

# Mikrochip versus Gehirn – ein Blick in die Zukunft

**Wohin führt uns der Fortschritt? Und wie schnell? Wird der Mensch mithilfe von Technik und Medizin unsterblich – oder gar überflüssig? Experten sehen Grosses auf uns zukommen. Und zwar schon bald. Oder vielleicht auch nicht.**

■ Eric Soder

Das Internet ist ein Musterbeispiel dafür, wie neue Errungenschaften der Technik unser aller Leben nachhaltig verändern können: Die Vernetzung hat ganze neue Wirtschaftszweige wie Pilze aus dem Boden schießen lassen, sie krepelt die Medienwelt um und hat auch bedeutende Auswirkungen auf die Gesellschaft. Man denke etwa an Googles Online-Werbeimperium, die politische Brisanz von Twitter, WikiLeaks und Konsorten sowie an den «digital Lifestyle», bei dem sich alles um virtuelle «Freunde» in sogenannten sozialen Netzwerken dreht, um Chatrooms und Onlinegames im Cyberspace oder um mobile Geräte wie das iPhone, mit denen der moderne Homo sapiens immer mehr Bereiche seines Lebens managt. Soweit die Gegenwart – und was sind die nächsten Trends und epochalen Erfindungen?

**Auf dem Mond waren «wir» schon; kommt der nächste grosse Durchbruch aus der Nanotechnik?**

**Foto: Nasa**

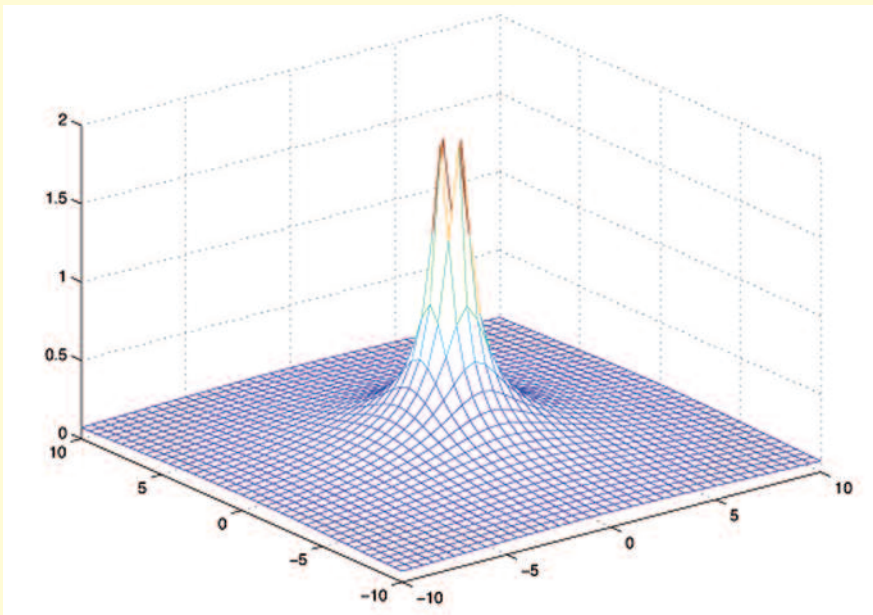
**Das Rad dreht sich immer schneller**  
Aufgrund der Altersstruktur der MUS-Mitglieder darf im Durchschnitt einige Lebenserfahrung vorausgesetzt werden. Das Telefon kennen die meisten sicher seit der frühen Jugend, Fernsehen dürfte wohl auch schon viele ein Leben lang begleiten, doch das flächendeckende Aufkommen von Computern und später von Mobiltelefonen sind Prozesse, die manche von uns bewusst miterlebt haben. 1969 wurde das Arpanet entwickelt, der Vorläufer des Internets. Nachdem Tim Berners-Lee 1989 im CERN das «World Wide Web» aus der Taufe gehoben hatte, begann 1993 mit «Mosaic» – dem ersten Webbrowser – der Durchbruch des Internets als Massenmedium. Innerhalb von nur ein bis zwei Jahrzehnten erlangten grosse Teile der Weltbevölkerung Zugang zu E-Mail, Webseiten und auch zu kommerziellen Diensten wie Online-Shopping und E-Banking wie wir sie heute kennen. Parallel machte die Computertechnik rasante Fortschritte, die der Intel-Mitgründer Gordon E. Moore prägnant zusammenfasste, nämlich dass sich die Anzahl Transistoren in preiswerten integrierten Schaltkreisen (Halbleiterchips, also Computer-CPUs) etwa alle zwei Jahre verdoppelt. Dieses Mooresche Gesetz von

1965 beschreibt ein exponentielles Wachstum, das bis heute recht genau der Realität entspricht. Weniger bekannt ist das zweite Mooresche Gesetz, welches besagt, dass auch der Kapitalbedarf für Halbleiterfabriken exponentiell wächst, um die immer leistungsfähigeren Chips herzustellen. Bemerkenswert ist auch ein Zitat von Martin Reiser, das der damalige ETH-Professor Niklaus Wirth 1995 in seinem Plädoyer für schlanke Software verwendete: «Die Software wird schneller langsamer als die Hardware schneller wird.» Ein früherer Intel-Mitarbeiter nannte es das Wirthsche Gesetz und demonstrierte, dass Microsoft Office 2007 auf einem (dann zumal brandneuen) Rechnerprototypen von 2007 eine Beispielaufgabe nur halb so schnell erledigte wie Office 2000 auf Hardware des Jahrgangs 2000. Die überbordende Featuritis und jede Menge nutzlose Klickibunti-Effekte in Softwareprodukten sind Anwendern nach wie vor sattem bekannt.

## Die «technologische Singularität»

Mehrere Autoren, darunter der Mathematiker Vernor Vinge und der Erfinder Raymond Kurzweil (mit einem BSc in Informatik und Literatur vom Massachusetts Institute of Technology, MIT), sagen vorher, dass Mikroprozessoren durch die exponentielle Steigerung der Rechenleistung innerhalb der nächsten 20 bis 40 Jahre das Denkvermögen des menschlichen Gehirns und sogar der gesamten Menschheit überflügeln werden. Hat der Mensch erst einmal «superintelligente» Geräte konstruiert, so ihre Meinung, wird sich der technische Fortschritt fast schlagartig auf ein für uns unvorstellbares Mass beschleunigen, weil dann die Computer mit künstlicher Intelligenz die jeweils nächste, bessere Generation von Geräten in kürzesten Zyklen selbst entwickeln und herstellen können, ohne auf das vergleichsweise langsame Denken und Handeln von Menschen angewiesen zu sein. Dann werde die Menschheit von der Biologie abgekoppelt und ihre





### Die Singularität in der Mathematik und Wissenschaft

Beispiel aus der Mathematik: Für  $z = 1/\sqrt{(x^2 + y^2)}$  ist  $(x = 0, y = 0)$  ein singularärer Punkt. Wegen der Division durch null ist  $z$  dort nicht definiert, doch ist der Grenzwert plus unendlich und die  $z$ -Achse damit Asymptote. In der Grafik kann die Fläche über diesem Punkt deshalb nicht dargestellt werden. Ein physisches 3D-Modell ist auch nicht machbar; je mehr sich die Fläche der  $z$ -Achse nähert, umso dünner wird der «Dorn». Hat er den Durchmesser eines Atoms erreicht, fehlt immer noch unendlich viel von seiner Höhe.

Existenz radikal komplett neu definiert. In der Mathematik wird der Begriff «singular» für Punkte verwendet, an denen eine Funktion nicht definiert oder nicht stetig (differenzierbar) ist, etwa eine Unendlichkeitsstelle (siehe Kästchen oben). Analog dazu bedeutet die technologische Singularität einen abrupten Ausbruch aus dem menschlichen Erfahrungshorizont; ein Ereignis, «nach [dem] das Leben der Menschen, so wie wir es kennen, nicht weitergehen kann», wie es Stanislaw Ulam im Mai 1958 in der ersten bekannten Erwähnung des Konzepts formulierte. Der Mathematiker Ulam hatte beim Manhattan-Projekt an der Entwicklung der Atombombe und der Wasserstoffbombe mitgearbeitet, was man in Bezug auf die Geschichte von Waffen und die Weltpolitik auch als eine Singularität einstufen kann.

### Grenzen des Wachstums

Im Jahr 2006 erschien Ray Kurzweils Buch «Singularity is Near» (Die Singularität ist nah), in dem er mit vielen Beispielen und Tabellen die exponentielle Entwicklung des technischen Fortschritts geschichtlich belegt. Die Frage ist nun, ob dies auch weiterhin genau so weitergehen wird. Denn in der Realität gibt es im Gegensatz zu manchem ma-

thematischen Modell oft Faktoren, die dem Wachstum Grenzen setzen. So kann etwa die Anzahl Schaltelemente in einem Prozessor nicht beliebig erhöht werden, weil die Bauteile an physikalische Grenzen stossen, wenn sie die Grössenordnung von einzelnen Atomen erreichen. Auch das zweite Mooresche Gesetz gibt Anlass zu Pessimismus: Was technisch möglich scheint, muss nicht zwangsläufig auch vereinbar sein mit den verfügbaren finanziellen Ressourcen. Forschung kostet Geld, und irgendjemand muss die Rechnung bezahlen. Ende Juli stritten sich in den USA Demokraten und Republikaner noch erbittert um eine Lösung, wie die gigantische Staatsverschuldung in den Griff zu bekommen sei...

### Mikrochip versus Gehirn

Hans Peter Moravec, seines Zeichens Spezialist für Robotik und künstliche Intelligenz, der in Stanford zum PhD promoviert hat und an der Carnegie Mellon University forscht, veranschlagt eine Rechenleistung von 100 Teraflops (Billionen Fliesskomma-Rechenoperationen pro Sekunde) als einem menschlichen Gehirn ebenbürtig; Ray Kurzweil ist da vorsichtiger und nimmt das Hundertfache: 10 Petaflops. Derart schnelle Super-

computer gibt es bereits: «Tianhe-1A» in China (mit über 20 000 Prozessoren und 224 TB RAM) bringt es auf über zwei Petaflops, und «K computer» in Japan wird derzeit auf 68 544 Acht-Kern-Prozessoren ausgebaut und soll damit 10 Petaflops erreichen. Auch in den USA stehen mindestens drei Supercomputer mit mehr als einem Petaflop Rechenleistung. Bescheidener nehmen sich da «Monte Rosa» im Schweizer Hochleistungsrechenzentrum (CSCS) in Manno bei Lugano und der 38 Tonnen schwere «Albert3» des Sauber-F1-Teams in Hinwil aus mit rund 200 bzw. 50 Teraflops. Was allen heutigen Rechnern allerdings noch fehlt ist eine Software, die das menschliche Denken simulieren kann.

Das Gehirn funktioniert anders als Supercomputer: Es besteht aus geschätzten 100 Milliarden Nervenzellen, die durch 100 Billionen Synapsen miteinander verbunden sind. Die chemische Signalübertragung durch eine Synapse braucht etwa 100 000-mal länger als ein elektrisches Signal in einem Mikrochip. Dafür übertrifft der Grad der Parallelisierung im Gehirn derzeitige Supercomputer noch um mehrere Zehnerpotenzen. Bis dato gibt es noch kein vollständiges Modell, wie das Gehirn im Detail funktioniert, doch es wird geforscht.

*Teil 2 dieses Artikels erscheint in der November-Ausgabe des «MUS-Falters».*

**Ganz nah an der Zukunft: Dr. Roland Germann, Manager des neuen Nanotechnology Centers von IBM Research/ETH Zürich, im Reinraum mit einem Wafer. Foto: Michael Lowry**

