Frankfurter Allgemeine
ZEITUNG FÜR DEUTSCHLAND
Herausgeben von Jürgen Jeske, Berthold Kohler, Hugo Müller-Vogg, Günther Nonnenmacher, Frank Schirrmacher
Mittwoch, 1. November 2000, Nr. 254/44 D
2,00 DM D 2954 A

Vom Nutzen der allerkleinsten Teilchen für unser Leben

Aufatmen über das Ausscheiden des alten Adam: Es gibt keinen Grund, sich vor der Nanowelt zu fürchten / Von Wolfgang Heckl

Die Miniaturisierung technischer Systeme geht inzwischen mit einer solchen Geschwindigkeit vor sich, daß die Schaffung völlig neuer, für das bloße Auge unsichtbaren Welten in greifbarer Nähe scheint. Welche Gefahren aber drohen beim Vorstoß in den Nanokosmos? Der Münchner Nanotechnologe Wolfgang Heckl wurde von der Warnung Bill Joys aufgeschreckt, der die Entwicklung selbstreplizierender Nano-Maschinen als Sackgasse in eine weitere ökologische Katastrophe betrachtet. Heckl hält derartige Untergangsszenarien für forschungsfeindlich und ebenso abwegig wie die nanotechnologischen Utopien der Fortschrittsoptimisten. Als einer der führenden deutschen Nano-Forscher er erregt ihn insbesondere Bills Joys Forderung nach Forschungsverzicht. Die Forschung sollte weiter vorangetrieben werden, und zwar uneingeschränkt. Auch Heckl glaubt, daß wir am Beginn einer dritten industriellen Revolution stehen. Mit seinem Plädoyer reagiert er auf die in diesem Feuilleton geführte Debatte. F.A.Z.

Was soll man glauben im Zeitalter der aufkommenden Nanotechnologie? Den Vorhersagen von optimistischen Futuristen, die uns ein verlängertes Leben, die Heilung unserer Gebrechen mittels Nano-, Bio- oder Gen-Technologie, die Übernahme aller schweren und gefährlichen Arbeiten durch intelligente Roboter und den routinemäßigen Austausch von defekten Körperbauteilen versprechen? Oder denen von Berufspessimisten, die nach der Atom- und Gentheamatik nun ein neues Betätigungsfeld für ihre immer gleichen apokalyptischen Prognosen wittern und uns vor dem Untergang der Menschheit durch eine globale Ökokatastrophe, ausgelöst durch sich exponentiell verbreitende künstliche Nanoviren (à la radioaktiver Kettenreaktion) warnen?

Ein Blick ins Buch der schnell zusammengewürfelten kollektiven Weisheit der Menschheit hilft nicht viel weiter. Auf der mehreren zehntausend Treffern im World Wide Web zum Stichwort Nano findet sich eine schier unüberschaubare Menge von Material zu diesem Thema. Das reicht von streng wissenschaftlichen Ansätzen, wie beispielsweise im Münchner Center for NanoScience (CeNS), über Eric Drexlers mit Links vollgestopften Seiten seines Foresight Institutes bis hin zu Ralph Merkles und Robert A. Freitas' Beiträgen zum biovoren Nanoreplikator.

Bei meinem Besuch in Palo Alto bei der Weltfirma Xerox vor fünf Jahren staunte ich nicht schlecht, als mir Ralph Merkle bei seiner freundlichen Begrüßung als erstes eine Ausgabe des deutschen Playboy entgegenstreckte und mit Stolz darauf hinwies, daß seine molekularmechanischen Computeranimationen zum Beispiel von lasergespeisten Nanoröhrengetrieben – und noch wichtiger: er selbst – neben den Starlets abgebildet war. Merkles Ausführungen machten mir schlagartig klar, daß das, was wir im konservativen Europa ganz zaghaft in akademischen Kreisen diskutierten, in den Vereinigten Staaten längst als großer gesellschaftlicher Paradigmenwechsel vorbereitet wurde. Als Konsequenz der Endlichkeit der Miniaturisierung (nach dem Mooreschen Gesetz) lief alles auf eine nanobiotechnologische Produktionsweise hinaus, die unser gegenwärtiges Siliziumzeitalter ablösen sollte.

Der amerikanische Präsident hat vom National Science and Technology Council NTSTC unter der Leitung von Richard W. Siegel eine Studie für die Nanotechnologie erstellen lassen, in deren Zusammenhang dem Präsidenten ein sofortiges und großangelegtes nationales Engagement auf allen Bereichen der Nanowissenschaften von der Gesundheitsvorsorge über Elektronik und Computer- und Informationstechnologie bis hin zu militärischer Forschung empfohlen wird. Um die Vereinigten Staaten ein weiteres Mal in eine günstige Ausgangsposition im Kampf um künftige Märkte zu versetzen, hat der amerikanische Präsident erst kürzlich eine Initiative für einen neuen Forschungszweig Nanotechnologie initiiert und mit fünfhundert Millionen Dollar allein für das laufende Jahr ausgestattet. Ein ungeheures Marktpotential wird also vermutet, aber auch militärische Gesichtspunkte spielen eine Rolle. Da mutet es natürlich ziemlich weltfremd an, wenn ein Bill Joy fordert, daß man die wissenschaftliche Forschung auf dem Gebiet der Nanotechnologie gänzlich lassen sollte, weil sie zu gefährlich ist. Wenn er dann ferner vorschlägt, solche Forschung doch in Sicherheitslaboratorien unter internationaler Kontrolle auszuführen, könnte dieser gutgemeinte Ratschlag natürlich auch als Geheimhaltung unter US-amerikanischer Führung verstanden werden, denn an die Beteiligung von Drittländern ist wohl nicht zu denken. Dies ist besonders gravierend bei einer Technologie, bei der auch eine relativ moderate Forschungsinfrastruktur und ein bescheidener Mitteleinsatz eine Chance auf Anschluß an die entwickelte Welt bedeuten könnte. Und wer richtet sich eigentlich gegen all die konventionelle Forschung, Entwicklung und Vermarktung von militärischen Gütern, die eindeutig nicht zum Wohle der Menschheit geschieht?

Ralph Merkle hat mittlerweile Xerox verlassen und in der üblichen Weise seine eigene Start-Up-Company gegründet. Hier wurde auch die Studie erstellt, die Verhaltensempfehlungen für ein altes Hirngespinst der amerikanischen Nanotechnologen um Eric Drexler wiederaufnimmt. Als ich 1995 Gelegenheit hatte, mit dem ansonsten recht schwer zugänglichen Drexler zu sprechen, hatte ich ihn schon auf dieses „gray goo"-Problem, die graue Schmiere der Nanoroboter, die sich nach einem nanotechnologischen Unfall selbst vermehrend und unaufhaltsam über das irdische Ökosystem hermachen, angesprochen. Drexler, von Gestalt eher unscheinbar, mit fast lispelnder Stimme sprechend, hatte auf einem Münchner Symposion vorgetragen und dabei seine bekannten Szenarien von einer schönen neuen Nanowelt wiederholt. Im persönlichen Gespräch war er mir allerdings viel sympathischer: Übertreibung in den öffentlichen Äußerungen gehört offenbar zum amerikanischen Grundhandwerk, sonst hört keiner zu. Unter den Kennern der Nanotechnologie, so sagte er, ist schon seit langem das Problem der sich selbst replizierenden nanometrischen Maschinen bekannt, die sich wie eine Geißel in wenigen Tagen über unsere ganze Biosphäre ausbreiten und dabei als Nahrung alles Biomaterial und letztlich auch uns Menschen verbrauchen könnten.

Als er offenbar das ungläubige Staunen in meinen Augen erkannte, fügte er schnell hinzu, daß wir schon heute Schwierigkeiten hätten, Bazillen jeglicher Art im Zaum zu halten, daß er aber Ideen hätte, so etwas zu verhindern. Diese Ideen, schon in seinem Buch „Engines of Creation" von 1985 verbreitet, waren wohl auch der Ausgangspunkt für die immer wieder auftauchenden Horrorszenarien im Zusammenhang mit Unfällen bei sich selbst replizierenden Assemblern. So heißen jene künstlichen Nanomaschinen, die bei einer solchen Katastrophe aus elementaren Ausgangsstoffen durch beschleunigtes Wachstum nicht die gewünschten molekularen Maschinen wie medizinisch einsetzbare Proteine oder elektronische Miniaturschaltkreise, sondern diesen grauen Schleim produzieren würden. Wieder das archaische Szenario der Bedrohung und Vernichtung der Welt, ähnlich wie es der Film „Outbreak" zeichnet oder H. G. Wells' Stück „War of the Worlds".

Aber wo die Gefahr wächst, sagt Hölderlin, wächst auch das Retten-de, und da können wir aufatmen. Robert A. Freitas Jr. hat uns vorgerechnet, daß es auch ganz natürliche Grenzen für diese globale „Ecophagy" gibt. Im – nach seinen eigenen Worten – ersten systematischen Risiko-Assessment der Molekularen Nanotechnologie (MNT) analysiert er die Voraussetzungen einer solch katastrophalen erdweiten Konvertierung von Bio- zu Nanomasse. Natürlich kommt er zu dem Schluß, daß *gray goo* als deprimierendes Ende des menschlichen Abenteuers auf der Erde höchstwahrscheinlich nicht eintreten kann, weil der Aufbau der biovoren Nanobots so kompliziert wäre, daß das Informationsübertragungsproblem nicht zu lösen ist. Wie einfach macht es sich hier beispielsweise das Leben, das für seine Blaupause nur vier verschiedene Moleküle in vierundsechzig mögliche Triplets zur Proteincodierung verwendet.

Zudem gibt es natürlich das prinzipielle Problem, daß die Ressourcen in Form von geeigneten Atomen und Molekülen zur Replizierung bereitgestellt werden müßten. Und schon Bakterien überleben den toten Wirt nicht, wie sollten da genügend Ausgangsstoffe in der richtigen Zusammensetzung am richtigen Ort verfügbar sein. Um beispielsweise die Lithosphäre in Nanomasse und -maschinerie zu verwandeln, bräuchte es natürlich auch Energiequellen wie etwa natürliche Radioaktivität, Geowärme oder Sonnenenergie. Biologische Systeme kommen typischerweise mit 102 bis 106 Watt aus, es reicht also, etwas salopp formuliert, schon die Leistung einer Glühbirne für den Erhalt eines Kubikmeters lebender Biomasse. Auch die terrestrischen Kohlenstoffreserven reichen wohl nicht aus, um das „Worst-case-Szenario" Freitas' zu verwirklichen, das eine minimale globale Ausbreitungszeit von zwei Sekunden nach einem Replibot-Unfall voraussieht – bei einer angenommenen Zahl von 1012 gleichzeitigen Ausbreitungsstellen und einer mittleren Distanz von zwei Metern dazwischen. Also ist es wohl aussichtsreicher, mit Stanislaw Lem diese Art von Habitat auf einem fernen Planeten mit günstigeren Bedingungen zu suchen statt hier bei uns auf der Erde.

Die wirklichen Herausforderungen bleiben also die alten; wir haben genügend Probleme mit Prionen und HIV, mit Ebola und all den anderen Katastrophen, die man als begrenzte Form eines *gray goo* betrachten könnte, wobei unter dem Aspekt, daß ein evolutionärer Vorteil auch auf der molekularen Ebene im Sinne Darwins prinzipiell neue Systeme erzeugen könnte, Wachsamkeit geboten ist. In diesem Zusammenhang muß ich immer an die Star-Trek-Serie Gene Roddenberrys denken, die mich als Jugendlicher begeistert hat, allerdings stets nur um die uralten Menschheitsprobleme kreiste. Und darum geht es auch heute noch, und wird es immer gehen, solange wir Menschen nicht von Bill Joys Robotern mit Hybridgehirnen ersetzt wurden.

Entwarnung also an dieser Stelle. Trotzdem aber gibt es, wie in den Vereinigten Staaten üblich (man erinnere sich nur an die Zeit der Atomangriffsszenarien), spezifische Empfehlungen für die öffentliche Politik. Wenn der kleinste plausible biovore Nanoreplikator mit einem Molekulargewicht von zirka einem Gigadalton und einer minimalen Replikationszeit von hundert Sekunden eine globale Ökokatastrophe in zehntausend Sekunden ermöglicht, sollte man, so die Empfehlung, ein sofortiges internationales Moratorium für alle Experimente im Zusammenhang mit künstlichen Leben im Rahmen von nichtbiologischer Hardware implementieren. Des weiteren wird eine kontinuierliche Satellitenüberwachung der Erdoberfläche im Infrarotbereich gefordert, um zum einen eine kontinuierliche Überwachung des Inventars an Biomasse sicherzustellen (eine auch aus anderen Gründen wie der Nahrungsmittelversorgung vernünftige Forderung), aber auch um sich schnell ausbreitende künstliche Hotspots, ein energetischer Fingerprint eines Nanobotunfalls, sofort entdecken und bekämpfen zu können.

Drittens wird gefordert, eine Langzeitforschungsinitiative zu starten, die die Voraussetzungen schafft, um nötigenfalls solchen ökophagen Replikatoren entgegentreten zu können. Hier denkt man an molekularmechanische und molekulardynamische Simulationen, auch an die in der Militärwelt üblichen Protokolle zur computerunterstützten Freund-Feind-Identifizierung, und, wer hätte es anders erwartet, an das Design und den Aufbau von nanorobotischen Verteidigungssystemen und die dazugehörige Infrastruktur. Dürfen wir demnach ein Nano-SDI erwarten?

Aber auch die schöne neue Nano-Welt gibt es als Szenario zu bestaunen. Kürzlich sah ich einen Clip, in dem ein Mann, nach getaner Arbeit seinen Nanoreplikator, der für mich wie eine Art hypermoderner Mikrowellenofen aussah, so programmierte, daß aus einem entsprechenden Elementegemisch aus der Tütte ein Steak in wenigen Sekunden entstand. Wir wunderten, wozu wir die Veredelungsmaschinen aus der Massentierhaltung nicht mehr benötigen würden.

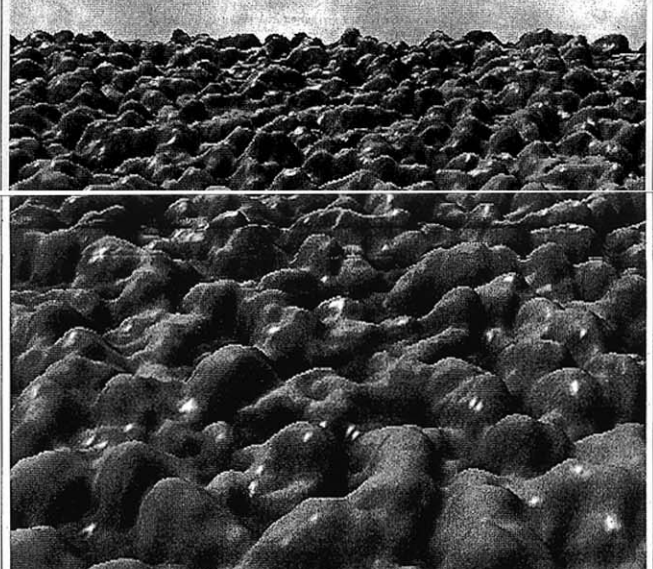
Auch die Weiterentwicklung der Informationstechnologie durch Miniaturisierung wäre durchaus ein lohnenswertes Ziel. Wenn wir es schaffen würden, die ersten Ansätze unseres molekularen Schreibens, das mit ungefähr hundert Molekülen einen Buchstaben schreiben kann, zu einer Technologie fortzuentwickeln, indem das Problem der Parallelisierung, wohl an molekularmechanische und der Zuverlässigkeit und der Geschwindigkeit gelöst werden könnte, könnte man theoretisch ungeheure Speicherdichten bis zu zehn Terabyte pro Quadratzentimeter erreichen, die den gesamten Datenbestand der bayerischen Staatsbibliothek aufnehmen könnten. Aber wer sollte die Daten alle einlesen? Wer garantiert, daß der Speicher anders als das Papyrus über Tausende von Jahren nicht biologisch abgebaut wird? Dieser Umstand könnte sich aus der Verwendung von organischen Molekülen als Speichermoleküle ergeben, die als Nahrung für andere Lebewesen dienen könnten. Natürlich wäre solch ein Bio-Nano-Bauteil aber auch leicht zu entsorgen, somit auch ein Vorteil gegenüber dem heutigen schwermetall- und chemikalienhaltigen Arsenschrott. Nanotechnologische Unfallszenarien oben geschilderter Art kann ich hier weit und breit nicht sehen.

Auf dem Markt gerade neu eingeführte erste Produkte der Nanotechnologie wie etwa Nanopartikelbeschichtungen, die Kunststoffbrillengläser hart und damit kratzfest oder Glas flammenhemmend machen, scheinen mir doch erstrebenswert und machbar zu sein. Wie schön wird es sein, künftig auf das lästige Waschbeckenputzen und auf die Spülmaschine verzichten zu können, weil eine intelligente Nanobeschichtung die Schmutzpartikeladhäsion verhindert. Die Wäsche muß kaum noch oder nur bei niedrigeren Temperaturen gewaschen werden, weil sie schmutzabweisend behandelt wird. Bauwerke müssen nicht mehr gereinigt werden, Holz wird nicht mehr modrig, und Bodenbeläge bleiben immer sauber dank der neuen Möglichkeiten der hydrophob-oleophoben Nanobeschichtungen.

Es scheint sich noch eine dritte Schiene in der Diskussion um die Nanotechnologie abzuzeichnen. Sie behauptet, daß wir es eigentlich nur mit einem großen Hype zu tun haben, daß dies doch alles nichts Neues ist, daß die Protagonisten des Schauspiels ja eigentlich gar keine wirklichen neuen Erfolge vorweisen können und nur alte Kunst in neue Schläuche gießen. Der Materialwissenschaftler Rustum Roy meint beispielsweise, daß es eigentlich viel wichtiger wäre, Giga statt Nano zu fördern, daß also die lohnenswerten Probleme der Menschheit mehr in der großtechnischen Filtration von Wasser oder der energieärmeren Produktion der jährlich eineinhalb Milliarden Tonnen verbrauchten Zements liegen. Nicht Nanotechnologie, die Teilchenforschung, die Geheimnisse des Universums oder das Leben auf dem Mars also sollten erforscht werden, sondern von einem internationalen Expertengremium ausgesuchte Themen wie zum Beispiel Aids-Forschung oder die Bekämpfung von Tropenkrankheiten, auf die man sich dann einigen könnte. Natürlich sollte diese Forschung gemacht werden. Ich bezweifle jedoch, daß sich ein allgemeiner Konsens finden läßt, welche ausgesuchten Themen die lohnenswerten sind. Zum einen wird natürlich diese Frage in jeder Forschungsorganisation heute schon auf ähnliche Weise geregelt, oder der Markt und die Einschätzung der beteiligten Firmen bestimmen die Forschungsstrategie.

Meine Erfahrung sagt mir, daß jeder Experte sein Steckenpferd hat, seine persönlichen Prioritäten setzt und nur eine Vielfalt der Forschungslandschaft, die dem einzelnen Forscher auch seine persönliche Freiheit für sein „Hobby" läßt, auf die Dauer erfolgreich ist. Und wer kann denn sagen, ob nicht genau eine bestimmte Erkenntnis der elementaren physikalisch-chemisch-biologischen Zusammenhänge, die aus irgendeinem Teilgebiet der nanowissenschaftlichen Forschung erwächst, nicht eines der Probleme bei der Zementherstellung oder der Malaria- oder Aids-Bekämpfung löst. Ich plädiere daher für mehr Forschung, um jenen Rahm von wegweisenden Erkenntnissen aus der Suppe aller Ergebnisse abzuschöpfen. Natürlich müssen wir den bestehenden ethisch begründeten Regelungskatalog, der ja in unserem Land besonders strong ist, beibehalten und teilweise da, wo es sich um militärische Forschung handelt, weiter einschränken. Ein generelles Moratorium für Forschung auf dem Gebiet der Nanowissenschaften ist aber unsinnig.

Eine gewisse Ratlosigkeit befällt freilich auch mich, da ich viele Utopien nicht glauben möchte, auf der anderen Seite aber auch weiß, daß schon Heinrich Hertz seine Entdeckung der elektromagnetischen Wellen für praktisch nicht verwertbar hielt. Die Technikgeschichte ist eine Abfolge unvorhersehbarer Entwicklungen. Ein Strohhalm bleibt in dieser verfahrenen und komplizierten Situation, in der neue Worte schneller entstehen, als man die Grundzüge der dahinterliegenden Ideen verstehen könnte, das Credo, daß nur die Szenarien eintreten könnten, die im Einklang mit den Naturgesetzen sind: den Gesetzen der Symmetrie, der Energieerhaltung, den vier grundlegenden physikalischen Kräften. Auf der anderen Seite gibt es durchaus vielversprechende neue Entwicklungen, die im Bereich der Werkstoffwissenschaften, das mit ungefähr hundert Molekülen einen Buchstaben schreiben kann, zu einer Technologie fortzuentwickeln, indem das Problem der Parallelisierung, der Nanopartikel-Beschichtungen und Nanokomposits) und insbesondere im Bereich der Nanomedizin liegen.



Die Urlandschaften der Nanowelt: Aus der Hülle einer Einzelle ragen, gewaltigen Felsen gleich, die unzähligen, nur wenige Millionstel Millimeter kleinen „Nanomaschinen" des Lebens – Proteine – heraus.
Foto Universität Münster/Abteilung Physiologie