

# Der Mensch, Version 2.0

Wenn der amerikanische Technologie-Prophet Ray Kurzweil Recht behält, wird es in 20 Jahren intelligente, denkende Computer geben, die schlauer sind als der Mensch. In diesem Essay erweitert er seine Prognosen auch auf Genetik und Biotechnologie.

Von Ray Kurzweil

Das US-Magazin »Time« initiierte im Jahr 2003 – anlässlich des 50. Jahrestags der Entdeckung der DNA-Struktur durch die US-Biologen James Watson und Francis Crick – die Konferenz »Zukunft des Lebens«. Alle Sprecher, auch ich, wurden gefragt, was die nächsten 50 Jahre bringen würden. Die meisten Vorhersagen waren kurzichtig.

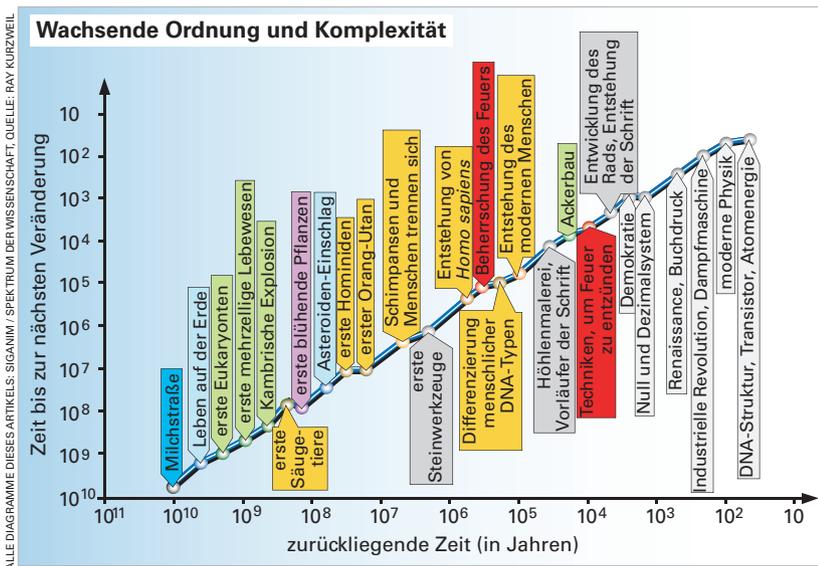
James Watson sagte voraus, dass wir in 50 Jahren über Medikamente verfügen werden, die uns erlauben, so viel zu essen, wie wir wollen, ohne an Gewicht zuzulegen. »50 Jahre?«, fragte ich, denn das erschien mir viel zu pessimistisch. Wir haben das doch schon mit Mäusen erfolgreich getestet, und Medikamente für Menschen, die auf diesen Befunden ba-

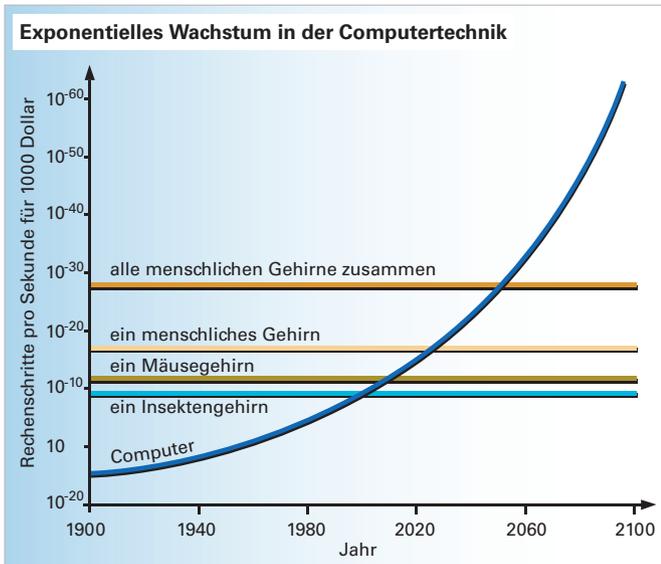
sieren, sind bereits in der Entwicklung. Wir können sie in fünf bis zehn Jahren erwarten, nicht erst in 50.

Der Fehler, den Watson und praktisch jeder andere Referent seinerzeit machte, bestand darin, das Fortschrittstempo der vergangenen 50 Jahre als Maßstab für das nächste halbe Jahrhundert zu nehmen. Ich bezeichne diese Art der Zukunftsbetrachtung als »intuitiv linear«: Die Leute gehen intuitiv davon aus, dass das gegenwärtige Fortschrittstempo in der Zukunft beibehalten wird.

Doch wer sich eingehend mit der Geschichte der Technik befasst, erkennt, dass sich technologische Veränderungen nicht linear, sondern exponentiell vollziehen. Die Daten lassen sich in unterschiedlicher Weise, über verschieden lange Zeiträume und für ein breites Spektrum von Technologien untersuchen – von der Elektronik bis zur Biologie. Man kann die Folgen analysieren, die von der Summe des menschlichen Wissens bis zum Umfang der Wirtschaft reichen. Wie auch immer man es anstellt, stets findet man eine exponentielle Beschleunigung in Fortschritt und Wachstum.

Das Verständnis dieses exponentiellen Fortschritts ist der Schlüssel zum Verständnis von Zukunftstrends. Auf lange Sicht erzeugt exponentielles Wachstum Veränderungen, deren Ausmaß sich dramatisch von denen linearen Wachstums unterscheidet. So galt etwa noch 1990 das Humangenomprojekt (zur Entschlüsselung des menschlichen Erbguts) als umstritten. 1989 hatten wir erst ein Tausendstel des Genoms sequenziert. Doch von 1990 an verdoppelte sich die Menge der Sequenzierdaten von Jahr zu Jahr – eine Zuwachsrate, die bis heute anhält –, und im Jahr





2003 war das menschliche Genom komplett entschlüsselt.

Bei jeder Art von Informationstechnologie verläuft der Fortschritt exponentiell. Außerdem werden praktisch alle Technologien zu Informationstechnologien. Wenn wir diese Trends kombinieren, können wir verlässlich vorhersagen, dass wir in nicht allzu ferner Zukunft die so genannte Singularität erreichen werden. Damit meine ich den Zeitraum, in dem technologische Veränderungen so rasch ablaufen und ihre Wirkungen so tief greifen, dass sie das menschliche Leben unwiderruflich verändern. Wir werden in der Lage sein, unsere Biologie umzuprogrammieren – und sie schließlich transzendieren. Das Ergebnis wird eine innige Verschmelzung zwischen uns und der von uns erzeugten Technik sein.

#### Jedes Jahrzehnt ein neues Paradigma

Hinweise für das allgegenwärtige exponentielle Wachstum gibt es in Hülle und Fülle. In meinem neuen Buch »The Singularity is Near« gibt es 40 Grafiken aus einer Vielzahl von Bereichen – etwa dem Internet, Gehirnschans oder Biotechnologie –, die allesamt exponentielle Fortschritte belegen. Generell zeigen meine Modelle, dass wir alle zehn Jahre die Rate für Paradigmenwechsel (grob vergleichbar mit der technischen Innovationsrate) verdoppeln. Während des gesamten 20. Jahrhunderts hat das Tempo der Fortschrittsrate allmählich zugenommen. Im Jahr 2000 hatte sich die Rate so weit erhöht, dass die Gesamtsumme der Errungenschaften des Jahrhunderts in nur 20 Jahren hätte erreicht werden können.

Besonders schnell wächst die Informationstechnologie. Gemessen etwa an Preis-Leis-

tungs-Verhältnis, Bandbreite, Speichervermögen, verdoppeln wir ihre Leistung nahezu jährlich. Das entspricht einem Faktor von 1000 in 10 Jahren, von einer Million in 20 und einer Milliarde in 30. Exponentielles Wachstum führt so in nur etwa einem Vierteljahrhundert zu einer milliardenfachen Verbesserung.

Das exponentielle Wachstum in der Computertechnik läuft nun schon seit über einem Jahrhundert und ereignete sich hauptsächlich in fünf Gebieten:

- ▶ Elektromechanische Rechentechnik wurde bereits in der amerikanischen Volkszählung des Jahres 1890 eingesetzt;
- ▶ relaisbasierte Rechner konnten Anfang der 1940er Jahre den militärischen Verschlüsselungscode der Nazis knacken;
- ▶ 1952 nutzte CBS, das Columbia Broadcasting System, mit Elektronenröhren bestückte Computer für die Vorhersage des Ergebnisses bei der Präsidentenwahl von Dwight Eisenhower;
- ▶ Anfang der 1960er Jahre wurden bei den ersten Weltraumflügen mit Transistoren betriebene Rechner eingesetzt;
- ▶ 1958 schließlich erfand man integrierte Schaltkreise, aus denen Ende der 1960er Jahre die ersten Massencomputer gefertigt wurden.

Bei jedem dieser Paradigmenwechsel verlor die bisherige Technik an Stoßkraft, was die Forscher dazu zwang, die nächste Generation zu entwickeln. Heute haben wir noch mindestens ein Jahrzehnt vor uns, das vom Paradigma »schrumpfende Transistoren in integrierten Schaltkreisen« beherrscht sein wird. Doch es gibt bereits enorme Fortschritte bei der Entwicklung des sechsten Rechnerparadigmas, das uns dreidimensionale molekulare

## Die Geschichte der Zukunft

**1958** Erste Erwähnung der Idee der Singularität. Der polnische Mathematiker Stanislaw Ulam berichtet über ein Gespräch mit John von Neumann, dem Vater der Informationstheorie: »In dem Gespräch ging es um den sich ständig beschleunigenden Fortschritt der Technologie ... was den Eindruck erweckt, als nähere man sich einer wichtigen Singularität ... jenseits derer menschliche Tätigkeiten, wie wir sie kennen, nicht fortgesetzt werden können.«

**1965** Der britische Statistiker Irving John Good, der in Bletchley Park unter Alan Turing arbeitete, kündigt superintelligente Maschinen an und schreibt, dass »die erste ultra-intelligente Maschine die letzte Erfindung ist, die der Mensch überhaupt noch machen muss«.

**1970**

**1983** Vernor Vinge, Mathematiker und Computerwissenschaftler an der San Diego State University, schreibt einen Artikel für das US-Magazin »Omni«, in dem er eine »technische Singularität« vorhersagt.

**1980**

**1989** Ray Kurzweil und Hans Moravec sagen unabhängig voneinander voraus, dass Maschinen, die über weit höhere Intelligenz als der Mensch verfügen, in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts das Licht der Welt erblicken werden.

**1990**

**1993** Vinge präsentiert auf einer Nasa-Konferenz einen Artikel mit dem Titel »Die technische Singularität«, in dem er ankündigt, dass »wir innerhalb von 30 Jahren über die technologischen Mittel verfügen werden, um übermenschliche Intelligenz zu erzeugen. Kurz darauf wird die Ära der Menschheit enden«.

**2000**

**2001** Kurzweil veröffentlicht einen Essay mit dem Titel »Das Gesetz der beschleunigten Ergebnisse«, in dem er auf das in der technologischen Entwicklung allgegenwärtige exponentielle Wachstum hinweist.

**1950**

**1960**

von Zukunftsprognosen schon seit über 20 Jahren.

Es gibt Beispiele aus anderen Wissensgebieten, in denen zuverlässige Ergebnisse aus dem Zusammenwirken zahlreicher unvorhersagbarer Vorgänge resultieren. So ist es etwa unmöglich, in einem Gas die Flugbahn eines einzelnen Moleküls zu berechnen; sehr wohl vorhersagen hingegen lassen sich – mit Hilfe der Thermodynamik – die Eigenschaften des gesamten Gases, obwohl darin Myriaden von Molekülen chaotisch miteinander wechselwirken. Analog ist es kaum möglich, die Ergebnisse eines bestimmten Projekts oder einer einzelnen Firma vorherzubestimmen. Doch die Gesamtergebnisse der Informationstechnologie, die sich aus vielen, für sich betrachtet chaotischen Aktivitäten ergeben, können verlässlich vorhergesagt werden – mit einer Methode, die ich einmal »das Gesetz der beschleunigten Ergebnisse« genannt habe.

Was also verrät uns das Gesetz der beschleunigten Ergebnisse über die Zukunft? Gemäß der oben genannten Paradigmenwechsel-Rate werden wir zwischen 2000 und 2014 so viel Fortschritt erleben wie innerhalb von 20 Jahren mit der Rate des Jahres 2000 – oder so viel wie im gesamten 20. Jahrhundert zusammen. Nach 2014 schaffen wir das Gleiche in nur sieben Jahren. Anders ausgedrückt werden wir im 21. Jahrhundert nicht 100 Jahre technologischen Fortschritt erreichen, sondern – gemessen an der Rate des Jahres 2000 – so viel wie in den rund 20 000 Jahren davor. Das entspricht etwa dem Tausendfachen dessen, was im 20. Jahrhundert erreicht wurde.

### Grenzen des exponentiellen Wachstums?

Vor allem die Informationstechnologie wird explosionsartig wachsen. Und diese ist die Technologie, auf die wir unser Augenmerk richten müssen. Letzten Endes wird alles, was Wert hat, zur Informationstechnologie: unsere Biologie, Gedanken und Denkprozesse, Fabriken und vieles andere. So werden uns beispielsweise auf Nanotechnologie basierende computergestützte Verfahren ermöglichen, automatisch komplexe Produkte auf molekularer Ebene herzustellen. Das hat zur Folge, dass wir um 2025 unseren Energiebedarf mit sehr billigen, mittels Nanotechnologie hergestellten Solarzellen abdecken können. Diese werden dann 0,03 Prozent der auf die Erde eingestrahlten Sonnenenergie einfangen, was völlig ausreicht, um unseren Energiehunger zu stillen, der für 2030 prognostiziert wird.

Ein verbreiteter Einwand lautet, dass es bei exponentiellem Wachstum Grenzen geben müsse. Ein Beispiel bilden die Kaninchen in Australien. Die Antwort lautet: Ja, es gibt

▷ Computer beschreiben wird – etwa Nanoröhren aus Kohlenstoff. Und Elektronik ist nur ein Beispiel von vielen. Ein weiteres: Wir brauchen 14 Jahre zur Sequenzierung des HIV-Genoms; das Killervirus Sars hatten wir nach nur 31 Tagen entschlüsselt.

Dies führt dazu, dass wir verlässliche Größen wie das Preis-Leistungs-Verhältnis und die Leistungsfähigkeit einer großen Zahl von Informationstechnologien vorhersagen können. Freilich gibt es auch viele Dinge, die wir nicht genau abschätzen können. Tatsächlich offenbart sich unsere Unfähigkeit zur genauen Vorhersage bei vielen speziellen Projekten. Doch die Gesamtleistung der Informationstechnologie lässt sich in jedem Bereich prognostizieren. Und ich sage das nicht etwa aus späterer Einsicht; ich mache diese Art

diese Grenzen, aber sie sind eben nicht sehr begrenzend. Im Jahr 2020 wird man für 1000 Dollar Computer mit einer Leistung von  $10^{16}$  Rechenschritten pro Sekunde (RPS) kaufen können (heutige haben rund 109 RPS). Dies ist der Leistungsbereich, der nach meiner Einschätzung für die Simulation des menschlichen Gehirns benötigt wird. Einige Jahrzehnte später werden wir noch bessere Computer bauen können. So werden beispielsweise Nanotechnologie-Schaltkreise mit einem Volumen von einem Kubikzoll (zirka 16 Kubikzentimeter) rund 100 Millionen Mal so leistungsfähig sein wie das menschliche Gehirn.

Der ultimative Ein-Kilogramm-Computer – so schwer wie ein heutiger Laptop –, den ich Ende dieses Jahrhunderts kommen sehe, könnte  $10^{42}$  RPS schaffen, rund 10 Trillionen ( $10^{16}$ ) Mal mehr als alle heutigen menschlichen Gehirne zusammen. Und das gilt nur, wenn wir Computer zur Arbeit bei tiefen Temperaturen beschränken. Fänden wir eine Möglichkeit, sie sehr warm werden zu lassen, ließe sich seine Leistung nochmals um den Faktor 100 Millionen steigern. Und natürlich werden wir mehr als nur ein Kilogramm Materie für Computerberechnungen einsetzen. Am Ende werden wir einen Großteil der Energie und Materie unserer Umgebung als Computersubstrat benutzen.

Unsere zunehmende Beherrschung der Informationsprozesse wird dazu führen, dass das 21. Jahrhundert durch drei große technologische Revolutionen gekennzeichnet ist. Zurzeit sind wir in der Frühphase der »G«-Revolution (G steht für Genetik und Biotechnologie). Biotechnologie gibt uns die Möglichkeit, Gene gezielt zu verändern – nicht nur für einzelne Designerbabys, sondern für ganze Generationen von Designer-Babyboomern.

Eine heute bereits verfügbare Technologie ist die so genannte RNA-Interferenz (RNAi), mit der einzelne Gene gezielt ausgeschaltet werden können. Dies geschieht, indem man die an einem bestimmten Gen abbeschriebene Boten-RNA daran hindert, als Bauanweisung für das zugehörige Protein zu fungieren. Jedes menschliche Gen ist lediglich eins von 23000 ererbten kleinen Softwareprogrammen, die das Design unserer Biologie repräsentieren. Es geschieht nicht sehr oft, dass wir Softwareprogramme ohne Updates oder Veränderungen über mehrere Jahre benutzen – geschweige denn über Jahrtausende. Tatsächlich haben sich diese kleinen genetischen Programme vor Zehntausenden von Jahren entwickelt, als die Lebensumstände noch ganz anders waren. So war es etwa für eine Spezies biologisch unwichtig, weit über die reproduktive Phase hinaus fit zu bleiben. Da Virusinfektionen sowie

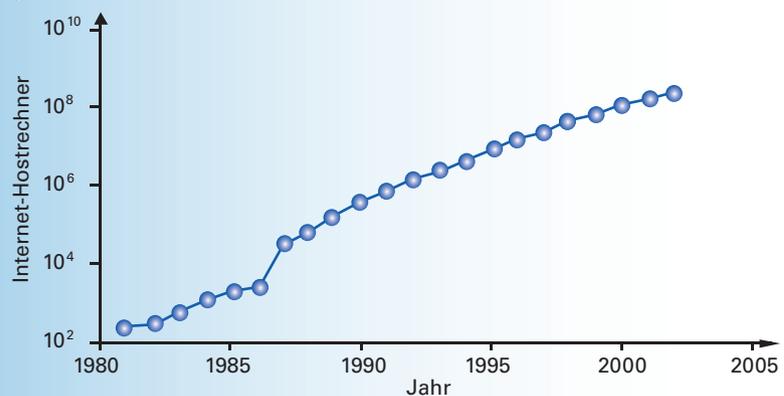
Krebs (dessen Häufigkeit wie viele Krankheiten mit dem Alter stark zunimmt) und viele andere Krankheiten zu irgendeinem entscheidenden Zeitpunkt ihrer Entstehung mit der Expression von Genen einhergehen, verspricht RNAi eine Schlüsseltechnologie zu werden.

### Für das Erbgut neue Gene aus dem Reagenzglas

Weiterhin arbeiten Forscher daran, dem Erbgut neue Gene hinzuzufügen. Dadurch wird das Problem gelöst, genetische Information allzu präzise platzieren zu müssen. Eine erfolgreiche Methode ist das Hinzufügen genetischer Information im Reagenzglas (in vitro) – eine Technik, die gewährleistet, dass die Erbinformation an der richtigen Stelle eingefügt wird. Nach Überprüfung kann die modifizierte Zelle in vitro weiter vermehrt werden. Schließlich wird eine große Zahl dieser Zellen in die Blutbahn des Patienten eingeschleust. Über das Blut gelangen sie in das korrekte Gewebe und werden dort eingebettet. Diese Gentherapie, mit der bereits erfolgreich Lungenhypertonie bei Ratten kuriert wurde, ist inzwischen auch für Tests an Menschen zugelassen worden. ▶

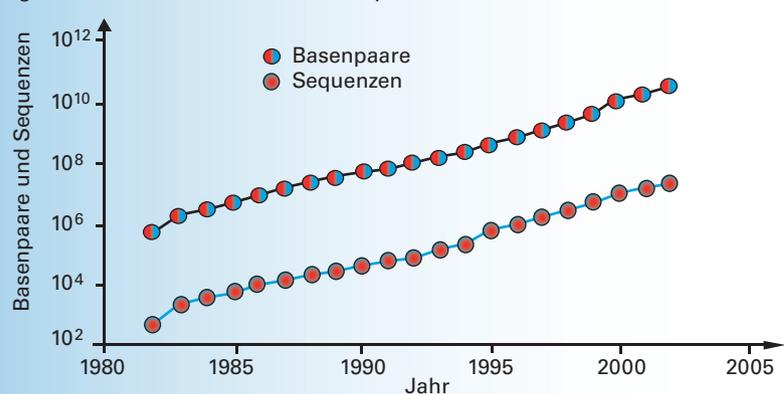
#### Exponentielles Wachstum bei Internet-Hostrechnern

gemessen an der Zahl der als Web-Server arbeitenden Computer



#### Exponentielles Wachstum der genetischen Information

gemessen an der Zahl der DNA-Sequenzierdaten



▷ Ein weiteres wichtiges Verfahren ist die Züchtung körpereigener Zellen, Gewebe oder sogar ganzer Organe und deren Implantation in den Körper. Ein großer Vorteil dieses »therapeutischen Klonens« ist, dass wir damit Gewebe und Organe aus Versionen unserer eigenen Zellen züchten können, die zugleich jünger gemacht wurden. Dies ist das aufstrebende Gebiet der Verjüngungsmedizin. Sie wird etwa ermöglichen, aus Hautzellen neue Herzzellen zu erzeugen, die dann über die Blutbahn appliziert werden. Mit der Zeit werden alle Herzzellen ersetzt und man erhält aus eigener DNA ein neues »jugendliches« Herz.

Bei der Entwicklung neuer Medikamente wird traditionell nach Substanzen gesucht, die ohne schädliche Nebenwirkungen heilen. Diese Vorgehensweise ähnelt der, mit der frühe Menschen Werkzeuge entdeckten: Sie suchten einfach Steine oder andere Dinge in der Natur, die sie gebrauchen konnten. Heute lernen wir immer besser die biochemischen Vorgänge zu verstehen, die beim Entstehen von Krankheiten oder beim Altern eine Rolle spielen, und wir können Medikamente entwickeln, die ihre Mission auf molekularer Ebene exakt ausführen. Umfang und Möglichkeiten dieser Methoden sind sehr groß.

Die Perfektionierung unserer Biologie bringt uns aber nur bis zu einem bestimmten Punkt weiter. Tatsache ist, dass Biologie niemals das erreichen kann, was wir im Labor vollbringen können – jetzt, wo wir die biologischen Funktionsprinzipien immer tiefgreifender verstehen.

Das bringt uns zum »N« der Nanotechnikrevolution. Nanotechnik wird um 2020 Produktreife erreichen. Es gibt heute schon beeindruckende Laborversuche. So haben Nadrian Seeman und William Sherman von der New York University einen Nanoroboter entwickelt, der auf seinen beiden zehn Nanometer langen Beinen laufen kann – und damit bewiesen, dass Maschinen im Nanomaßstab präzise Aktionen ausführen können. Die amerikanische Firma MicroCHIPS etwa hat ein computergesteuertes Gerät entwickelt, das unter der Haut implantiert wird und genau abgestimmte Medizinmixturen aus Hunderten kleiner »Nanoquellen« in seinem Innern zusammenstellt. Es gibt noch viele weitere Beispiele.

In den 2020er Jahren werden wir mit Hilfe der Nanotechnologie fast alle physikalischen Produkte, die wir haben möchten, aus billigen Rohmaterialien herstellen. Dazu bedienen wir uns Informationsprozessen. Dabei werden wir

## Simulation des menschlichen Gehirns

**Die tiefgreifendsten Veränderungen** kommen auf dem Gebiet der »starken KI« – der »Künstlichen Intelligenz« auf menschlichem Niveau. Um die Fähigkeiten des menschlichen Gehirns nachahmen zu können, benötigen wir geeignete Hardware und Software. Die Hardwarevoraussetzungen waren vor fünf Jahren noch strittig, doch inzwischen konnten sich die Experten auf einen gemeinsamen Nenner einigen: Supercomputer schaffen heute bereits 100 Billionen ( $10^{14}$ ) Rechenschritte pro Sekunde (RPS) und werden Ende dieses Jahrzehnts  $10^{16}$  erreichen. Dies ist das Tempo, das ich für die Simulation des menschlichen Gehirns für erforderlich halte. Einige Supercomputer mit  $10^{15}$  RPS befinden sich bereits auf den (Labor-)Reißbrettern; zwei japanische Firmen visieren  $10^{16}$  RPS für Ende dieses Jahrzehnts an. Um 2020 wird man diese  $10^{16}$  RPS für rund tausend Dollar kaufen können.

Um die Prinzipien menschlicher Intelligenz zu verstehen, müssen wir uns am Original orientieren. Die Fortschritte beim Verständnis der Gehirnfunktionen sind größer, als viele Leute glauben. Die räumliche und zeitliche Auflösung von Gehirnschans verbessert sich exponentiell – mit annähernder Verdoppelung der Leistung pro Jahr. Scangeräte können inzwischen die Verbindungen zwischen Neuronen und ihr »Feuern« in Echtzeit erfassen. Es gibt bereits mathematische Modelle für einige Dutzend Hirnregionen – darunter das Kleinhirn, das mehr als die Hälfte aller Neuronen enthält. IBM arbeitet an einer Simulation von rund 10 000 Nervenzellen aus der Großhirnrinde, die über zehn Millionen Verbindungen miteinander verknüpft sind. Die erste Version wird die elektrische Aktivität simulieren, eine zukünftige auch die chemische. Man kann daher davon ausgehen, dass bis Mitte der

2020er Jahre funktionsfähige Modelle des gesamten Gehirns zur Verfügung stehen.

**In einigen grundlegenden Aspekten** unterscheidet sich die Funktionsweise des Gehirns von der eines konventionellen Computers. So senden die »Schaltkreise« des Gehirns ihre Informationen als chemische Botenstoffe aus, die sich mit nur einigen hundert Metern pro Sekunde fortbewegen – rund eine Million Mal langsamer als in elektrischen Schaltkreisen. Das Gehirn arbeitet zudem massiv parallel: Es gibt rund 100 Billionen Verbindungen zwischen den Neuronen, die alle gleichzeitig »rechnen«. Weiterhin kombiniert das Gehirn analoge und digitale Techniken. Es kann sich selbst neu verdrahten und es nutzt emergente Eigenschaften – aus seinen chaotischen Aktivitäten resultierendes intelligentes Verhalten. Doch wenn wir genügend Daten gewonnen haben, um Neuronen detailliert zu simulieren, werden wir verstehen, wie die Kodierung der Information im Hirn abläuft. Wir können dann diese Operationen in konventionellen Parallelcomputern simulieren, obwohl deren Architektur grundverschieden ist.

Als Gewinn eines vollen Verständnisses des menschlichen Gehirns werden wir auch uns selbst besser verstehen. Auch werden wir unsere technischen Möglichkeiten bei der Künstlichen Intelligenz erweitern. Wir können dann nichtbiologische Systeme erzeugen, die menschliche Intelligenz erreichen und übertreffen. Diese superintelligenten Computer beherrschen dann Dinge, die wir nicht tun können – etwa den Austausch von Wissen und Fähigkeiten in elektronischem Tempo.

die Grenzen der Biologie durchbrechen – und unseren gegenwärtigen »Körper Version 1.0« durch eine deutlich verbesserte Version 2.0 ersetzen. Die Killerapplikation der Nanotechnologie sind »Nanobots« – Roboter mit der Größe von Blutzellen, die durch die Blutbahn wandern, Krankheitserreger eliminieren, Abfall beseitigen, DNA-Fehler korrigieren und den Alterungsprozess umkehren.

Wir haben bereits in ersten Schritten damit begonnen, unsere Organe zu unterstützen oder zu ersetzen sowie in Teilen des Gehirns Neuroimplantate einzubauen. In deren neuesten Versionen kann von außen neue Software geladen werden. Am Ende wird jedes unserer Organe ersetzt werden. Nanobots können beispielsweise die optimale Mischung aus Nährstoffen, Hormonen und anderen Stoffen, die wir benötigen, in unsere Blutbahn einspeisen, aber auch Giftstoffe und Abfälle beseitigen. Der Magen-Darm-Trakt kann für kulinarische Vergnügungen reserviert bleiben, statt sich mit den Funktionen der Nährstoffversorgung abzumühen. Schließlich haben wir ja auch die kommunikativen und vergnüglichen Aspekte des Sex von seiner biologischen Funktion loslösen können.

### Neuroimplantate für das Hirn, neue Organe für den Körper

Der tiefgreifendste Wechsel kommt vom »R«, der Roboterrevolution, bei der es um »starke KI« – Künstliche Intelligenz – auf menschlichem Niveau geht (siehe Kasten links). Hunderte Anwendungen der »schwachen KI« – Maschinenintelligenz, die bei bestimmten Aufgaben der menschlichen Intelligenz ebenbürtig ist oder diese übertrifft – beeinflussen bereits heute unsere Infrastruktur: Jedes Mal, wenn wir eine E-Mail verschicken oder mit dem Handy telefonieren, bringen intelligente Algorithmen die Informationen zum Ziel. KI-Programme werten Elektrokardiogramme mit der Genauigkeit eines Doktors aus, untersuchen medizinische Bilder, starten und landen Flugzeuge, leiten intelligente autonome Waffensysteme, treffen automatisch Investitionsentscheidungen für Fonds mit Gesamteinlagen von Billionen Dollar und überwachen Prozesse in der Industrie. Vor einigen Jahrzehnten waren das alles noch Forschungsprojekte.

Was die starke KI betrifft, so werden wir bis 2020 über die Hard- und Software zur Simulation menschlicher Intelligenz verfügen. Wir werden diese Methoden weiter verbessern und das Speichervermögen und die Wissensverarbeitung für uns nutzbar machen.

Am Ende werden wir direkt mit den Produkten unserer Technologie verschmelzen.



Das beginnt mit Nanobots in unseren Körpern und Gehirnen. Die Nanobots werden uns gesund halten, eine unmittelbare virtuelle Realität unseres Nervensystems erzeugen, direkte Hirn-Hirn-Kommunikation über das Internet ermöglichen und die menschliche Intelligenz deutlich erhöhen. Man muss dabei im Auge behalten, dass sich die künstliche Intelligenz Jahr für Jahr verdoppelt, während die biologische Intelligenz im Wesentlichen stillsteht. In den 2030er Jahren wird der nichtbiologische Teil unserer Intelligenz dominieren. Mitte der 2040er Jahre wird dieser Teil unserer Intelligenz milliardenfach leistungsfähiger sein als der biologische Teil. Nichtbiologische Intelligenz wird Zugang zu ihrem eigenen Design erhalten und in der Lage sein, sich in immer schnelleren Zyklen weiter zu verbessern.

Das sind keine utopischen Visionen: Die GNR-Technologien tragen jede für sich das Risiko, ihren Versprechungen nicht gerecht zu werden. Der Gefahr eines biotechnisch erzeugten Krankheitsvirus sind wir bereits jetzt ausgesetzt. Selbstvermehrung wird am Ende auch in nichtbiologischen Nanotechniksystemen möglich sein, was eigene Gefahren hervorruft. Dies ist Thema für einen weiteren Essay, aber kurz gesagt: Die Antwort heißt nicht Verzicht. Jeder Versuch, diese Technologien zu ächten, würde nicht nur der menschlichen Gesellschaft große Vorteile vorenthalten, sondern diese Technologien auch in die Illegalität treiben, was ihre Gefahren noch weiter erhöhte.

Einige Kommentatoren haben mich gefragt, ob wir nach solchen dramatischen Eingriffen immer noch als Menschen gelten könnten. Sie definieren das Konzept des Menschseins offenbar so, dass es seiner Begrenztheit bedarf. Ich hingegen definiere uns als eine Spezies, die mit Erfolg danach sucht, ihre Grenzen zu überschreiten. Weil unsere Fähigkeit, unseren Horizont zu erweitern, exponentiell statt nur linear wächst, können wir bereits jetzt erahnen, dass ein Jahrhundert voller dramatischer Veränderungen vor uns liegt. ◀



**Ray Kurzweil** ist Erfinder und Autor zahlreicher Bücher, darunter »Homo sapiens«, »The Age of Spiritual Machines: When

Computers Exceed Human Intelligence« und »Fantastic Voyage: Live Long Enough to Live Forever« (mit T. Grossman). Im Oktober erschien »The Singularity is Near: When Humans Transcend Biology« (Viking). Ray Kurzweil lebt in Massachusetts.

© New Scientist

Weblinks zum Thema finden Sie bei [www.spektrum.de](http://www.spektrum.de) unter »Inhaltsverzeichnis«.

AUTOR