

# Auslaufmodell Mensch

Seit über 40 Jahren versuchen Wissenschaftler den Computern Intelligenz und künstliches Leben einzuhauchen. Zwischen geplatzten Träumen, vordergründigen Triumphen und eher stillen Erfolgen im Alltag wird klar: Die Visionen vom künstlichen Menschen verschwinden nie.

**D**as ist brutal. Kasparov schüttelt seinen Kopf“, kommentierte der Internationale Schachmeister Maurice Ashley den 33. Zug von *Deep Blue*. „Diese Wendung konnte niemand vorhersehen. Der Weltmeister sieht aus, als hätte ihn der Computer zerstört.“

Vier Züge später war im Auftaktmatch gegen den leistungsfähigsten Schachautomaten der Welt das Schicksal des brilliantesten Schachspielers aller Zeiten besiegelt. Eine kleine Sensation, aber kein Wunder: Garry Kasparov hatte 256 Prozessoren gegen sich, alle auf die Analyse des königlichen Spiels spezialisiert.

„Wenn man eine erfolgreiche Schachmaschine ersinnen könnte, wäre

man wohl zum Kern des menschlichen Denkvermögens vorgestoßen“, beschrieben die amerikanischen Forscher Allen Newell, John C. Shaw und Herbert A. Simon ihr Motiv, als sie in den fünfziger Jahren angingen, Com-

puter auf dieses Strategiespiel zu trimmen. Als erfolgreich darf *Deep Blue* zweifelsohne gelten, da er den Weltmeister wenigstens in einer Partie in die Knie gezwungen hat. Aber Denkvermögen? Der IBM-Spezialrechner ist in der Lage, etwa 300 Millionen Schachpositionen pro Sekunde schematisch auszuwerten. Er denkt aber weder über Strategie noch über Sieg oder Niederlage nach.

Die Zeit schien reif im Sommer 1956, als sich im amerikanischen Dartmouth College die Visionäre unter den Computer-Kundigen versammelten, um die „Künstliche Intelligenz“ (KI) aus der

Taufe zu heben: unter anderem

Größen wie der Informationstheoretiker Claude Shannon, der spätere Nobelpreisträger für Wirtschaftswissenschaften Herbert Simon, der namensgebende John McCarthy oder der scharfzüngige Marvin Minsky, später Mitbegründer des Forschungsinstituts für KI am Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Die Wissenschaft sollte mit Computern menschliche Leistungen reproduzieren, für die wir Intelligenz benötigen. Daß die zimmerfüllenden High-Tech-Kolosse mehr konnten als nur Zahlen verdauen, hatten Forscher wie der englische Mathematiker Alan Turing oder der amerikanische Kybernetiker Norbert Wiener schon Jahre

zuvor bemerkt. Strategiespiele, aber auch mathematische Beweise schienen Anwendungsfelder zu sein, in denen der Rechner seinen Schöpfer bald überflügeln würde.

Wie optimistisch die Gründerväter waren, zeigt eine Reihe von Prognosen, die sich als völlig unrealistisch erwiesen haben. Ende der fünfziger Jahre etwa tönte Herbert A. Simon bereits, binnen zehn Jahren würde ein Computer den Menschen vom Thron des Schachweltmeisters stoßen. Innerhalb des gleichen Zeitraums könnten Rechenmaschinen neue mathematische Theoreme entdecken und beweisen.

Nichts von alledem trat ein. Im Februar 1996 deklassierte Garry Kasparov seinen automatisierten Widersacher im 500 000-Dollar-Schachkampf trotz seiner Auf-

## Alle Prognosen erwiesen sich als unrealistisch

taktniederlage noch 4:2. Und *Mathematica*-Erfinder Stephen Wolfram geht zwar davon aus, daß die Software in ihrer neuen Version 3.0 besser Integrale lösen kann als jeder Mensch. Doch mathematische Intuition und Innovation bleiben immer noch Sache der Auftraggeber.

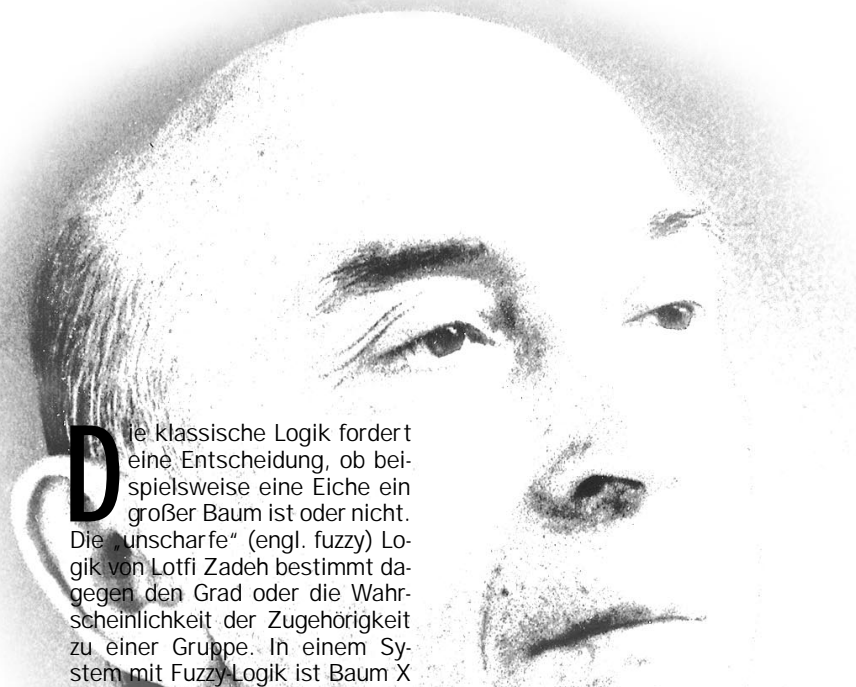
„Es hat sich herausgestellt, daß Probleme wie das Schachspielen, die uns











**D**ie klassische Logik fordert eine Entscheidung, ob beispielsweise eine Eiche ein großer Baum ist oder nicht. Die „unscharfe“ (engl. fuzzy) Logik von Lotfi Zadeh bestimmt dagegen den Grad oder die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zu einer Gruppe. In einem System mit Fuzzy-Logik ist Baum X

## In der Unschärfe liegt ihre Stärke

zum Beispiel mit dem Grad 0.6 zugehörig zur Gruppe der großen Bäume. Eigenschaften wie „groß“ oder „heiß“ treffen also zu einem bestimmten Grad zu und nicht wie in der klassischen Logik ganz oder gar nicht. Solche vagen Angaben machten diese Logik besonders attraktiv, wenn es darum ging, ungenaue Vorstellungen über technische Zusammenhänge zu formulieren.

Doch dem in diesem Kasten abgebildeten Zadeh ging es nicht

nur um eine Erweiterung der Logik. Er sah in der „Verunschärfung“ ein generelles Prinzip, das sich auf alle wissenschaftlichen Theorien anwenden läßt.

Besonders vielversprechend ist der Einsatz von Fuzzy-Arithmetik in Kombination mit anderen Methoden der Künstlichen Intelligenz. In tragbaren Kleincomputern wie Apples Newton sind neuronale Netze und Fuzzy-Arithmetik für die Erkennung von Handschriften verantwortlich.

schwierig erschienen, tatsächlich einfach waren“, gesteht Raymond Kurzweil den Irrtum der frühen Jahre ein. Der erfolgreiche KI-Unternehmer arbeitet mit seinen Spracherkennungsprodukten an der anderen Front: Das, was Menschen so leicht fällt, ist für Maschinen schwer.

„Die heute zur Verfügung stehenden Systeme sind weit davon entfernt, ihre Aktivitäten menschenähnlich auszuführen“, stellt der „Delphi-Bericht 1995 zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik“ des Bundesforschungsministeriums fest. „Auch die Expertensysteme, auf die in den siebziger und achtziger Jahren große Hoffnungen gesetzt wurden, haben die Erwartungen nicht erfüllt.“ Professor Wolfgang Bibel von der Technischen Hochschule Darmstadt, ein schon früh im Ausland anerkannter deut-

scher KI-Veteran, relativiert: „Der Fortschritt ist stetig, aber sehr langsam.“ Für die Praxis entscheidend ist nicht mehr, ob eine Software intelligent ist oder menschenähnliches Verhalten zuläßt, sondern, ob sie zu etwas Nützlichem taugt.

Beispiel Fuzzy-Logik: Mitte der sechziger Jahre entwickelte der amerikanische Berkeley-Professor Lotfi Zadeh den Grundstock einer „unscharfen“ Logik (siehe Kasten). Während noch in den achtziger Jahren vor allem experimentelle Modelle von Fuzzy-Systemen entwickelt wurden, ist diese Technik heute Bestandteil von Industrieanlagen und Elektrogeräten: Fuzzy-Logik sorgt zum Beispiel in modernen Kameras für nicht verwackelte Bilder.

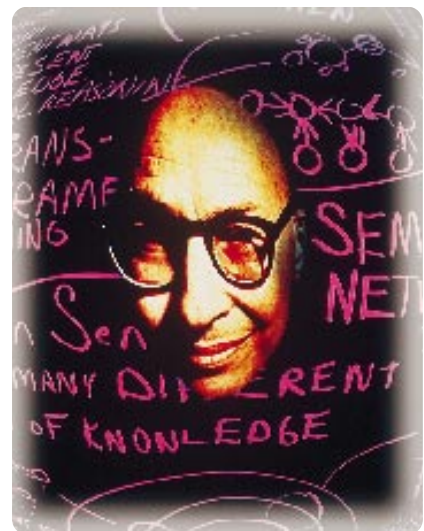
Was im beschaulichen Dartmouth vor 40 Jahren als mehrtägiges „Summer Re-

search Project on Artificial Intelligence“ begann, hat sich mittlerweile zu einem riesigen Forschungs- und Entwicklungsgeschäft gewandelt: Allein für die USA wird der Markt derzeit auf rund eine Milliarde Dollar geschätzt. Verändert haben sich auch die Forscher, die an der Grenze zu den noch unverstandenen Leistungen des menschlichen Geistes ihre Aufgaben suchen. „Ich wäre schon zu-

## Auf dem Weg in die lukrative Normalität?

frieden, wenn man rationales Handeln vernünftig nachbilden könnte“, meint Professor Günther Görz von der Universität Erlangen-Nürnberg in zeitgemäßer Bescheidenheit. „Ich will ja keinen künstlichen Menschen bauen.“

Andere wollen das durchaus, wie Hans Moravec, Direktor des „Mobile Robot Laboratory“ an der Carnegie-Mellon University im amerikanischen Pittsburgh (siehe Interview auf Seite 50). „Je intelligenter die Maschinen werden, desto wahrscheinlicher ist es, daß sie uns auslöschen“, behauptet er. Der Roboter-Forscher ist einer der führenden Experten auf dem Gebiet der KI. Schwerpunkt seiner über 25jährigen Forschung sind mobile Roboter, denen er beibringen will, autonom zu existieren.



MICHAEL LLEWELLYN

**Pionier der ersten Stunde: Der MIT-Professor Marvin Minsky gehört zu den Vordenkern der Künstlichen Intelligenz**

Zweifel daran, was man überhaupt erreichen kann, sind über die Jahre jedoch immer lauter geworden. Daß allein aus dem Umgang mit Informationen – oft beschönigend „Wissen“ genannt – noch kein Verständnis entsteht, betont der Phi-

losoph John Searle in seinem berühmten Bild vom Chinesischen Zimmer (siehe Kasten). Es scheidet zusätzlich die Extremisten von den Maßvollen: Wer dem stur Schriftzeichen pinselnden Computer Einsicht ins Chinesische zubilligt, muß sich als Verfechter der starken KI-These einordnen lassen, die Bewußtsein und Intelligenz in Computer-Chips nicht für aus-

## Maschinen mit Intelligenz und Selbstbewußtsein

geschlossen hält. Wer dagegen nur behauptet, daß Außenstehende im Zimmer einen des Chinesischen Kundigen vermuten müßten, wird der weniger ambitionierten Fraktion der schwachen KI-These zugerechnet, die nur die Effekte von Intelligenz reproduzieren will.

Gegen die extremere Position zu argumentieren fällt naturgemäß leichter – was nicht heißt, daß vor allem amerikanische KI-Forscher solche Einwürfe unwidersprochen hinnehmen würden. Neuerdings kommt aber auch das Lager der Effekthascher unter Beschuß. Der für seine nichtperiodische Kachelung der Ebene und seine Beiträge zur Kosmologie berühmte englische Mathematiker Sir Roger Penrose geht davon aus, daß das bewußte Denken des Gehirns prinzipiell für den Computer unerreichbar sei. „Ich behaupte, daß bewußte mentale Prozesse nicht richtig in einem Rechner simulierbar sind“, präzisiert er im Gespräch mit CHIP. Als Grund führt er ein grundlegendes Theorem des Mathematikers Kurt Gödel an. „Was dieser Satz uns sagt, ist, daß es immer völlig offensichtliche, wahre Aussagen gibt, die man mit einem System von logischen Regeln nicht beweisen kann.“

Der Mensch kann über diese Beschränkung hinausgehen, weil „allein die Tatsache, daß er ein Regelsystem als konsistent akzeptiert, ihn in seinen Schlußfolgerungen bereits über die Regeln hinausbringt.“ Penrose postuliert auch eine physikalische Ursache dafür, daß das Gehirn und dessen Computersimulation nie völlig übereinstimmen werden: „Ich denke, daß die nicht-berechenbare Gehirnaktivität tatsächlich an der Grenze zwischen Quantenmechanik und der klassischen Mechanik stattfindet. Das ist eine große, undeutliche Stelle in unserem augenblicklichen Verständnis.“ Da, wo simultan mögliche Alternativzustände wie eine Seifenblase in reale Ereignisse zerspringen, wäre nach Ansicht des Wissenschaftlers von der Universität Oxford der Platz für den unberechenbaren Stoff, aus dem die bewußten Einsichten sind.

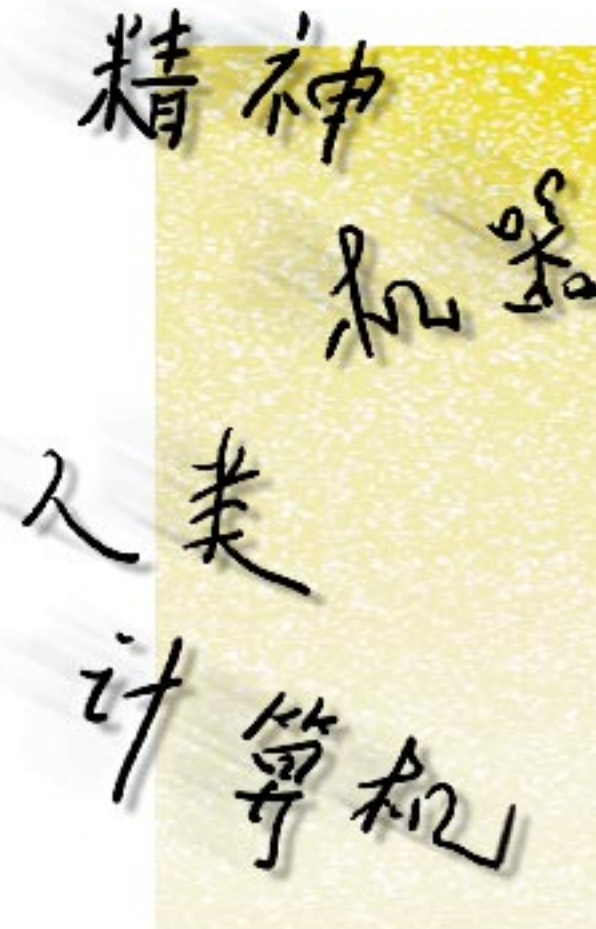
Trotz dieser prinzipiellen Einwände des KI-Außenseiters ist ein Forschungszweig der Künstlichen Intelligenz sehr erfolgreich, der das Vorbild Gehirn in sei-

## Neuronale Netze auf dem Siegeszug

ner Grobstruktur recht wörtlich nimmt. Neuronale Netze ahmen die Verschaltung von Nervenzellen nach, sind aber längst nicht so komplex. Auch dienen sie nicht direkt zur Simulation geistiger Vorgänge. Sie gelten heute eher als Verfahren, mit dem Systeme sich an Bedingungen anpassen, also „lernen“ können.

Was vor wenigen Jahren noch ein Randbereich theoretischer Computerforschung war, steckt jetzt bereits in Computersystemen und Haushaltsprodukten. Beispiele sind intelligente Waschmaschinen, die energie- und wassersparend auf den Verschmutzungsgrad der Wäsche reagieren, und Computerprogramme, die Handschriften, Fingerabdrücke, Autokennzeichen und sogar Gesichter erkennen. Auch das Internet profitiert von neuronalen Netzen. Das kürzlich von der britischen Firma Cambridge Neurodynamics vorgestellte Suchprogramm *Autonomy* verwendet die Technik auf herkömmlichen PC, um die Informationsflut des Internet in den Griff zu bekommen.

„Neuronale Netze sind eine der wichtigsten Methoden, wann immer es darum geht, Muster zu erkennen“, behauptet Shun-ichi Amari, Leiter der japanischen Brain Information Processing Group (RIKEN) und Professor an der Universität Tokio. Gemeinsam mit seinen



Kollegen arbeitet er an dem ehrgeizigen Forschungsprogramm der japanischen Regierung, das 21. Jahrhundert zum „Jahrhundert des Gehirns“ auszurufen.

Schon einmal wurden die Japaner bei einem KI-Forschungsprojekt überschätzt. Die amerikanische Vormachtstellung in Sachen Computer sei in Gefahr, warnte der Expertensystem-Pionier Edward A. Feigenbaum im Herbst 1981, als Pläne des japanischen Außenhandelsministeriums MITI ruchbar wurden, in zehn Jahren den Weg zum „Computer der fünften Generation“ zu ebnen.

Obwohl der Projekttitel „Fifth Generation Computer Systems“ die nächste Hardware-Revolution nach Vakuumröhren, Transistoren, integrierten und hochintegrierten Halbleiterschaltungen suggeriert, hat sich das im April 1982 gegründete japanische Institute for New Generation Computer Technology (ICOT) überwiegend mit Software und Fragen der Computer-Architektur beschäftigt. Ein dank menschenfreundlicher Interaktionsfähigkeit – etwa Sprachein- und -ausgabe – leicht zu bedienender Computer, eine Art intelligenter Assistent, war





# Chinesischer Budenzauber

**A**lbert Einstein hat „Gedankenexperimente“ in der Physik berühmt gemacht. Dem in Oxford geborenen Philosophen John Searle verdankt die Künstliche Intelligenz ein anschauliches Rezept, das Visionäre von Pragmatikern scheidet.

Man setze einen Menschen ohne die geringsten Chinesischkenntnisse an einen Schreibtisch und gebe ihm eine umfangreiche, aber klar verständlich geschriebene Anleitung nach dem Motto: Erblickst du dieses chinesischen Schrift-

zeichen oder eine bestimmte Kombination auf einem Zettel, so male jene Zeichen auf ein neues Blatt Papier.

Ist das Regelwerk der Schriftzeichentransformation genügend ausgefeilt, entsteht – simsalabim – ein Büro für chinesische Korrespondenz. Wer von draußen chinesische Botschaften in

das Posteingangskörbchen wirft und wenig später eine chinesische Nachricht im Ausgangskorb findet, vermutet einen mit Verständnis ausgestatteten Sachbearbeiter am Werk.

Der Blick hinter die Tür wäre allerdings ernüchternd. Der Sachbearbeiter im Chinesischen Zimmer hat keine Ahnung von der Bedeutung der Nachrichten, die über seinen Tisch laufen. Ähnlich, so folgert der an der University of California in Berkeley lehrende Philosoph Searle, können Computer höchstens Symbole transformieren, aber nicht verstehen.

Keine Rede also davon, daß Künstliche Intelligenz zur Erkenntnis befähigte Computer hervorbringen könnte.

**Denn Computer wissen nicht, was sie tun**

头脑 → 精神  
精神 → 机器

精神

身体

ILLUSTRATION: FÜRST

die Vision – wenn auch nach japanischem Verständnis nicht das Nahziel.

Herausgekommen ist eine raumgreifende „Parallel Inference Machine“. Das Prunkstück der Japaner nutzt 512 Prozessoren, um logische Schlußfolgerungen auszuführen. Die Aufgaben erteilt der Mensch dem mechanischen Schnellschließer nicht etwa in Japanisch, sondern in einer logischen Programmiersprache für Parallelrechner.

Was Otto Steuerzahler heute als Schuß in den Ofen empfinden mag, elektrisierte westliche Wissenschaftler Anfang der achtziger Jahre: Die in einer Art staatlich verordneten Dornröschenschlaf versunkene KI-Forschung in England etwa wurde mit 350 Millionen Pfund wiedererweckt. Deutschland erhielt einen „Förderschwerpunkt KI“, in den bis 1993 rund eine halbe Milliarde Mark floß.

Mehr Schwierigkeiten als der Umgang mit reiner oder Fuzzy-Logik macht den

künstlich-intelligenten Rechnern jedoch der ganz normale Alltag ihrer Erfinder. Computer erzeugen heute schon aus formalen Beschreibungen Software, die effizienter läuft als die von Menschen geschriebenen Programme. Wie Eis am Stiel gegessen wird, ist ihnen jedoch ein Buch mit sieben Siegeln (siehe Kasten Seite 36).

Eine ernüchternde Bilanz auch in anderen Gebieten der Jagd nach der Maschinenintelligenz präsentiert der Delphi-Bericht des Bundesforschungsministeriums: „Weder in bezug auf Schnelligkeit, Effektivität und Flexibilität noch bei der Fehlertoleranz reichen Anwendungen der Bildverarbeitung und -erkennung, der Sprachverarbeitung oder der Robotersteuerung an die menschlichen Fähigkeiten heran.“ Nach einem Durchhänger prophezeien Fachleute gerade aber der Robotik wieder rosigere Zeiten: „Der KI-Anteil ist in der Robotik tatsächlich noch nicht sehr hoch“, bestätigt etwa

Wolfgang Bibel. „Die Robotik wird aber in den nächsten Jahren enorm zulegen.“

Vor gut zwanzig Jahren rumpelten die Blechgesellen des Robotik-Visionärs Moravec noch hilflos durchs Labor, eckten an oder fielen um. Zehn Jahre später fertigten sich seine Roboter mit Hilfe von Signalen, die sie über Sonargeräte und Kameraaugen empfangen, immerhin zweidimensionale Umgebungskarten an. Das reicht nicht, wenn sich die Maschinen autonom bewegen sollen. „Um sich fehlerfrei orientieren zu können, brauchen die Roboter ein dreidimensionales Abbild ihrer Umgebung“, sagt Moravec.

Im Auftrag der Daimler-Benz AG tüfelt der KI-Experte seit Anfang 1996 in Berlin an einem Prototyp des dreidimensionalen „Evidence Grid“ – ein Gitternetz, das mit Millionen von Daten über die Umgebung gefüttert wird. Moravec' 3-D-Leitsystem arbeitet mit einer Kombination von Signalgebern: stereoskopische Kameras, Laserstrahler und Kontaktsensoren, die während der Roboterbewegung Informationen sammeln. Jedemal, wenn die Risc-Workstation Sparc 20 Messungen erhält, überträgt sie

## Lexikon mit Verstand

**U**nser Wissen über den Alltag in computerverdauliche Häppchen zu zerlegen und in sinnvolle Beziehungen zu organisieren – nichts Geringeres ist Ziel des Cyc-Projektes. Wenn Sie je unsicher sein sollten, wie herum ein Glas Milch auf dem Tisch

Wissensbank der für das alltägliche Leben wichtigen Fakten soll mittlerweile mehrere zehntausend Begriffe benutzen und mehr als 400 000 Einträge umfassen.

Computer können Cyc verwenden, um sich einen besseren Reim auf die Eingaben ihrer Benutzer machen zu können.

Oder umgekehrt: Was der Rechner schon weiß, muß dessen Benutzer nicht mehr eingeben. Beispiel Suche in einer Bilddatenbank: Die Stichworte „Verängstigte Person“ könnten den Hinweis auf ein Foto zutage fördern, das mit der Beschreibung „Soldat zielt mit Gewehr

auf eine Frau“ abgelegt ist. Denn Einträge wie „Gewehre sind lebensbedrohlich“ und die Regel „Bedrohte Menschen empfinden Angst“ reichen, um die Brücke zwischen Anfrage und Datenbankeintrag zu schlagen.

### Grenzenloses Wachstum

Der Wissensspeicher soll zukünftig weiter wachsen. Cycorp will ihn im nächsten Jahr in einen Verbund von Cyc-Spezialisten umwandeln, die nur noch einen Wissenskern gemeinsam haben, ansonsten aber verschiedene Gebiete wie Geographie, Politik und Ökonomie abdecken.

Auch das World-Wide Web mit seinen immensen Datenbeständen soll angezapft werden: Für den Party-Smalltalk über Kinofilme würde Cyc in Zukunft Web-Seiten anzapfen. Dazu will Cycorp Übersetzungsmodule entwickeln, die die Seiten im WWW aus der Perspektive von Cyc wie seinesgleichen erscheinen lassen. Cyc könnte sich auf diese Weise bei Bedarf aus den unerschöpflichen Informationen im Internet versorgen, egal ob es um Schauspielernamen, Börsenkurse oder das CIA World Factbook geht.

die Werte in das Gitter. Daraus entsteht eine 3-D-Karte, die ständig ergänzt und mit beliebigen Anwendungen des Roboters verknüpft werden kann.

100 Mips (Millionen Instruktionen pro Sekunde) schafft Moravec' Rechner heute. Nach den Berechnungen, die er in seinem neuen Buch „Mind Age“ anstellt, braucht ein Roboter – dessen Intellekt

## In nur vierzig Jahren so intelligent wie der Mensch

sich in der Größenordnung eines Reptilienhirns bewegt – die zehnfache Rechenleistung. Spätestens im Jahr 2010, so Moravec, wird es soweit sein. Zehn Jahre später werden Roboter mit einer Million Mips das Niveau von Primaten erreicht haben. Dem logischen Denken des Homo sapiens ebenbürtig ist der Roboter nach Moravec dann 2040 – mit 30 Billionen Instruktionen pro Sekunde.

Er gilt in Fachkreisen jetzt schon als einer der intelligentesten seiner Art: der Roboter „Cog“. Die KI-Experten im Labor für Künstliche Intelligenz des MIT nehmen für ihn menschliche Wahrnehmungs- und Bewegungsabläufe als Vorbild. Sein Name steht für „cognition“ – Erkenntnis. Ausgestattet mit elektronisch nachgebildeten Augen, Ohren und Armen soll sich „Cog“ mit Hilfe eines Neurocomputer-Gehirns zurechtfinden. Beine hat er nicht, dafür erkundet er die Welt durch rotierende Videokameras. Hat er kapiert, wie er mit seinem Greifarm ein Stück Holz geschickt aufhebt, merkt er sich die Technik.

Auf sechs Achsen kann der Roboter den Oberkörper bewegen. Für den Fall, daß sich „Cog“ zuviel zumutet, sollen Sensoren an seinem Torso Alarm schlagen. „Wir werden ihm einen Müdigkeitsmelder verpassen“, berichtet MIT-Professor Rodney A. Brooks.

Ausdauer brauchen die Roboter, die am GMD-Forschungszentrum Informationstechnik in St. Augustin entwickelt werden.

Die Radfahrzeuge sollen im Kanal-

(Forts. Seite 45)



**Frage des Standpunktes:**  
Ein Geburtsfehler von Wissensspeichern ist, daß – wie hier im Bild von Dalí – die gleiche Information je nach ihrer Einbettung in die Umgebung eine sehr unterschiedliche Interpretation finden kann

steht, Cyc (von „encyclopedia“) weiß die Antwort: Nicht auf dem Kopf, sondern aufrecht. Für Computer ist diese Einsicht sensationeller als für unsereins, die wir seit der Mutterbrust den Umgang mit dem flüssigen Nahrungsmittel gewöhnt sind.

### Beispielloses Projekt

Aber woher soll ein Stück Software die Erkenntnis nehmen, daß Bäume meist draußen wachsen und ein Toter nicht mehr lebendig werden kann? Man muß es ihm halt sagen. Seit 1984 versuchen amerikanische Forscher unter Leitung von Douglas Lenat die Enzyklopädie des gesunden Menschenverstands aufzubauen. Mittlerweile ist Cyc in seine kommerzielle Phase eingemündet. Noch dieses Jahr will die texanische Entwicklerfirma Cycorp einen Ausschnitt davon zur nichtkommerziellen Nutzung zugänglich machen. Die

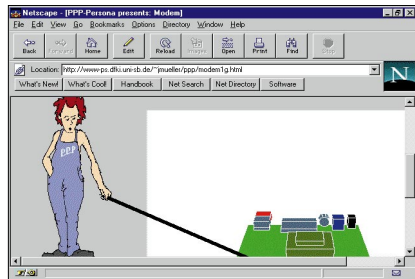




system nach dem Rechten sehen. Mit Kameras und Spezialwerkzeugen navigieren sie durch das unterirdische Labyrinth.

Damit die Kanalarbeiter auch mit unvorhersehbaren Problemen zurechtkommen, füttern die GMD-Experten sie mit Künstlicher Intelligenz: „Wir brauchen die offene Programmstruktur, weil sich die Roboter flexibel verhalten müssen“, berichtet Entwickler Joachim Herzberg. Die Software hat keine vom Programmierer definierten Grenzen, sondern lernt ständig dazu. Treffen die Radfahrzeuge auf ein Hindernis, speichern sie diese Information und poltern bei der nächsten Begegnung nicht mehr dagegen.

Geraten die Reinigungswagen in Haarnadelkurven, an meterhohe Schächte oder diagonal verlegte Abwasserrohre, müssen sie kapitulieren. Deshalb bekommen sie Helfer: Die Roboterschlange,



**Maßgeschneiderte Informationen im Netz: Das intelligente System PPP**  
*Persona* stellt zusammen, was immer sein Benutzer an Daten braucht

ebenfalls ein GMD-Projekt, wird sie, so das Konzept, bei ihren Patrouillen begleiten. Noch ist die Schlange via Kabel mit dem Steuerrechner verbunden. Geplant ist, sie auf Basis der Künstlichen Intelligenz autonom agieren zu lassen.

Ein erster Prototyp der Zwei-Meter-Schlange kriecht durch die Teststrecke der GMD. Ende 1997 soll ihre Entwicklung abgeschlossen und ein Unternehmen

## Schlaue Roboter arbeiten als Katastrophenhelfer

als Abnehmer gefunden sein. Das Spektrum des sensorgesteuerten Reptils ist breit gefächert. „Schlangen könnten als Suchtrupps in eingestürzten Gebäuden oder in verseuchten Räumen eingesetzt werden“, beschreibt Karl-Ludwig Paap, GMD-Informatiker, die Einsatzpläne.

Sollen Roboter zusammenarbeiten, setzt das die Fähigkeit zur sozialen Interaktion voraus. „Roboter können sich absprechen, wie sie die Arbeit optimal aufteilen können“, schildert Kerstin Dauten-

hahn ihre Vision. Die Biologen erforscht seit dem Frühjahr 1996 im KI-Laboratorium der Freien Universität Brüssel (VUB) das Miteinander der Computerwesen. In dem von der EU finanzierten Projekt üben Roboter schon mal das „social life“: Über Sensorgürtel nehmen sie Kontakt zueinander auf, imitieren sinn-

volles Verhalten und vermeiden es, nutzlose Aktionen nachzuahmen. Eines Tages sollen die Roboter auch mit Menschen oder Software kommunizieren. Luc Steels, Professor für Computer-Wissenschaft an der VUB, experimentiert mit Spracherkennungs- und -verarbeitungssystemen, die er Robotern einpflanzt. ○



F. K. HUMMEL

## Partygeflüster: Intelligenztest

Intelligent oder nicht – das war für den britischen Mathematiker Alan Mathison Turing (1912-1954) eine Frage, die das Experiment entscheiden kann. Er illustrierte die Idee mit einer Art Gesellschaftsspiel, das Online-Chatter längst aus eigener Erfahrung kennen: Sitzt am anderen Ende der Leitung ein Mann oder eine Frau, wenn man sich tippend über ein Computer-Terminal unterhält? Im Turing-Test sollte ein Fragesteller versuchen, zwei Online-Kandidaten das richtige Geschlecht zuzuordnen. Die KI-Frage ist: Kann ein Computer eine Rolle glaubhaft mimen?

Turing erwartete, daß Computer bis ins Jahr 2000 Menschen so gut imitieren können, daß sie Fragesteller mit einer 70prozentigen Wahrscheinlichkeit hereinlegen. Die Probe aufs Exempel gibt es seit fünf Jahren tatsächlich, allerdings nicht

ganz naturgetreu; beispielsweise ist die Spielzeit beschränkt und der Tipprhythmus sichtbar. Der nach dem Stifter der Prämie „Loebner-Preis“ genannte Wettbewerb ist denn auch eher eine Kirmesveranstaltung, bei der Hobby-Programmierer den Kampf um die beste Schummelsoftware austragen. Mit dem aktuellen Loebner-Preisträger *HeX* kann man sich per World-Wide Web unterhalten (siehe Infokasten am Ende des Artikels).

Berühmtester Vorläufer dieser Programmattung ist *Eliza* von Joseph Weizenbaum (siehe Bild). Schon Mit-

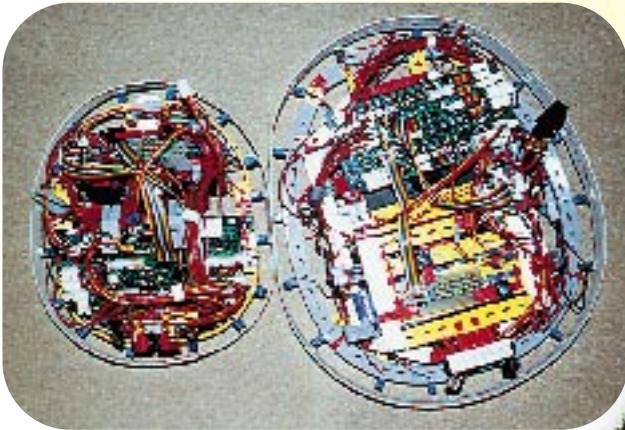
te der 60er Jahre machte der mittlerweile zum scharfen KI-Kritiker konvertierte Computerspezialist mit seiner Software

darauf aufmerksam, daß Menschen bei der Unterhaltung mit Automaten von sich aus Sinn suchen und ihnen Antworten unterstellen.

**Wenn der PC zur Plaudertasche wird**

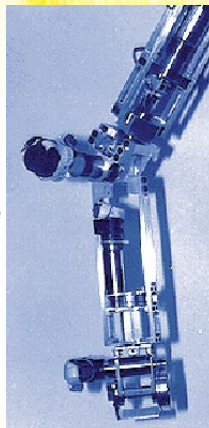
## Schildkröten, Schlangen & Co.

Längst sind Roboter keine langweiligen Blechkästen mehr. Je nachdem, was ihr Job ist, bekommen sie robuste Panzer, winzige Fühler, lange Arme oder Stummelbeine.

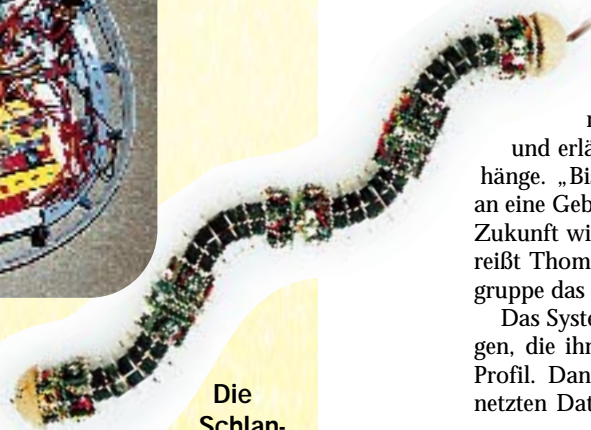


Kontakte knüpfen über den Sensorgürtel: Kerstin Dautenhahns Roboter sehen aus wie Schildkröten und üben das „social life“

Mit dem Greifarm Bewegungen trainieren: „Cog, the Robot“ vom MIT merkt sich, was er tun muß, und macht das nächste Mal keinen Fehler



Die Kameraaugen registrieren alles: Hans Moravec' Roboter zeichnen sich mit Hilfe von Videoaufnahmen dreidimensionale Landkarten ihrer Umgebung



Die Schlange kommt in jeden Winkel: Mit ihren vielen Gliedern ist die GMD-Roboterschlange sehr wendig. Das Reptil soll sich durch das Abwassersystem schlängeln.

Kommunikation – und zwar mit dem Menschen – interessiert auch ein Wissenschaftlerteam am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) in Saarbrücken. Die KI-Experten entwickeln, gefördert vom Bundesforschungsministerium, einen lernfähigen Ansprechpartner im Datennetz. „Personal Plan-Based Presenter“ (PPP) heißt das System, das in Gestalt der Cartoon-Figur „PPP Persona“ im Internet wartet, um Auskunft zu erteilen. Der multimediale Präsentations-Service soll maßgeschneidert sein: Je nachdem, was der Benutzer braucht, präsentiert ihm PPP Persona in Bild und Ton die passenden Informationen, demonstriert Abläufe und erläutert technische Zusammenhänge. „Bisher mußte sich der Mensch an eine Gebrauchsanleitung anpassen, in Zukunft wird das umgekehrt sein“, umreißt Thomas Rist von der PPP-Projektgruppe das Ziel.

Das System generiert anhand der Fragen, die ihm der Benutzer stellt, dessen Profil. Danach sucht es Texte aus vernetzten Datenbanken und verknüpft sie

### Die Gebrauchsanleitung paßt sich ihrem Leser an

zu einer Präsentation. In Zukunft soll PPP Persona mittels Sprachverarbeitung in verschiedenen Sprachen ansprechbar sein und antworten.

Eines Tages soll PPP erkennen, welche Pläne der Benutzer hat, wenn er beispielsweise im Internet surft. Mit diesem Wissen stellt PPP die richtigen Informationen aus Web-Seiten und Datenbanken zusammen. Thomas Rist: „Früher hatte man nur die Vision, daß Roboter den Kaffee holen. Heute entwickelt man Software-Agenten, die Daten beschaffen.“

Technisch ist der Software-Agent eine Art dienstbarer Geist im Datennetz: ein mobiles Programm, das Teile seiner Daten mit sich führt. Beweglich ist es, weil es seinen Auftrag auf einer Maschine unterbrechen und sich via Internet zu einem anderen Rechner übertragen läßt. Dort setzt die Software ihren Auftrag fort.

Solche Agenten können sich ohne Rücksicht auf die Orientierungsprobleme der Roboter in ihrer eingeschränkten Welt nützlich machen. Am MIT setzt man auf das „word of mouth“, also die Technik der unmittelbaren Beobachtung anderer User: Welche Websurfer haben welche Präferenzen? Wie oft klicken sie auf bestimmte Seiten oder Angebote? ○



## Digitale Spürhunde

Viele Unternehmen sammeln gezielt oder automatisch über Kassensbons oder Kundenangaben Daten. Nur ein kleiner Teil wird genutzt, um den Umsatz oder die Anzahl verkaufter Artikel zu erfahren, der Rest versauert auf teuren Servern. Damit ist dank Data Mining Schluß: Kluge Suchmechanismen fahnden seit Anfang der 90er Jahre nach neuartigem Wissen in ungenutzten Datenbeständen. So wird abgelagertes Datenmaterial in bares Geld verwandelt.

### Die reinsten Goldgräber

Mit Data Mining können Unternehmen Verbraucherverhalten analysieren und danach die Verkaufsstrategie ausrichten. Werner Emde, Informatiker in der GMD-Forschungsgruppe „Kepler“, entwickelt mit seinen Kollegen die intelligenten Suchalgorithmen: Sie spüren auffälligen Mustern in Datenbeständen hinterher. Ein Beispiel: Die Datenbank eines Marktforschungsinstituts sollte analysiert werden. Der Auftrag für die Software lautete: „Was fällt bei den Absatzzahlen von Einweg- und Mehrweggetränken auf?“ Die Software fand heraus: Menschen mit niedrigem Einkom-

men oder Arbeitslose kaufen häufig Getränke in Einwegverpackungen. Kinderlose Familien, Beamte und Kunden, die nur einmal pro Woche einkaufen, konsumieren dagegen Mehrweggetränke. Dieses Resultat könnte die Streuung von Werbemaßnahmen für Getränke senken: Trends werden sichtbar, und Risiken sind exakt abzuschätzen.

### Antwort ohne Frage

Das Erstaunliche am Data Mining ist, daß sehr unspezifische Anfragen zu überraschend genauen Ergebnissen führen können. Des Rätsels Lösung liegt in den KI-Methoden: Das System testet viele Muster durch und blieb bei auffälligen hängen.

Emde begeistern die großen Unbekannten, da er nicht genau weiß, wonach er sucht. Data-Mining-Ergebnisse sind nicht nur für die betroffenen Firmen interessant, sondern machen auch der Konkurrenz den Mund wäßrig. Gerade darin liegt jedoch das Manko: „Auch bei Data Mining kann Datensicherheit ein wichtiges Thema sein, schließlich können die Erkenntnisse aus den Daten ja wie bares Geld sein“, prophezeit Datenschürfer Emde.

**Verschüttete  
Infos sind wie  
bares Geld**

Der Software-Agent liest daran Benutzerprofile ab und ordnet seinen eigenen Benutzer in eine dieser Konsumentenschubladen ein. Ist die Frage der Vorlieben geklärt, sammelt der Datenjäger nach dem Ähnlichkeitsprinzip Wissenschaftstexte, Comic-Strips oder Kochrezepte.

*Firefly* beispielsweise ist ein auf Musikwünsche spezialisierter Agent. Er spürt im Netz für seinen „Herrn“ alles auf, was andere mit ähnlichen Präferenzen zuvor angeklickt haben. Der Sammler ist lernfähig: „Je mehr Leute das System benutzen, desto schlauer wird *Firefly*“, erklärt Pattie Maes, Leiterin der „Autonomous Agents Group“ am MIT.

Wie ein Mensch mit einem neuronalen Netz suchen würde, simuliert *Autonomy*, eine von Cambridge Neurodynamics entwickelte Software. Es macht sich mit dem Thema vertraut, indem es passende Fachtexte analysiert. *Autonomy* bestimmt aus der Häufigkeit einzelner Wörter und deren Stellung im Satz, welche Stichworte wichtig sind. Danach durchforstet es das Internet und vergleicht gefundene Dokumente mit der Suchfrage und erworbenen „Wissen“.

Die Aussicht, daß Maschinen selbstständig agieren können, ruft besorgte Kritiker auf den Plan. „Ein Ziel bei der Konstruktion maschineller Agenten muß

es sein, die Entscheidung über Ziele und Kriterien menschlichen Handelns immer bei den betroffenen Anwendern zu lassen.“

bringt Günter Hellbardt, Leiter der Arbeitsgruppe Ethik des Industrieverbandes VDE/VDI, die Forderungen auf den Punkt.

Statt sich in theoretischen Postulaten zu verlieren, versuchte sich Science-Fiction-Autor Isaac Asimov schon 1950 in praktischen Tips. Seine drei Roboter-Gebote, aufgestellt im Roman „I, Robot“, lauten:

1. Ein Roboter darf kein menschliches Wesen verletzen oder durch Untätigkeit zulassen, daß ihm Schaden zugefügt wird.
2. Ein Roboter muß den von einem Menschen gegebenen Befehlen gehorchen, es sei denn, ein Befehl steht im Widerspruch zu Regel 1.
3. Ein Roboter muß seine Existenz beschützen, solange dies nicht mit Regel 1 oder 2 kollidiert.

Karlhorst Klotz, Nikola Pfeiffer,  
Susanne Specht, Oliver Wanke



Cycorp, 3500 West Balcones Center Drive, Austin, TX 78759, Tel. 001-512-338-3435, Fax 338-3858, E-Mail: info@cyc.com, WWW: <http://www.cyc.com>

Delphi-Bericht 1995 zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik – Mini-Delphi. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Referat Öffentlichkeitsarbeit, 53170 Bonn, Fax (0228) 57-3917, [information@bmbf.bund400.de](mailto:information@bmbf.bund400.de)

Kurzweil AI, 411 Waverley Oaks Road, Waltham, MA 02154 USA, Tel. 001-617-893-5151, Fax 893-6525

### WWW-Adressen:

Autonomy: <http://www.camneuro.stjohns.co.uk>

Cog: <http://www.ai.mit.edu/projects/cog>

GMD-Schlange: <http://set.gmd.de/RS/snake>  
Imitationsprogramm HeX: <http://clips.ee.uwa.edu.au/%7Ehutch/Hal.html>

KI-Labor am MIT: <http://www.ai.mit.edu>

PPP Persona mit Java-Demo: <http://www.dfki.uni-sb.de/iii/multimedia/ppp.html>

### Bücher:

Günther Görz (Hrsg.): Einführung in die Künstliche Intelligenz, Addison-Wesley, Bonn, 1993

Raymond Kurzweil: KI. Das Zeitalter der Künstlichen Intelligenz, München, 1993

Roger Penrose: Schatten des Geistes, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1995; dazu auch [http://psyche.cs.monash.edu.au/psyche-index-v2\\_1.html](http://psyche.cs.monash.edu.au/psyche-index-v2_1.html)

Stuart Russell, Peter Norvig: Artificial Intelligence – A Modern Approach, Prentice Hall, New Jersey, 1995



## INTERVIEW

## „Richtig gute Roboter-Kumpel“

Superintelligente Rechner werden eines Tages die Erde regieren. Davon ist zumindest Roboter-Forscher Hans Moravec fest überzeugt.

**CHIP:** Derzeit können Roboter nicht mal leichte Aufgaben fehlerfrei erledigen. Wann kann man sich auf sie verlassen?

**Moravec:** 99 Prozent dieser Probleme sind in fünf Jahren behoben. Zudem werden die Roboter erschwänglich, und man wird ihnen zunehmend anspruchsvolle Jobs übertragen.

**CHIP:** Müssen die Menschen dann um ihre Arbeitsplätze zittern?

**Moravec:** Schon heute erledigen Rechner blitzschnell vieles, was die Menschen früher mühsam zusammengeschustert haben. Schließlich sind die Firmen dann voll automatisiert. Niemand beschäftigt in vierzig Jahren noch einen Menschen, weil es einfach nichts mehr gibt, was die Roboter nicht billiger und besser leisten. Sie überholen uns in jeder Beziehung.

**CHIP:** Wo ist in einer solchen Gesellschaft der Platz der Menschen?

**CHIP:** Ein viel bemühtes Horror-Szenario in Science-Fiction-Filmen ist, daß die Roboter ihre Schöpfer eines Tages auslöschen werden.

**Moravec:** Das werden sie ganz sicher tun. Aber ich finde das gar nicht schrecklich. Es ist einfach eine ganz natürliche Entwicklung – wie bei Kindern, die als nächste und stärkere Generationen ihre Eltern verdrängen. Wir werden aber nicht mal merken, wenn wir langsam verschwinden. Die Roboter speichern uns in ihrem Gedächtnis, und wir existieren als eine Art Simulation weiter.

**CHIP:** Zu einer Gesellschaft gehören auch geistige Werte. Entwickeln die Roboter parallel zu ihrer Intelligenz auch eine eigene kulturelle Identität?

**Moravec:** Alles, was wir heute an kulturellen und gesellschaftlichen Werten pflegen, wird wie die Kultur von Steinzeitmenschen wirken gegen das, was die Roboter entwickeln. Welch ein Reichtum sich in dieser Beziehung herausbilden wird, liegt außerhalb unserer menschlichen Vorstellungskraft.

**CHIP:** Emotionen unterscheiden den Menschen von anderen Lebewesen. Wie ist das bei Robotern?

**Moravec:** Sie müssen sich sogar richtig mögen. Soziale Beziehungen

**CHIP:** Das hört sich an, als wären Roboter dereinst die besseren Menschen.

**Moravec:** Gut möglich. Roboter werden die Menschen perfekt imitieren können. Manche Menschen werden es dann vorziehen, einen Roboter zum besten Freund zu haben. Weil die Imitation einfach besser ist als das Original.

**CHIP:** Gibt es in der Zukunft richtig gute Roboter-Kumpel?

**Moravec:** Schwer vorstellbar, ich weiß. Die heutigen Maschinen verhalten sich noch stupide wie ein Insekt. Und für viele ist es nun mal absurd, sich mit so

etwas Ähnlichem wie einer Spinne anzufreunden. Aber das ändert sich, wenn der Roboter intelligenter als der Mensch ist.

**CHIP:** Wird es Mischwesen zwischen Mensch und Roboter geben?

**Moravec:** Sicher wird es technisch möglich sein, in dieser Richtung etwas Passendes zu bauen. Der Rest bleibt dann eine Frage der persönlichen Präferenz. Doch irgendwann sind die Menschen ohnehin überflüssig geworden, weil die reale Gesellschaft die der Roboter ist. Dann ist es völlig egal, was die Menschen mit wem tun.

**CHIP:** Die Rechner werden immer kleiner – schrumpfen Roboter auf die Größe von Mikrochips?

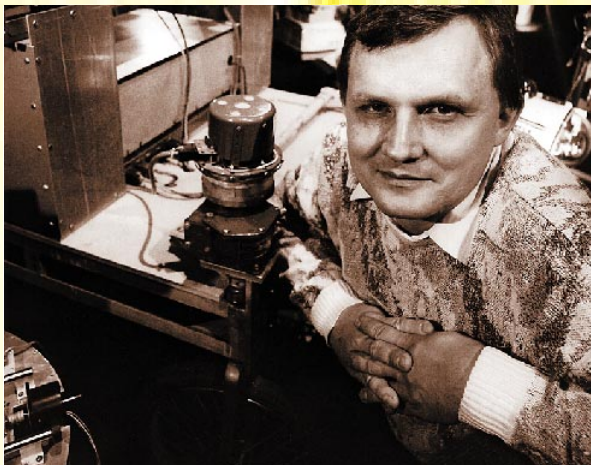
**Moravec:** Das wäre ja richtig altmodisch. Die Physik von Zeit, Materie und Raum selbst wird durch die Roboter manipuliert, so daß sie in optimaler Weise zur Verfügung stehen. Was dann existiert, ist als Materie vielleicht gar nicht mehr wahrnehmbar. Der Raum selbst wird sich in ein denkendes Medium wandeln.

**CHIP:** Haben Sie ein negatives Weltbild, wenn Sie so davon überzeugt sind, daß nur die Roboter eine bessere Welt schaffen können?

**Moravec:** Im Gegenteil. Für mich ist die technologische Entwicklung der Welt das Spannendste überhaupt. Damit identifiziere ich mich sehr stark. So ist die Roboterwelt für mich eine positive Aussicht. Andere fühlen sich bei dieser Perspektive unwohl und halten an traditionellen Verhaltensweisen fest. Viele werden erst überzeugt sein, wenn sie die ersten Roboter mit wirklich netten Persönlichkeiten treffen.

*Das Interview führte CHIP-Redakteurin Nikola Pfeiffer*

„Irgendwann ist der Mensch überflüssig“



JONATHAN BECKER

„Die Imitation des Menschen wird einfach viel besser sein als das Original.“

**Moravec:** Zunächst genießen sie das Leben in vollen Zügen, weil sie von den fleißigen Arbeitsmaschinen profitieren. Meine Vision: Unternehmen, in denen nur noch Roboter arbeiten, werden einheitlich besteuert. Die Steuereinnahmen werden als Sozialabgabe an die Menschen weitergeleitet. Sie bezahlen davon Produkte und Dienstleistungen der Roboter-Firmen. Im Laufe der Zeit werden die Menschen schlicht überflüssig, weil die intelligenten Roboter autonom existieren können.

gen sind lebenswichtig, sie fördern die Kooperationen. So erinnern Sie sich beispielsweise daran, daß Ihnen jemand mal geholfen hat, und deshalb ziehen Sie ihn das nächste Mal aus dem Sumpf. Wer da nicht mitmacht, steht alleine da. Solche internen, sozialen Verhaltensmodelle werden auch die Roboter haben. Aber weil sie viel intelligenter sind, wird auch ihr Gefühlsleben viel reicher ausgeprägt sein als das unsere.