

# ROBOTIK: DAS EINFACHE IST DAS SCHWIERIGSTE

Der Robotiker Rolf Pfeifer ist überzeugt: Intelligenz ohne Körper gibt es nicht. Deshalb baut er nicht hochkomplexe Computerhirne, sondern einfache, von der Natur inspirierte Roboter.

BEAT GLOGGER UND SAMUEL SCHLAEFLI WISSENSCHAFTSJOURNALISTEN SCHWEIZ

Die Welt staunte: 1997 schlug der Superrechner Deep Blue den damaligen Schachweltmeister Garri Kasparow. 200 Millionen Stellungen pro Sekunde konnte der Computer berechnen. Die künstliche Intelligenz hatte über den Menschen triumphiert. Trotzdem können auch 13 Jahre danach Robotiker und Informatiker noch immer keinen Roboter bauen, der Aufgaben lösen kann, die uns Menschen geradezu banal erscheinen. Zum Beispiel eine Flasche Wasser greifen und daraus trinken. Jedes Kind kann es, der Roboter veranstatet trotz ausgefeilter Algorithmen und leistungsstärkster Rechner ein Chaos.

Rolf Pfeifer, Leiter des Labors für künstliche Intelligenz der Universität Zürich, hat dafür eine überraschende Erklärung:

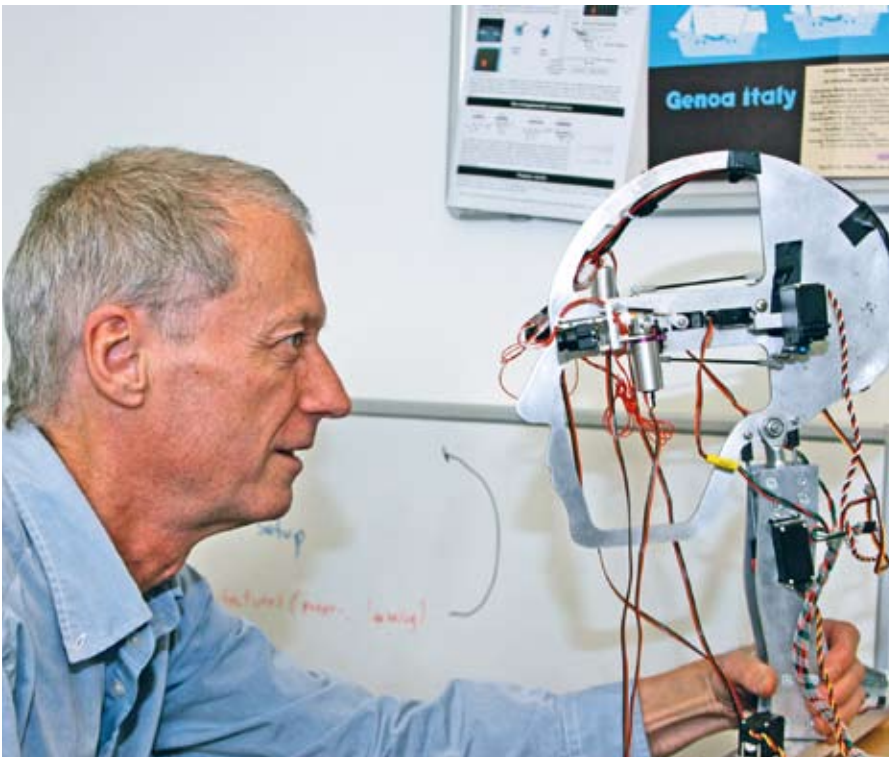
«Das Einfache ist das Schwierige.» Doch bis er zu dieser Erkenntnis kam, brauchte Pfeifer mehrere Jahre Forschung. Die Beschränktheit der ersten Roboter, die er Ende der 80er-Jahre baute, frustrierte ihn genauso wie andere Pioniere der Robotik. Schliesslich kam er, auch inspiriert durch die Hirnforschung, zur Einsicht, dass die traditionelle Vorgehensweise für die Entwicklung von künstlicher Intelligenz in eine Sackgasse läuft. «Unser Hirn ist kein Computer», sagt er heute. Darum bringe es nichts, einen Roboter lediglich mit immer mehr Rechenkapazität auszurüsten. Dadurch wird er nicht intelligenter, sondern nur schwerer, resümiert der Robotiker.

Darum verabschiedete sich Rolf Pfeifer von der Metapher «Hirn gleich Computer»,

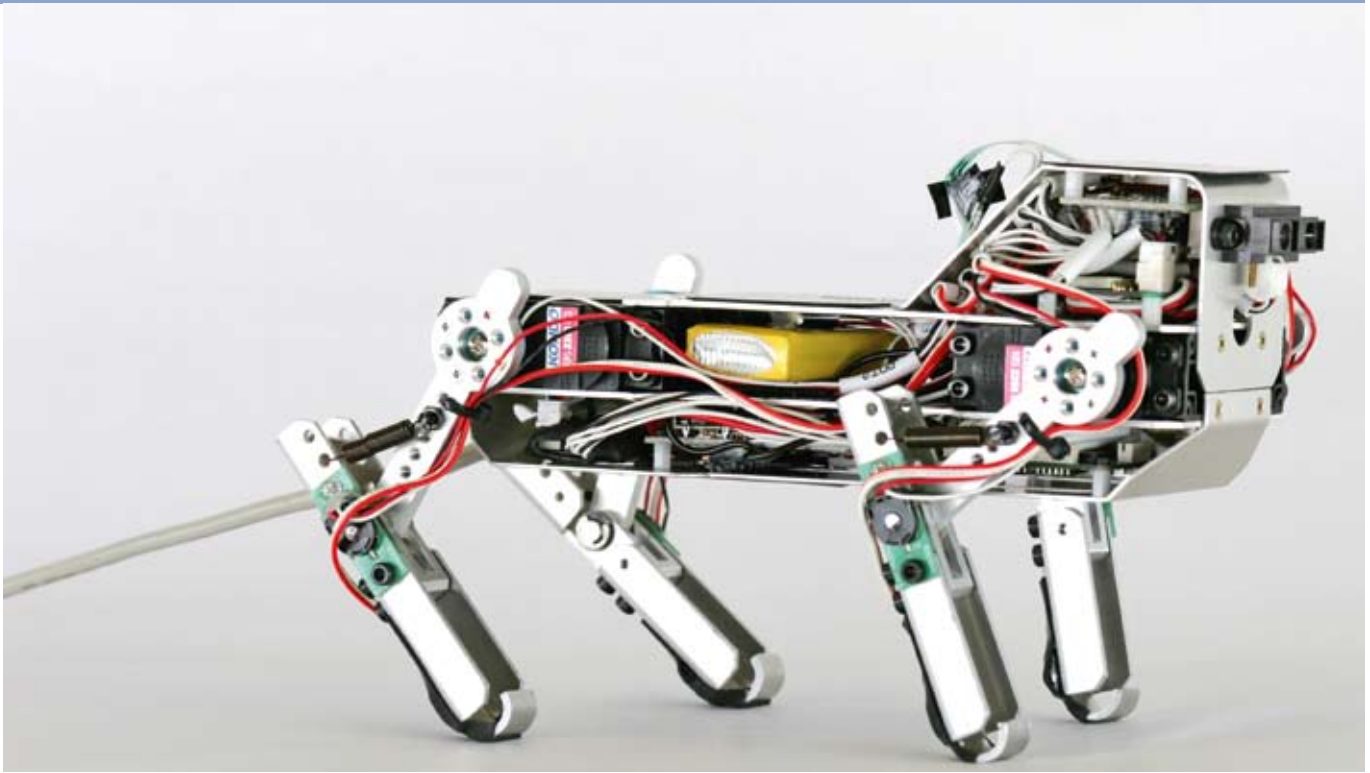
denn «Denken ist nicht Rechnen». Es war an der Zeit für einen Paradigmenwechsel.

## Denken ist körperlich

Ein ähnliches Umdenken fand gleichzeitig auch in anderen wissenschaftlichen Disziplinen statt. Viele Forschungsergebnisse aus Psychologie, Neurologie und Philosophie deuten darauf hin, dass die losgelöste Betrachtung von Denken und Körper keinen Sinn ergibt. «Bei Tätigkeiten, die wir lange Zeit für abstrakt und gänzlich unkörperlich hielten, können wir heute experimentell nachweisen, dass der Körper mitschwingt», sagt Peter Brugger von der Neurologischen Klinik des Universitätsspitals Zürich. Sein Befund zeigt sich schon in einfachsten Experimenten: Werden zum Beispiel Probanden auf einem Bildschirm Fotos von Händen gezeigt, so kann man mittels eines sogenannten funktionalen Magnetresonanztomogramms (fMRT) erkennen, dass im Hirn sofort jener Bereich aktiviert wird, der die Hände steuert – je nach Bild wird sogar unterschieden zwischen der linken und der rechten Hand. Daraus schliessen die Forscher, dass wir für die Deutung dieser Bilder imaginär unsere Hände bewegen. «Der kognitive Vorgang ist stark körperlich», sagt Brugger. «Das ist keine Theorie, sondern das lässt sich ganz konkret messen.» Diese Körperlichkeit des Denkens konnten der Neurowissenschaftler und sein Team selbst bei Menschen nachweisen, die ohne Hände zur Welt kamen. Die Wechselwirkung scheint angeboren. «Körper und Denken müssen also näher beisammenliegen als lange vermutet», interpretiert Brugger das Ergebnis. Die neuen Erkenntnisse stehen in krassem Gegensatz zum Weltbild des Philosophen René Descartes. Als er 1641 seinen berühmten Satz «Ich denke, also bin ich» formulierte, ging er davon aus, dass Geist und Materie vollkommen unabhängig voneinander betrachtet werden müssen. Bei Rolf Pfeifer ist es umgekehrt: «Ohne Körper gibt es kein Denken und keine Intelligenz.»



Die neuen Erkenntnisse des Wissenschaftlers Rolf Pfeifer stehen in krassem Gegensatz zum Weltbild des Philosophen René Descartes und zu seinem berühmten Satz «Ich denke, also bin ich». Bei Rolf Pfeifer ist es umgekehrt: «Ohne Körper gibt es kein Denken und keine Intelligenz.» Oder anders ausgedrückt: Ich renne, also denk ich. Foto: Universität Zürich, David Werner.



Die Wissenschaft steht kopf: Die Etablierung des Prinzips des «Embodiment», wonach die Intelligenz in der Körperlichkeit verankert ist, leitete einen kompletten Paradigmenwechsel in der Intelligenz-Forschung ein.

### «Cheap Design» – einfach, aber effizient

Das Hirn wäre mit der Steuerung sämtlicher Körperfunktionen vollkommen überfordert, sagt Pfeifer. «Stellen Sie sich vor, wir müssten jeden Schritt, jede Muskelanspannung, jede Fingerbeugung aktiv steuern.» Vielmehr laufe die Steuerung über Reflexe in allen Körperteilen. Diese Erkenntnis war für Pfeifers heutige Forschung zentral. Sie führte zu einem neuen Intelligenzverständnis; einer «verkörpernten» Intelligenz. Oder der «Embodied artificial intelligence», wie er seine Forschung heute bezeichnet.

Der neue Ansatz hat praktische Konsequenzen: Heute konzentriert sich Pfeifers rund 40-köpfiges Team beim Bau von Robotern mehr auf den Körper und weniger auf die Steuerung. Zum Beispiel bei «Wanda», einem Roboter, der aussieht, wie ein Fisch. Er besteht zwar lediglich aus zwei Platten und einem Scharnier, kann sich damit aber sowohl in der Horizontalen als auch in der Vertikalen bewegen. «Das überrascht Ingenieure», meint Pfeifer. «Sie vermissen einen Freiheitsgrad für die Auf- und Abbewegung. Wir aber zeigen, dass Wanda mit dieser einfachen, mechanischen Struktur sehr wohl auf- und abwärtschwimmen kann. Allerdings muss sie dazu eine Kurve schwimmen.» Diese komplexe Bewegung rechnerisch zu simulieren, wäre sehr kompliziert. Deshalb haben die Forscher dem Fisch einen Chip eingebaut, mit dem er aus eigener Perspektive Bewegungsab-

läufe dazulernen kann. Wanda ist ein typisches Beispiel für Pfeifers Vorgehensweise. «Cheap Design» nennt er es. Die Roboter sollen nicht mit Sensoren und Rechenkapazität überladen werden, sondern durch körperlich-mechanische Intelligenz zu ihren Fähigkeiten gelangen. Darum ist Pfeifer überzeugt: «Die einfachsten Lösungen sind in der Regel die besten.»

Dann stellt der Professor, der sich selbst gerne einfach als Ingenieur bezeichnet, ein kleines Maschinchen auf den Tisch, das aussieht, wie ein Hund. Der «MiniDog» hat bloss vier angetriebene Hüftgelenke, aber keine Sensoren, keinen Zentralrechner. Und trotzdem rennt er ziemlich schnell und sicher durch den Raum.

Die Bewegung wird allein über einfache Oszillatoren und mechanische Feedbackschleifen gesteuert. Auch das hat Pfeifer bei der Natur abgeschaut: «Auch wir überlegen beim Rennen nicht. Das ginge viel zu langsam. Wir verlassen uns deshalb weitgehend auf die mechanische Selbstregulierung des Körpers.»

### Roboter als Handprothese

Anwendungen seiner Forschung sieht er in der Unterhaltungsindustrie, in neuartigen Sporttrainingsgeräten und in Prothesen. Zusammen mit der University of Tokyo hat das Zürcher Team eine intelligente Handprothese entwickelt, die über die Muskulatur der Unterarme gesteuert wird. Das Anspannen der Muskeln erzeugt eine elek-

trische Spannung, die an der Hautoberfläche mittels Elektromyogramm (EMG) abgenommen werden. Die dabei entstehenden Impulse werden anhand eines künstlichen neuronalen Netzes analysiert und in Bewegungen der Roboterhand umgesetzt. Andere Forschergruppen haben sogar schon gezeigt, dass man diese Steuerimpulse direkt vom Hirn abnehmen kann. Dann reicht blosses An-die-Hand-Denken aus, um die Prothese zu steuern. Und schon nach relativ kurzer Trainingsphase kann der Träger die Roboterhand wie eine eigene nutzen. Allerdings spürt der Patient die Gegenstände in seiner Hand noch nicht. Doch Pfeifer ist bereits daran, die Kunsthand mit Sensoren auszustatten, die dem Träger Empfindungen vermitteln. Mensch und Maschine verschmelzen; der Cyborg wird Realität.

Dass Roboter den Menschen punkto Intelligenz bald übertrumpfen könnten und sich selbstständig machen, wie einst das Computerhirn HAL in Stanley Kubricks Film «2001: A Space Odyssey», glaubt Pfeifer nicht. Der menschliche Körper mit seiner ausgeklügelten Mechanik, seiner enormen Anpassungsfähigkeit, seinen Tausenden von Sensoren und konstanten Feedbackschleifen übers Hirn, bleibe noch lange ungeschlagen. «Kein Forschungsgebiet hat so viele übertriebene Prognosen über die eigenen Entwicklungsperspektiven abgegeben, wie die künstliche Intelligenz», sagt Pfeifer nicht ohne Selbstironie. <