aber die wird nicht in Wärme umgewandelt, sondern die zum Beispiel direkt in eine mechanische Bewegung umgesetzt. Und diese mechanische Bewegung kann weiter getragen werden und kann an anderen Orten im Protein wirksam werden.

SPRECHER

Die Muskelfaser zieht sich zusammen. Muskelarbeit kommt dadurch zustande, dass chemische Energie direkt in eine Änderung der Form und Länge des Moleküls umgewandelt wird.

16 O-Ton Matthias Rief

Da wird ein ATP gespalten, und dann klappt irgendein Teil zurück und zieht dann sozusagen einen Teil des Muskels mit. Und wenn das viele gleichzeitig machen, dann gibt es die Muskelbewegung.

SPRECHER

Die Muskelbewegung entsteht also, wenn Milliarden winziger Moleküle ihre Form ändern.

17 O-Ton Matthias Rief

Konformationsänderungen, Formänderungen sind der Schlüssel, wie Proteine in unserem Körper wirken.

REGIE Kurz Musik hoch

SPRECHERIN

Doch diese Strukturen sieht man nicht. Nur mit Hilfe von raffinierten Tricks gelingt es Wissenschaftlern, zu überprüfen, ob die Nano-Maschinen auch das gemacht haben was sie sollen.

18 O-Ton Matthias Rief

Ein ganz wichtiger Hinweis darauf ist der, dass wir genau wissen, wie lang dieses Protein sein soll. D.h., wenn wir dran ziehen und es entfalten, dann wird es auch ausgestreckt sein. Aber es ist ganz genau definiert, wie viele Aminosäuren da drin sind, d.h. sie können auf den Nanometer genau ausrechnen, wie lang die Kette ist. Wir brauchen Hände und müssen dieses Protein genau an einer definierten Stelle anzugreifen. Und wie schaffen wir das? Wir können chemische Gruppen an die Enden des Proteins einfügen. Das machen die Bakterien für uns. Und daran fügen wir mit einer synthetisch erzeugten DNA-Molekülen Handgriffe, die dann an Antikörpern, die auf unserem Molekül sitzen, angebunden werden, und so bekommen wir eine ganz genau designte Verbindungskette, nämlich eine mechanische, an der das Einzelprotein steckt, das dann genau untersucht werden kann.

19 O - Ton Simmel

Was wir machen, ist jetzt diese Sequenzen geschickt genug zu wählen, damit die Struktur gebildet wird, die wir uns wünschen. Und nachdem sehr viel über diese Bindung bekannt ist, die Energie, die in den Bindungen drin steckt, kann sehr sehr gut vorher berechnet werden, können wir also die meisten Eigenschaften vorher berechnen. Von daher können wir bestimmen, wie sich nachher die

DNA-Stränge in der Lösung zusammenfinden. Und mit einer sehr hohen Sicherheit machen die dann auch das, was wir uns wünschen.

1.14 (Atmo im Labor optische Falle)

SPRECHERIN

Matthias Rief zeigt in seinem Labor im Kellergeschoß der Technischen Universität die Apparatur, mit der er nachweist, dass Proteine tatsächlich das machen, was die Wissenschaftler wollen. Ein Versuchsaufbau aus der Optik. Grundlage ist eine sehr massive und schwere Platte, die schwingend aufgehängt ist. Keine Erschütterungen von vorbeifahrenden Lastwagen oder U-Bahnen sollen die Versuche stören. Schwarz ausgeschlagen und mit schwarzen Platten abgedeckt sind die Strahlengänge, Spiegel lenken Laserlicht. Dünne, grüne und rote Punkte flimmern. Eine optische Falle, erklärt Matthias Rief.

20 O-Ton Matthias Rief

Wir sind Fallensteller, wenn Sie so wollen. Das ist richtig. Es ist eine Falle in dem Sinn, dass sie Kugeln einfängt. Also wir müssen unsere Proteine an irgendetwas dran binden, ich habe erklärt, dass das über eine DNA geht, die am Ende über Glaskugel angebunden ist. Glaskugeln sind so Objekte, die man auch noch sehen kann in einem Mikroskop, und die müssen irgendwie manipuliert werden. Die sind 1/1000 mm nur, das heißt, sie können sie nicht leicht anfassen mit ihren Fingern. D.h. dann nehmen wir Laserstrahlen. Es ist jetzt auch schon gezeigt worden in den siebziger Jahren, dass Laserstrahlen, wenn sie fokussiert sind, dass die in der Lage sind, Kugeln einzufangen.

SPRECHER

Mit dieser komplizierten Apparatur können die Wissenschaftler nachweisen, dass ein Molekül auch wirklich vorhanden ist.

21 O-Ton Matthias Rief

Wir nutzen also das Laserlicht aus, um Kugeln, kleine tausendstel Millimeter große Kugeln einzufangen, um dann die Kraft, die dieses Laserlicht ausübt, direkt auf die molekularen Motoren zu übertragen, und die sind dann in einer ähnlichen Größenordnung, die ermöglicht uns also, diese Technik, tatsächlich in Kontakt zu treten mit einem Einzelmolekül.

SPRECHER

Jedes unterschiedliche Molekül hat eine bestimmte Länge. Wie mit einem Zollstock die Länge von Bausteinen bestimmt werden kann, so messen die Wissenschaftler die Länge der Moleküle und können so darauf schließen, um welche Moleküle es sich handelt.

22 O-Ton Matthias Rief

Ein Hinweis darauf, dass das, was wir angegriffen haben, auch wirklich in der optischen Falle sitzt, ist, dass diese Längenänderungen auf den Nanometer ganz präzise gleich sein müssen. Sie sehen also Entfaltungsübergänge, und irgendwann ist es ausgestreckt, dann können Sie abzählen, wie viele Aminosäuren sie angegriffen haben. Sie können genau sagen, das kann nur dieses Protein sein, weil ein anderes Protein hätte dann wieder eine andere Länge.

SPRECHER

Das ist Grundlagenforschung. Es ist noch ein weiter Weg bis zu den ersten Maschinen, die einmal in Proteinfabriken hergestellt werden sollen.

1.15 Atmo Technikum hoch

SPRECHERIN

Die Fertigungsroboter der Nanowissenschaftler sind in Tanks und Reaktoren aus Edelstahl verborgen. Es sieht aus wie in einer chemischen Fabrik, und es ist auch eine kleine. Wir sind in einem sogenannten Technikum, der Vorstufe zu einer ausgewachsenen Chemiefabrik. Hier soll ausprobiert werden, ob es auch in einem größeren Maßstab funktioniert, was Forscher in ihren Reagenzgläsern entwickelt haben.

In solchen Anlagen könnten in Zukunft Nanomaschinen hergestellt werden. Im Inneren dieser Tanks sollen Mikroorganismen arbeiten und große Mengen der Proteine ausspucken, die als Nanomaschinen eingesetzt werden. Diese Mikroorganismen sind so programmiert, dass sie wissen, wie sie die Nanomaschinen zusammenbauen müssen.

23 O - Ton Dirk Weuster-Botz

Am Ende hat man dann das reine Protein in der Hand, was man sehen kann in dieser Flasche, da ist getrocknetes Protein drin, das aus Mikroorganismen gewonnen wurde.

SPRECHER

Der Professor für Verfahrenstechnik Dirk Weuster-Botz stellt die zuckerdosengroße Flasche auf den Labortisch und nimmt ein Bild in die Hand.

24 O - Ton Dirk Weuster-Botz

Das ist eine Rasterelektronenmikroskopaufnahme von solchen Mikroorganismen, die für uns die Arbeit machen. Wir nutzen also die Natur, informieren die Natur, wie sie für uns bestimmte Nanomaschinen herstellen sollen. Das ist eine einmalige Gelegenheit für unsere Wissenschaftler, hier an der TUM, dass sie fast beliebige Mengen in die Hand kriegen können, also mal die Flasche auf den Tisch stellen können.

1.16 (Technikum)

SPRECHER

Eine solche mit Proteinen gefüllte Flasche bedeutet für Biochemiker, die sonst in tausendstel Gramm rechnen, bereits ein ganzes Universum. Synthetische Biotechnologie nennen die Wissenschaftler diese Technik.

25 O - Ton Dirk Weuster-Botz

Bisher nutzen wir einfach die Werkzeuge der Natur, die ja sehr divers sind, wo ganz viele Funktionalitäten schon vorhanden sind, aber für technische Anwendungen haben diese Werkzeuge einfach Limitierungen, weil bisher nur die Evolution diese Werkzeuge gestaltet hat, aber wir für technische Anwendungen ganz andere Funktionalitäten benötigen. Das ist die große Herausforderung, um die Natur zu nutzen, um neue Nanomaschinen zu schaffen, die dann für industrielle Anwendungen genutzt werden können.

SPRECHER

Doch bis die ersten künstlich hergestellten kleinsten Maschinen der Welt aus solchen Fabriken ausgespuckt werden, dürfte noch viel Zeit vergehen. Der Physik-Professor Friedrich Simmel:

26 O - Ton Simmel

Also ein Ziel, das wahrscheinlich weiter in der Zukunft liegt, ist, dass man tatsächlich molekulare Motoren baut, die in künstlichen Nanofabriken Material transportieren von einem Punkt zum anderen. Das ist vermutlich dann eher Zukunftsmusik. Es ist aber doch ein sehr anregendes Ziel.

1.17 Technikum

SPRECHERIN

Näher liegt, Mini-Maschinen zu bauen, die durch den Organismus kreisen und beispielsweise Arzneistoffe sehr gezielt abgeben können.

27 O - Ton Simmel

Hier gibt es viele Ideen, wie man aus DNA entweder Sensoren bauen kann, die in Zellen funktionieren. Oder auch Objekte schaffen kann, die nur unter bestimmten Bedingungen Wirkstoffe, die an sie gebunden sind, freisetzen. Also da gibt es diese Schlagworte „controlled delivery“, kontrollierte Abgabe, intelligent drugs.

SPRECHERIN

Die Forscher wollen Systeme schaffen, die selbstständig mehrere Schritte machen, autonom über mehrere Operationszyklen arbeiten und dann auch Entscheidungen treffen, ob sie das eine oder das andere tun. Ein Grund liegt in der ... Bequemlichkeit.

28 O - Ton Simmel

Tatsächlich ist es so, dass in der Vergangenheit immer ein Student gewissermaßen DNA Stränge zu einer Lösung dazu pipettiert. Und dann macht die DNA-Maschine einen Schritt, dann muss der Student ein paar Minuten oder Stunden später den nächsten Strang dazu pipettieren. Dann machte den nächsten Schritt. Das ist natürlich relativ unattraktiv. Deswegen beschäftigen wir uns schon seit einigen Jahren damit, künstliche chemische Regelkreise zu schaffen, die kontrollieren, wie sich DNA Nanomaschinen verhalten. Das ist so der Punkt, an dem wir letztendlich an die synthetische Biologie ankommen, wo man also versucht, künstliche genetische Schaltkreise zu bauen, die beeinflussen, wie sich solche Nanomaschinen verhalten.

REGIE Kurz Musik hoch

SPRECHERIN

Und hier kommt ein neuer Begriff ins Spiel, der in der biologischen Nanotechnologie eine überragende Rolle spielt. Denn niemand schreibt den Molekülen vor, was sie zu tun haben. Die entscheidende Frage: Woher weiß das Molekül, wie es sich verhalten soll?

Das Stichwort heißt Selbstorganisation.

Matthias Rief hält ein langes, zusammengefaltetes Knäuel aus dünnem Draht in Händen.

29 O-Ton Matthias Rief

Sie sehen hier viele Schlangenlinien und diese Form bildet sich bei einem Protein von selbst. Niemand sagte dem Protein, was für eine Form es annehmen muss, es muss es selbst wissen. Und dieser Prozess der Faltung ist etwas, was wahnsinnig wichtig ist für die Funktion später. Das muss ja dann – wenn es dann ein wirkliches Molekül ist – ein molekularer Motor sein, eine ganze Maschine, und wir studieren zum Beispiel von der entfalteten Kette, wie sich dieses Molekül spontan in die richtige dreidimensionale gefaltete Struktur auffaltet. Das ist ein Ziel, das wir mit unseren Methoden erreichen wollen.

SPRECHER

Mittlerweile drehen sich in den Laboratorien der Forscher die ersten kleinsten Strukturen - gebaut aus DNA-Molekülen. Zum Beispiel ein Roboter, der ganze 70 Nanometer groß ist. Wahrhaft verblüffend sind die Leistungen dieser kleinsten Maschinen der Welt: Die Mini-Motoren drehen sich mit 100 000 Umdrehungen pro Minute. So schnell bewegen sich in der richtigen Welt die Turbinen eines Flugzeuges. Solche Maschinen hat jeder Mensch milliardenfach in sich. Im Organismus erzeugen sie Energie: sie drehen sich genau so schnell. Bei jeder Umdrehung produzieren sie genau drei Moleküle unseres Energieträgers ATP.

SPRECHERIN

Langfristiges Ziel der Wissenschaftler ist es, autonome molekulare Systeme zu erzeugen. Doch noch wird man lange damit beschäftigt sein, die Konstruktionsregeln der Natur zu verstehen.