

Nanotechnik - Versprechen und Ängste

Soll man den technischen Fortschritt wegen seiner möglichen Folgen aufhalten? Letztes Jahr eröffnete der amerikanische Computerspezialist Bill Joy eine Debatte über die Risiken von Gentechnik, Nanotechnik und Robotik. In seinem Artikel «Warum die Zukunft uns nicht braucht» entwarf er das Schreckensszenario einer aus dem Ruder laufenden technischen Entwicklung, die sich schliesslich gegen die Spezies Mensch wendet. Diese Gefahr vor Augen, plädierte Joy für Verzicht. Man solle «auf die Entwicklung allzu gefährlicher Technologien verzichten und unserer Suche nach bestimmten Formen des Wissens Grenzen setzen». Heinrich Rohrer, einer der Pioniere der Nanotechnik, wägt im Folgenden am Beispiel der Nanotechnik die Chancen und Gefahren des technischen Fortschritts ab und plädiert gegen Denkverbote.

Von Heinrich Rohrer

Jede neue Entwicklung und jeder Fortschritt, welcher Natur auch immer, weckt Hoffnungen, aber auch Ängste. Beide beruhen auf den Möglichkeiten, die das Neue eröffnet. Ob sich die Hoffnungen erfüllen oder die Ängste berechtigt sind, hängt davon ab, für welche Möglichkeiten wir uns einsetzen und in welcher Art wir sie zu verwenden gedenken, vor allem, welchen Missbrauch wir anderen zutrauen.

Fast alles ist machbar

Neue Erkenntnisse und die daraus resultierenden Möglichkeiten sind im ureigensten Wesendes Menschen begründet, nämlich Neues zu erdenken, zu verwirklichen und zu handhaben. Der Fortschritt ist deshalb so unaufhaltbar wie das Denken des Menschen. Er findet statt, hier oder dort, ob wir es wollen oder nicht. Sein Denken muss der Einzelne selbst lenken, am Fortschritt müssen wir uns alle beteiligen. Dabei müssen wir uns bewusst werden, dass alles machbar ist, solange nicht das Gegenteil bewiesen ist. Und sogar dann bleibt die Türe noch einen Spalt weit offen. Die wesentliche Frage ist deshalb, was wir machen müssen, was wir machen wollen und ob wir uns das Machen leisten können, aus welchen Gründen auch immer - nicht nur aus finanziellen.

In obigem Licht möchte ich jetzt auf ein paar Versprechen und Gefahren moderner Technologien, speziell der Nanotechnik, eingehen. Über dieses Thema ist in den letzten Monaten in der Presse viel diskutiert worden. Auslöser der Debatte war ein Artikel von Bill Joy. Unter dem Titel «Warum die Zukunft uns nicht mehr braucht» zeichnet der Mitbegründer und Forschungschef von SUN Microsystems ein düsteres Bild unserer Zukunft. Wenn man dem Fortschritt keine Grenzen setze, so Joy, könne es in der Welt von morgen von gescheiterten, sich selbständig vermehrenden Nanorobotern wimmeln, die vom Menschen nicht mehr zu kontrollieren seien.

Joy sieht die Gefahr, dass die seiner Meinung nach wichtigsten Technologien des 21. Jahrhunderts - Robotik, Gentechnik und Nanotechnik - die Menschheit zu einer bedrohten Art machen könnten; und das nicht erst in ferner Zukunft, sondern bereits in rund 30 Jahren. Diese Prognose beruht auf der Annahme, dass die enorme, durch das «Moor'sche Gesetz»

quantifizierte Entwicklungsgeschwindigkeit in der Datenverarbeitungsindustrie auch in den nächsten Jahrzehnten beibehalten werden kann.

Von der Mikro- zur Nanoelektronik

Die Nanotechnik begegnet einem heute meist in Gestalt der Nanoelektronik. Sie ist die Fortführung der Mikroelektronik hin zum tausendmal kleineren als Richtgrösse. Deshalb ist die Mikroelektronik ein Indikator dessen, was uns die Nanoelektronik erwarten lässt. Der grossartige Erfolg der Mikroelektronik beruht auf Miniaturisierung und Integration der elektronischen Komponenten. Die Lösung der Datenverarbeitungsindustrie heisst «kleiner, schneller, billiger». In jeder der letzten fünf Dekaden wurden Computer zehnfach bis hundertmal leistungsstärker fürs gleiche Geld.

Kleiner erlaubt verteilter. Elektronik wurde zum Kontrollscharnier des meisten technischen Geschehens: vom Herzschrittmacher und Hörgerät zum Laptop, von der «unschuldigen» Waschmaschine bis hin zur schuldbeladenen interkontinentalen Rakete mit nuklearen Sprengköpfen. Kleiner heisst auch nachhaltiger in Materialaufwand, Investition und Energieverbrauch. So kann heute eine Rechenoperation mit etwa einer Billion Mal weniger Energie ausgeführt werden als vor 50 Jahren; trotzdem beläuft sich die jährliche Elektrizitätsrechnung der Datenverarbeitung auf etwa eine Billion Franken.

Auch wenn niemand den ungeheuren Nutzen der Mikroelektronik bezweifelt, so blieben und bleiben Bedenken und Ängste keineswegs aus. Handelsschranken und -embargos sind Ausdruck der Angst vor einem nachteiligen Gebrauch dieses Fortschritts durch den «Anderen». Dabei werden auch die Gefahren der einseitigen Macht über den Fortschritt offensichtlich. Die Arbeitsentlastung durch elektronisch gesteuerte Maschinen war keineswegs überall willkommen, die Denkkraftlastung durch Computer ebenfalls nicht, Datenschutz wurde ein Problem, und auch Unterhaltungselektronik hat ihre unerfreulichen Seiten.

Die Nanoelektronik mit der tausendmal kleineren Richtgrösse wird uns noch viel gewaltigere Möglichkeiten eröffnen, aber auch Missbräuche können viel grössere Ausmasse annehmen. Nutzen und Gefahren, Versprechen und Ängste können aber nicht einfach in skalierbarer Weise von «Mikro» auf «Nano» übertragen werden. Es sind die neuen Möglichkeiten, die zum grossen Teil erst noch erdacht werden, die dann zum Abzuwägen sind. Wer hätte zum Beispiel vor 20 Jahren an die durch die Mikroelektronik ermöglichte Kommunikationsrevolution gedacht? Es ist durchaus denkbar, dass die Nanoelektronik eine der Voraussetzungen für die Entwicklung eines komplexen Rechners schafft, der den unvergleichlichen Fähigkeiten des Hirns nahekommt. Wenn solche Rechner gleich klein oder sogar kleiner als ein Hirn werden, könnte es kritisch werden.

Ich möchte nicht abgedroschene Anpreisungen wie künstliche Intelligenz ins Spiel bringen, wenn ich sage, dass die weitere Zukunft nicht mehr nur im «immer Kleineren» liegt, sondern im Intelligenteren und im Komplexeren. Dies hat zum einen damit zu tun, dass die Miniaturisierung, verstanden als stetige Verkleinerung von Komponenten, in der Elektronik in etwa 20 Jahren an ihre Grenzen stösst. Ob wir sie voll ausreizen werden, ist eine offene Frage, da die Investitionskosten für eine Fabrikationsstätte für Mikro-Nanoelektronik in 15 Jahren auf schätzungsweise 150 Milliarden Franken zu stehen kommen werden, ohne Aussicht auf eine langfristige Weiterentwicklung. Zum Andern ist in sehr vielen Fällen nicht die Elektronik das Leistungsnadelöhr eines Prozessablaufes, sondern jene Komponenten, die die Elektronik «füttern» oder von ihr gesteuert werden. Bei dieser «Peripherie» liegt das grösste Verbesserungs- und Innovationspotenzial.

Ein vielversprechender Ansatz für eine solche Prozessoptimierung scheint die feinste Verteilung und Vernetzung von Prozessen elektronischer, mechanischer, chemischer und anderer Natur zu sein. «Feinst» bedeutet dabei so klein wie möglich, bis hin zur Nanometerskala. Damit schlägt die Stunde für eine Nanotechnik jenseits der Nanoelektronik, die ganz neue Wege bieten wird, um Probleme zu lösen und Arbeiten zu erledigen.

Nanotechnik jenseits der Nanoelektronik

Dies umfasst Nanomaschinerie aller Art wie mechanische, chemische und thermische Sensoren, Prozessoren oder Aktuatoren. Gesamthaft zwar von Mikrogrösse, werden diese Bauteile über einen Aktivteil oder eine Arbeitspräzision im Nanometerbereich verfügen. Dadurch werden nicht nur elektronische, sondern auch mechanische, chemische und thermische Vorgänge sehr schnell. So ist ein Mischvorgang, der in einem Litergefäss eine Stunde dauert, in einem Volumen von einem Kubiknanometer in ein paar Billionstelsekunden vollendet. Dies erlaubt eine sehr schnelle und effiziente Erfassung und Steuerung von chemischen Prozessen in kleinen Volumina und schafft damit die Grundlage für einen chemischen Prozessor.

Die Grundkomponenten der Nanomechanik - entsprechend dem Transistor in der Elektronik - sind bis jetzt vor allem mikrometergrosse Zungen und Stimmgabeln. Versehen mit einer Spitze an ihrem Ende, sind diese Zungen das Herzstück des Atom-Kraftmikroskops, eines Abkömmlings des am IBM-Forschungslaboratorium erfundenen Rastertunnelmikroskops. Da jede Spitze mit einem Atom zuvorderst aufhört, kann man mit diesen atomar feinen Fingern andere atomar feine Strukturen abtasten, verändern oder sogar aufbauen. Eine weitere Klasse von nanomechanischen Komponenten könnten winzige verstellbare Löcher sein, mit denen sich der Transport von kleinsten Materialmengen steuern liesse - ähnlich wie mit Poren in Zellwänden.

Während der letzten 20 Jahre haben wir schon ein erfreuliches Instrumentarium zum Arbeiten auf der Nanometerskala geschaffen und dabei gelernt, recht ungezwungen mit einzelnen Atomen und Molekülen umzugehen. Das bringt mich zum Ausserordentlichen der Nanometerskala. Sie ist nicht einfach eine Fortführung der Mikrometer-Skala zum tausendmal kleineren Nanometer und all dessen, was damit zusammenhängt. Der Nanometer entspricht der Dimension der Atome und Moleküle: Der Durchmesser eines Atoms beträgt ungefähr 1/3 Nanometer, derjenige von Proteinen zwischen 5 und 50 Nanometern. Letztere gehören zu den wichtigsten Bausteinen der lebenden Natur. Sie dienen als grundlegende Funktionseinheiten verschiedenster Art. So sorgen «molekulare Motoren» beispielsweise für den Transfer einzelner Elektronen oder den gezielten Transport von Atomen und Molekülen. Fast alle Vorgänge in der Natur geschehen auf der Nanometerskala und werden in komplizierter Weise zu Mikro- und Makroeigenschaften, -funktionen und -prozessen zusammengefügt. Das ungeheure Potenzial der Natur wird der Nanotechnik in vieler Hinsicht als Vorbild dienen; nicht um die Natur zu kopieren, aber um sich inspirieren zu lassen.

Die Natur als Vorbild

Dazu möchte ich ein paar wesentliche Strategien der Natur erwähnen, die - auf die Nanotechnik übertragen - viel einbringen, aber auch grosse Sorge bereiten können. Da ist zum Ersten die Strategie des Aufbaus durch Selbstorganisation. Dieser «Bottom-up»-Zugang ist in der Nanotechnik eine vielversprechende Antwort auf das vorhersehbare Ende der Miniaturisierung. Die ersten Gehversuche machen wir mit unsern Nanofingern oder mit Mustern, die von ihnen vorgegeben werden. Mit der Aufbaustrategie hoffen wir viel komplexere und ungleich leistungsfähigere funktionelle Komponenten herstellen zu können

als bisher. Schon die Bausteine werden viel anspruchsvoller sein, zum Beispiel komplexe, funktionelle Makromoleküle.

Zum Zweiten haben wir die schon erwähnte Strategie der feinst verteilten Vernetzung verschiedenster Funktionalitäten. Sie ist die Voraussetzung für den Bau von Nanorobotern, die erkennen, verarbeiten und entsprechend handeln können. Ein solcher Nanoroboter könnte beispielsweise eine vorgegebene Molekülart an einem vorgegebenen Ort einsammeln, diese mit andern Molekülarten (die von andern Robotern eingesammelt wurden) zu einer funktionellen Struktur zusammenbauen und an einem vorgegebenen Ort placieren. Schon um diese relativ einfache Arbeit zu erledigen, ist offensichtlich eine Vernetzung von mechanischen, chemischen und elektronischen Funktionalitäten nötig. Und schon der Kosten wegen kämen wir nicht darum herum, solche Nanoroboter in rauen Mengen herzustellen.

Eine Armada von «gescheiterten» Nanorobotern lässt aufhorchen. Wofür können sie eingesetzt werden? Was, wenn sie ausser Kontrolle geraten? Der obige Nanoroboter könnte beispielsweise an einer kritischen Stelle im Körper das Blut reinigen. An einer anderen Stelle im Körper eingesetzt, könnte der gleiche Nanoroboter das Blut aber auch vergiften; und dies vielleicht sogar mit dem gleichen Prozess. Sollen wir also wegen Letzterem auf Ersteres verzichten?

Doch damit der Sorgen nicht genug. Es gibt Vorstellungen, gemäss denen sich Nanoroboter selbständig vervielfältigen und dabei sogar neue Klassen von Nanorobotern hervorbringen könnten. Ähnlich den Viren mit ihren genetischen Variationen könnten sich die Nanoroboter sozusagen selbst optimieren und dadurch möglichen Gefahren begegnen. Spätestens hier stellen sich viele Menschen, nicht nur Bill Joy, die Frage, ob das denn alles sein muss.

Ich meine, die Frage müsste anders gestellt werden. Wird wirklich alles eintreffen, was sich nicht definitiv ausschliessen lässt? Was die sich replizierenden und mutierenden Nanoroboter betrifft, können wir nicht beweisen, dass es sie nie geben wird. Andererseits haben wir keine Hinweise, dass es sie geben wird, besonders im Hinblick auf die Hunderte von Millionen Jahre, die die Natur mit einem viel breiteren Spektrum an Möglichkeiten brauchte, um «gescheiterte» Kreaturen hervorzubringen. Es ist auch nicht einzusehen, warum wir unsere Roboter schlechter unter Kontrolle halten können als Viren und Bakterien, die ihre Überlebens- und Fortpflanzungsstrategien über Jahrtausende entwickeln konnten. Und selbst wenn es solche Roboter in 30, 100 oder 1000 Jahren geben sollte: Sollen wir dann eine Entwicklung aufhalten, die der Menschheit bis dahin unendlich viel Positives bringen könnte? Es besteht ja immerhin die Hoffnung, dass auch die Menschheit in der Zwischenzeit reifer wird. Und bei all dem müssen wir bedenken, dass der Mensch wohl nicht der Evolution letzte Weisheit ist.

Die Auswirkungen des Fortschritts lenken

Eine fast grenzenlose Machbarkeit mag viele erschrecken. Sie ist aber andererseits die einzige Möglichkeit, den zukünftigen, uns meist noch unbekanntem Problemen und Gefahren wirksam zu begegnen. Einige dieser Probleme mögen auf technische und wirtschaftliche Sündenfälle zurückzuführen sein, die Mehrzahl aber liegt ausserhalb unserer Reichweite. Deshalb wäre es verheerend, wenn wir noch nicht erkannte Möglichkeiten tief vergraben würden, nur weil wir uns wegen unseres widersprüchlichen Verhaltens nicht zutrauen, mit den Versuchungen des Fortschritts in einer für alle günstigen Weise umzugehen.

Alle Anstrengungen, den unaufhaltsamen Fortschritt aufzuhalten, zu bremsen oder wenigstens prophylaktisch zu kontrollieren, binden nutzlos Kräfte, die besser eingesetzt würden, um die

Auswirkungen des Fortschritts in eine uns annehmbare Richtung zu lenken. Dies ist ungleich anspruchsvoller und schwieriger als eine Polemik gegen den Fortschritt: Es erfordert grösste Aufmerksamkeit und Einsatz; es ist ein stetes Abwägen und eine Gratwanderung zwischen Genuss und Verzicht, zwischen Segen und Fluch, zwischen heute und morgen, zwischen mir und den andern; es verlangt Weisheit und Weitsicht, vor allem aber viel Verständnis für die Mechanismen und die Notwendigkeit von stetem Fortschritt. Das muss erarbeitet werden. Die Gestaltung der Zukunft ist für niemanden gratis.

Solche Überlegungen über die «technischen» Gefahren des Fortschritts sind das eine. Als ebenso kritisch, wenn nicht kritischer, für unsere Zukunft erachte ich technischen Fortschritt im Gefüge weltweiter Güterverteilung. Trotz einem wachsenden Unbehagen, vom Fortschritt überrollt zu werden, können die hoch entwickelten Industrieländer negative Auswirkungen des Fortschritts dank Bildung, gesellschaftlichen Massnahmen, Reichtum - und eben auch Fortschritt - zum guten Teil abfangen. Das betrifft aber eine kleine Minderheit der Menschheit, die das Wohl durch ihre Brille sieht. Mit dem technischen Fortschritt öffnet sich der Graben zwischen Arm und Reich nicht nur zusehends; auch die Möglichkeit, ihn zu verringern, schwindet.

Die zentralen Fragen und Auseinandersetzungen um den Fortschritt sollten deshalb über eine Nabelschau unserer Bedürfnisse und Ängste hinausgehen und viel mehr auf ernsthafte Bemühungen und Massnahmen ausgerichtet werden, wie wir die Bildungshabenichtse an der Gestaltung des technischen Fortschritts (und nicht nur an seinen Auswirkungen) teilnehmen lassen können. Sonst gehen wir an der ernsthaftesten Bedrohung durch den Fortschritt vorbei.

Der Autor

zz. Heinrich Rohrer, geboren 1933 in Buchs, begann 1951 an der ETH Zürich mit dem Physikstudium und promovierte dort 1960 mit einer Arbeit über Supraleiter. Nach einem zweijährigen Aufenthalt in Amerika wurde ihm 1963 eine Stelle am neu geschaffenen IBM-Forschungslaboratorium in Rüschlikon angeboten. Dort beschäftigte er sich in der Folgezeit mit magnetischen Effekten in verschiedenen Materialien. 1978 wendete sich Rohrer neuen Ufern zu. Zusammen mit Gerd Binnig interessierte er sich für den Ladungstransport in Materialien, die auf winzigen Skalen inhomogen sind. Diese Hinwendung zum Kleinen gipfelte in der Erfindung des Rastertunnelmikroskops. Dafür wurden die beiden Forscher 1986 mit dem Physiknobelpreis ausgezeichnet. Mit dem Rastertunnelmikroskop gelang es erstmals, die Beschaffenheit von Oberflächen in ihren atomaren Details sichtbar zu machen. Gleichzeitig konnte man mit dem Instrument in das atomare Gefüge von Oberflächen eingreifen. Damit wurde das Rastertunnelmikroskop zum Wegbereiter der Nanotechnik.

Neue Zürcher Zeitung, 22. August 2001

Kontakt

Impressum

Copyright © Neue Zürcher Zeitung AG