

Freier Wille: Vermutlich eine Einbildung, um nicht zu verzweifeln

Janosch, Wörterbuch der Lebenskunst

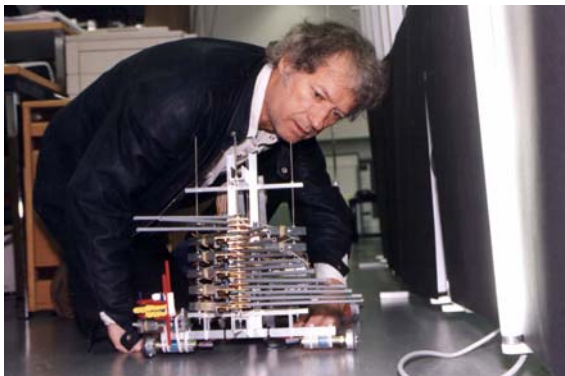
3. Alte und Neue Intelligenz

„Kühe, was für Kühe?“, fragt der Mann leicht gereizt, wacker Richtung Mensa schreitend. „Kühle, ich meine die herrliche Kühle hier in der Schweiz, nicht die Kühe.“ „Ach so, und ich dachte sie reden wie so viele von unseren doofen Kühen hier. Ich kann es nicht mehr hören,“ beendet er den Satz grinsend. Ein asiatischer Student hält uns die Tür auf, mein Begleiter spricht ihn an: „Du, Hong, schreib mir doch bitte ein Abstract von der letzten Sitzung, zwei, nein, sagen wir drei Sätze.“ „Gerne“, ist die Antwort, wir eilen weiter. Rolf Pfeifer grüßt nach rechts, Rolf Pfeifer grüßt nach links, zwischendurch Namen murmelnd, dann wieder ein „ach, wie heißt denn der noch mal?“. Pasta, Soße, Getränk, ein zügiges „ich zahle“, dann sucht er den Tisch mit den Mitarbeitern und Studenten vom Institut. „Die müssen Sie kennen lernen.“ Die sind nicht zu finden, wir setzen uns mitten in den Saal, durch die Fenster bricht sich die Sonne über Zürich den Weg.

Institut für Computerwissenschaft, Carnegie Mellon Universität, Pennsylvania, USA, 1981. Die Abteilung hat ihre besten Zeiten hinter sich; zu groß waren die Versprechungen, intelligente Einheiten konstruieren zu können, zu wenig ist davon eingehalten worden. Vor 20 Jahren, ja, da lief noch alles besser: Die Universität in der Nähe von Pittsburgh gilt als eine der Hochburgen der KI, Regierungsmitglieder lassen sich krabbelnde Roboter zeigen, Industrielle krebsten in der Hoffnung auf lukrativen Spin-off in den Gängen umher. Nun ist der süße Traum vorbei, denn die Computermetapher hat sich als unwirksam erwiesen, eine generelle Theorie der Intelligenz ist nicht in Sicht, weder für Maschinen noch für den Menschen. Hier lehrt auch Herbert Simon, der seine Arbeit weiter an der symbolverarbeitenden Logik orientiert, die,

seiner Ansicht nach, im Menschen wie im Computer wirkt. Im Sommer 1981 sitzt eben dieser Rolf Pfeifer in Simons Seminar, der mit mir durch die Mensa eilt, als ob eine Schar Androiden hinter uns her ist.

Der Schweizer hat seine Diplomarbeit in der Neutronenphysik abgeliefert, seine Promotion beschäftigt sich schon mit der Computersimulation von kognitiven Prozessen. Dann ruft das Ausland, und er schreibt einfach diejenigen Leute an, die ihm aus der Literatur am interessantesten erscheinen. „Herb“ Simon als „grand old man“ der Artificial Intelligence ist natürlich der Wunsch-Mentor. Der Nobelpreisträger nimmt den jungen Forscher tatsächlich an und diskutiert fast jede Woche eine Stunde mit ihm. „Das war für mich als kleines Würstchen vom Matterhorn natürlich eine Super-Erfahrung.“



In Arbeit: Rolf Pfeifer mit „Eyebot“.

Der Dialekt Pfeifers steht im fruchtbaren Gegensatz zu seiner Quirligkeit - die Sprache vermittelt Urgemütlichkeit, die Person agile Dynamik. Durch die Nudeln hindurch erzählt er: „Ich erinnere mich an die Zeit - da war es in der klassischen KI verpönt, überhaupt von reellen Zahlen zu reden. Man unterhielt sich in Form von abstrakten Symbolen, welche die Essenz der Intelligenz darstellen sollten.“ Die Tendenz der theoretischen KI ging eindeutig Richtung einer immer abstrakteren Wissenschaft, während die praktische KI Probleme hatte, Roboter herzustellen, die sich autonom bewegen. Pfeifer: „Viele von uns interessierte damals aber nicht nur das Schreiben von Computerprogrammen, die eine Aufgabe erfüllen, sondern

wir wollten etwas über natürliche Intelligenz lernen. Wenn man die klassische KI anschaut, dann erkennt man sehr wohl die wertvollen Beiträge, die sie beispielsweise für die mathematische Logik und die Algorithmik geleistet hat. Aber sie hat sehr wenig zum Verständnis natürlicher Intelligenz beigetragen und stieß aus diesem Grund an eine Grenze. Das hat viele Forscher frustriert.“

John McCarthy nannte Computerschach einmal die „Drosophila der KI“. Die gequälte Laborfliege bildet noch heute die Grundlage vieler Experimente, deren Ergebnisse den Übertrag auf größere Zusammenhänge überstehen. Ihren Flug von der virtuellen 8x8 Felder großen Welt in die Sphäre der realen Intelligenz übersteht die klassische KI allerdings nicht - flügellos schmiert sie auf halber Strecke ab und landet dort, wo viele hochfliegende Pläne landen - auf dem Boden der Tatsachen. Um es bissig zu formulieren: Das Schachspiel bietet sich für den Beweis einer menschengleichen Intelligenz besonders an, denn wo sonst kann mit so wenig Multivarianz so viel Eindruck geschunden werden? Schon auf einem so begrenzten Claim wie dem Schachfeld entstehen aber, man darf es so sagen, unzählige Möglichkeiten. Schon hier haben Rechner enorme Probleme, auf ihre Weise die Welt zu erfassen - eben zu berechnen. In der Euphorie der frühen KI-Phase denkt kaum jemand daran, wie problematisch es sein wird, wenn Rechner aus der 8x8-Domäne ausbrechen und nicht nur mit erheblich mehr, sondern vor allem mit erheblich unschärferer Information umgehen müssen.

Eine Definition von artifizieller Klugheit, die sich allein an dem sichtbaren Verhalten des Artefakts orientiert, sieht die heutige Welt voller maschineller Intelligenz. Ist der Output des Menschen würdig, dann ist das Ding schlau, so einfach ist das. Credo der Umtriebe: „It works.“ Tut es ja leider nur bedingt, und so sind es Anfang der 90er Jahre zwei Gruppen, die die klassische KI erweitern wollen, die Bastel- und die Theoriewütigen. Während die einen nicht so recht einsehen, warum elektronisch Maschinen sich nicht intelligent in der Welt bewegen sollten, stürzen sich die anderen

auf die geistigen Grundlagen der klassischen KI. Wo, so ihre Frage, liegen die Fehler? Warum lösen die denkenden Giganten einige Aufgaben so brillant und scheitern an anderen, vermeintlich einfachen alltäglichen Aufgaben? Warum kann ein Roboter keine Straße überqueren und sich dabei noch per Handy mit der Geliebten unterhalten? Und existiert ein Zusammenhang mit dem strengen Rationalismus, bei dem die klassische KI zur Schule gegangen war? Erst Ende der 80er Jahre ist selbst den verbohrtesten Vertretern klar, dass die bisherigen Artefakte, welche ohne den massiven prä-rationalen Unterbau natürlicher Systeme arbeiten, zwar für spezielle Aufgaben besonders gut geeignet sind, aber erhebliche Schwierigkeiten haben, wenn sie mit interpretationsbedürftigen Eindrücken umgehen müssen. Klar ist: Die Verwendung von Symbolen allein ist nicht hinreichend für das Erzeugen von Intelligenz.

Intelligentes Handeln, so wird damals klar, hat auch etwas mit autonomen Handeln zu tun, der selbständigen Orientierung in der Welt. Also hängt man einem Computer eine Kamera um und versuchte ihn so loszuschicken. Aber, oh graus, die Abbildung des linsengenerierten Pixelsalat auf interne Symbole scheiterte kläglich. An dieser Stelle tritt Rodney Brooks, heute einer der Stars des MIT, in die Forschergemeinde. Brooks, der schon mal behauptet er sei ein Neffe des Filmregisseurs Mel Brooks, schreibt seine Dissertation im Bereich der Computer-Vision und war so frustriert über die Ergebnisse, dass er mutmaßte, dass der bisherige Ansatz völliger Quatsch sei. In den Fachzeitschriften mehren sich die Beiträge, die mit der klassischen KI hart ins Gericht gehen. Einer der Lieblinge der Szene, Terry Winograd, der mit seinem Kommunikationsprogramm SHRDLU für Furore gesorgt hatte, zeigte es doch die prinzipielle Möglichkeit des Sprechens von Rechnern, kritisierte den klassischen Ansatz scharf. Und William J. Clancey, das immergrüne Blatt am Zweig der medizinischen Expertensysteme, stellt plötzlich generell in Frage, dass der Mensch Symbole verarbeitet. Aber genug des Name Dropping.

Die neue Generation von Forschern glaubt, das entscheidende Gebrechen, den Kardinalfehler, den Makel schlechthin in der Wissenschaft von den intelligenten Systemen entdeckt zu haben: Man baut intelligente Maschinen, *ohne* Intelligenz verstanden zu haben, und mit einer Mischung aus Verzweiflung und Übermut erklärt man sie später - wenn sie denn überhaupt funktionieren - für intelligent. Wie wollt ihr, so die Frage, die den Koryphäen in Carnegie Mellon, am MIT und in Stanford gestellt wird, trotz eines mangelnden Verständnisses natürlicher Intelligenz Maschinen bauen, die so funktionieren wie etwas, das ihr nicht verstanden habt? Das ist Salz in die Wunden der angeschlagenen geistigen KI-Führer und stellt das Programm der generativen Intelligenztheorie in Frage: Das Ziel der klassischen KI ist nämlich nicht der Bau intelligenter Maschinen, *nachdem* natürliche Intelligenz verstanden wurde, sondern das Verstehen natürlicher Intelligenz *durch* das Bauen intelligenter Maschinen. Was nun folgt ist der klangvolle Nachhall der ökologischen Protestbewegung im Raum der Computerwissenschaft: „Zurück zur Natur!“

Zunächst geht es zurück in Pfeifers Büro. Fahrstuhl? Zu langsam, also die Treppen hoch. Pfeifer kennt sich aus, wie auch anders, er ist es schließlich, der 1987 das AI-Laboratorium gründet. Die Tür vom Büro steht offen, das erinnert mich an das gute Gefühl bei meinen Großeltern auf dem Land, wo man das Fahrrad nie abschließen musste. Papier stapelt sich auf Broschüren, Mappen auf Ordnern, Gebundenes auf Losem, zwischendrin Elektroschrott, Schautafeln, Bücher an der Wand und im Hintergrund brummen wie üblich die Prozessoren- und Netzteil Lüfter. Der Antriebsstoff bürointerner Kommunikation soll gebraut werden, aber die Kaffeemaschine ist defekt. Also wieder runter, in die Teestube. Begegnungen auf dem Flur, Scherze in schweizerdütsch. Zucker, Süßstoff? Ich nehme Zucker, Pfeifer greift lieber zum Pillenspender. „Das können sie schreiben“, feixt er, „Professor für artifizielle Intelligenz nimmt artifizielle Süße.“

Mitte der 80er Jahre fängt die KI noch mal von vorne an. Wie zeigt sich und wie entsteht, so eine der Fragestellungen, überhaupt Intelligenz in der Natur? Man fragt die Biologen und diese geben interessante Antworten. In der Natur kommt es zu intelligentem Verhalten, ohne dass eine übergeordnete Instanz das Verhalten zentral steuert. Aber nicht nur das, auch der Mensch besitzt eine prärationale Intelligenz, die entscheidend dafür sorgt, dass er sich zurechnungsfähig in der Welt bewegt. Die Steuerung des Bewegungsapparates ist maßgeblich von ihr abhängig. Ein gutes Beispiel dafür sind die motorischen Bewegungen eines guten Skifahrers. Ein Köhler denkt in einer Situation nicht mehr nach - dazu bleibt gar keine Zeit. Denken wäre hier Nachdenken und das provoziert den Mordsabgang. Im Gegenteil, das bewusste Nachdenken stört den flüssigen Bewegungsablauf nur. Motorik ist aus dieser Sicht eine eigene Form von Intelligenz.

Symbolverarbeitung oder nicht, diese Frage legt die neue Riege der Forscher erst mal beiseite und setzt dafür eine neue Prämisse: Intelligenz ist keine einheitliche, unteilbare Fähigkeit, sondern sie stellt die Summe vieler Einzelfähigkeiten dar. Eine weitere Perspektive wird aus der Evolutionsbiologie aufgenommen: Die Evolution hat nie die Entwicklung theoretischer Fähigkeiten, sondern immer die Entwicklung des Talents belohnt, in einer konkreten Umwelt zurechtzukommen. Adaptives Verhalten ist hier das Stichwort. Die vermeintliche Komplexität eines Verhalten ist über einen längeren Zeitraum gesehen zum großen Teil eine Reflektion der Umwelt, in der es sich bewegt. Denn ob Ameise oder Mensch - ein sich verhaltenes System kann recht simpel wirken. Nicht Verhalten an sich, sondern Verhalten im Kontext einer gegebenen Umwelt bestimmt Intelligenz.

Wieder die Treppen rauf, dieses mal mit vollen Kaffeetassen in der Hand. Pfeifer ist die Geschwindigkeit offen sichtlich gewohnt, er redet und nimmt dabei zwei Stufen auf einmal, als wir oben sind habe ich mehr Kaffee am Hemdsärmel als in der Tasse. „Ich muss ehrlich zugeben, dass

es bei mir relativ lange gedauert hat, bis ich die Beschränktheit des klassischen Ansatzes realisiert hatte, eigentlich erst so in der zweiten Hälfte der 80-er Jahre.“ Und dann, frage ich, welche Prinzipien sind damals erarbeitet worden, um künstliche Intelligenz zu schaffen? Zunächst einmal mussten, so erklärt Pfeifer, einige Erblasten der klassischen KI verabschiedet werden: Will man Intelligenz nicht isoliert, sondern in der Interaktion mit der Umwelt begreifen, dann braucht Intelligenz einen Körper - eine Einsicht, für die der Begriff „Embodiment“, Verkörperung, geprägt wird.

Um die Möglichkeiten technischer Intelligenz zu erforschen, sei ein Körper notwendige Bedingung. Pfeifer: „Das hat nichts mit der Robotik der Science-Fiction-Welten zu tun. Roboter sind Forschungsinstrumente, wir sind gezwungen, Roboter zu verwenden.“ Roboter waren schon früher gebaut worden, aber die neue Art von Robotern sollte nicht sturen Pfaden folgen, sondern autonom mit der Umwelt interagieren können. Im Gegensatz zu anderen Maschinen besitzt ein Roboter eine größere Anzahl von Freiheitsgraden und soll möglichst vielfältig in seinen Verhaltensformen sein.

In der Natur kommt Intelligenz immer in Körpern vor, es gibt keine geistige Klugheit ohne materielle Grundlage. Warum war nicht früher jemand auf diesen Grundgedanken gekommen? An dieser Stelle zeigt sich, dass die KI-Väter den Tücken des cartesianischen Dualismus aufgesessen waren. Die zugrunde liegende Einheit, das, was jede Intelligenz tragen muss, spielte in ihren Überlegungen keine Rolle. Kaum jemand kommt bis in die 80er Jahre auf die Idee, dass der Körper nicht nur eine nutzlose Masse ist, die vom übergeordneten Geist mitgeschleppt werden muss, sondern dass diese Materie, sei sie biologisch, sei sie technisch, einen maßgeblichen Anteil an jedem intelligenten Verhalten hat. Und die Neue KI geht sogar noch einen Schritt weiter: Der Körper besitzt eine eigene Intelligenz, die, gleichwohl nicht rational, klug auszunutzen ist.

So ganz sicher bin ich nicht, dass ich den Professor richtig verstehe. Muss der Roboter nicht trotzdem alles berechnen, was er tun will? Pfeifer wischt aufgeregt mit der Hand durch die Luft: „Das ist doch genau der Punkt. Wenn man alles als reine Rechenaufgaben ansieht, dann führt das schnell an Grenzen. In der realen Welt haben wir anatomische und materielle, halt physikalische Einbettungen, deren Berücksichtigung zu Konvergenzen führt. Wenn ich mich in der Umwelt bewege, dann verarbeite ich ja nicht irgendwelche Inputvektoren mit ihren dazugehörigen Merkmalen, sondern ich habe Sensorstimulationen, die sich kontinuierlich verändern. Zudem ändert sich die Sensorstimulation enorm, je nachdem was ich tue.“ So aktiv vorgetragen glaube ich das ungeprüft, der Professor redet zügig weiter: „Der Witz ist doch der: Wenn ich Wahrnehmung als etwas ansehe, was passiv ist, wo ich passiv dasetze, dann muss ich aus diesem Strom irgendwie Information herausholen. Bei der visuellen Wahrnehmung hieße das dann, den auf mich einflutenden Pixelwust zu verarbeiten. Wenn ich das aber umdrehe und sage, <o.k., ich bin ja ein Akteur, ich kann mit der Umwelt interagieren>, dann komme ich dazu, dass ich durch die Interaktion mit der Umwelt meine Sensorstimulation strukturieren kann.“

Ich dürste nach einem Beispiel, Pfeifer greift zur Kaffeetasse: „Wenn ich eine Tasse fasse und zum Mund führe, dann passiert enorm viel. Erst einmal habe ich visuelle Stimulation, zudem haptische an den Fingerspitzen, dann Stimulation an den Lippen. Dieses Muster ist für einen Moment stabil und normiert. Die Stimulation auf der Retina ist zwanzig Zentimeter vor meiner Nase völlig anders als fünf Zentimeter davor. Trotzdem ist es immer ein und dasselbe Objekt.“ Und das Hirn ist nicht die Instanz, die das berechnet?, frage ich ihn. Pfeifer ist jetzt in Fahrt: „Wie denn?“, fragt er provokant und weist darauf hin, dass die Ähnlichkeiten zwischen diesen Mustern bei statistischer Analyse bei „praktisch Null“ liegen würde. „Irgendwie muss der Mensch das aber transformieren, und wie tut er das?“ Ich traue mich keine Antwort zu geben, Pfeifer ist sowieso schon weiter: „Eben durch die verkörperte Interaktion mit der Umwelt, welche die Sensordaten gewissermaßen vortransformiert und damit das

Problem um Größenordnungen vereinfacht. Ich bringe das Objekt in das visuelle Feld, erzeuge Sensorstimulation, und diese Stimulation ist korreliert.“

Zwei Anschlussfragen stellen sich. Geht der Mensch tatsächlich so vor, wenn er lernt? Und kann man das Robotern beibringen? Die Entwicklungspsychologie der letzten Jahre hat tatsächlich gezeigt, dass Kinder erst nach einiger Zeit, das heißt durch Wiederholungen in der Lage sind, zu trinken. Erst später können sie alleine aus dem Bild, oder wie Pfeifer sagen würde, „der visuellen Sensorextraktion“, das Objekt rekonstruieren. Die Anatomie und die Interaktion tragen gewissermaßen gratis zur Lösung bei, und das vereinfacht das Lernproblem ungemein. Noch einmal anders ausgedrückt: Mit der Übung dieser Kaffeetassenbewegung Richtung Mund wird aus der extrahierten Information aus einem Sensorkanal eine partielle Vorhersagevariable für die Sensorinformationen, die aus anderen Kanälen extrahiert werden.

Der erwähnte Brooks erkennt als erster, dass selbst Hochleistungsrechner Probleme bei der visuellen Wahrnehmung haben. Seine revolutionäre Annahme: Natürliche Organismen, und damit auch der Mensch, können gar nicht nach dem Schema „Reiz - Denken - Reaktion“ vorgehen, weil dies viel zu lange dauert. Eine Organismus, der ständig erst die Denkmaschine anschmeißen muss, ist nicht überlebensfähig. Seine Intuition ist es, dass die Kopplung zwischen sensorischer Stimulation und anschließendem Handeln nicht immer über das Gehirn läuft.

Pfeifer redet jetzt noch schneller von „sensormotorischen Kopplungen“, „neuronalen Arealen“ und „Morphologie“; das sind mehr rollende R's, als ich vertragen kann. Pfeifer bemerkt meine Begriffsstutzigkeit und verlangsamt das Tempo. Wichtig sei, dass der Zusammenhang zwischen Gehirn und Körper viel zu lange vernachlässigt worden ist. Will man aber die Funktion des neuronalen Substrats, sei es bei einer Ameise, sei es bei einem Menschen, verstehen, muss man zunächst verstehen, wie dieses

Substrat an den Organismus gekoppelt ist, sonst könne man die Bedeutung der neuronalen Signale nicht ausmachen.

Artifizielle Intelligenz, so lautet seit den 90er Jahren die Devise, ist nur im Zusammenhang mit natürlicher Intelligenz verstehbar. Weniger der Mensch, als vielmehr einfache Lebewesen, die gleichwohl intelligentes Verhalten an den Tag legen, sind Vorbilder. Noch entscheidender für die Neue KI ist aber die Perspektive, dass rationales Verhalten und rationales Denken sich nicht bedingen müssen. Ein Blick auf eine krabbelnder Ameise auf dem Weg zum halb vergammelten Apfel verdeutlicht dies gut: Sie verhält sich zweckdienlich und optimiert den kürzesten Weg zur Futterquelle, geht dabei aber nicht analytisch-deduktiv vor, vielmehr nutzt sie Pheromonspuren, die mit der Zeit verdunsten. Das Geheimnis der Intelligenz, so kann man verkürzt sagen, liegt nicht im Gehirn, sondern in der Bindung zu einem Körper und dessen Interaktion mit der Umwelt.

Damit läuft vieles auf die Frage hinaus, wie intelligentes Verhalten zustande kommt. Der Vater zweier Kinder gerät wieder in Wallung und kommt zu einem weiteren wichtigen Begriff der Neuen KI: Emergenz. Dieses Zauberwort hörte ich das letzten Mal von einer Großtante, die bei einem Schweigewochenende in der Toskana eine Einführung in die Gestalttherapie erhalten hatte. Emergenz, danach ist das Ganze mehr als die Summe seiner Teile. In der Robotik geht es darum, dass aus an und für sich doofen Teilen ein intelligentes Ganzes entstehen kann. So entsteht intelligentes Verhalten, ohne dass es einen ausdrücklichen Willen dazu gibt. „Verhalten, welches kompliziert aussieht, lässt sich häufig viel einfacher erklären“, erklärt Pfeifer mir. Ich bitte wiederum um ein Beispiel und werde auf das sogenannte Vehikel I eines gewissen Valentino Braitenberg verwiesen.

Der Neurobiologe Braitenberg überrascht 1984 die Fachwelt mit einem Gedankenexperiment mit sehr einfachen Robotern, welche später tatsächlich konstruiert werden. Sein Vehikel I besitzt nichts anderes als

einen Sensor an der Spitze und einen damit verbundenen batteriebetriebenen Motor, der zwei Räder antreibt. Angenommen, so Braitenberg, der Sensor sei ein Temperaturfühler und man setzt das Vehikel im Pazifik aus. Im warmen Wasser würde sich das süße Vehikel nun schnell bewegen, weil der Sensor mehr Qualität an den Motor liefert, im kalten Wasser würde es langsamer werden. Ein Beobachter, der die zugrunde liegende Mechanismen nicht kennt, wird irgendwann auf die Idee kommen, dass das Vehikel kaltes Wasser mag und warmes Wasser meidet. Berücksichtigt man nun noch, dass die Räder des Fahrzeugs der physikalischen Friktion unterliegen sind, dann wird das Verhalten des Objekt noch komplexer für den Beobachter. Der Untergrund lässt das Vehikel von seinem geraden Kurs abkommen, Strömungen und ein umherschwimmenden Fisch verändern ebenfalls die Bahn des archaischen Roboters. Pfeifer erklärt: „Der Punkt von Braitenberg ist der, dass man die Mechanismen genau erklären kann, es ist aber sehr schwierig, aus dem Verhalten zurück auf die Mechanismen zu schließen.“

Die Konsequenzen des Gesagten rauschen traumgleich durch den Körper. Sei eine Ameise noch gesteuert durch simple Elemente, aber der Mensch, dies Ebenbild Gottes, ist doch mehr; Vermögen und Willen als Kraft, wo bleiben sie? Kontrollfreaks aller Länder, vereinigt euch! Pfeifer versucht mich zu beruhigen: „Wir haben keine Probleme, die Organisation der Ameisen als Emergenz zu erklären. Sobald wir dies aber auf das menschliche Verhalten anwenden, schrecken wir zurück.“ Mein kurzer Schweißausbruch trocknet ab, denn bei näherer Betrachtung: Was wäre denn so schlimm daran, wenn sich viele Strukturen von selber ergeben, ohne dass sie das Resultat unseres analytischen Denkens sind?

Nur allzu gerne verabschiede ich mich von der Idee, dass alles einen zentralen Führer braucht, aber wer oder besser was koordiniert die verschiedenen Elemente eines Verhaltens? Leider klingelt das Telefon, Pfeifer murmelt noch was von „Cruse“ und springt zum Hörer. Es dämmert mir. Cruse, das ist der Professor an der Universität Bielefeld, der

sich mit biologischer Kybernetik rumschlägt. Zusammen mit Helge Ritter schreibt Holk Cruse 2001 das Buch „Die Entdeckung der Intelligenz oder Können Ameisen denken?“. Darin zeigen sie auf, dass viele technische Probleme in der Natur bereits gelöst sind. Cruse und seine Kollegen hoffen, die biologischen Lösungen auch in technischen Systemen einsetzen zu können. Und sie haben Erfolg: An von ihnen konstruierten sechsbeinigen Stabinsekten zeigen sie, dass diese beim Gehen kein Zentrum benötigen, welches die Bewegung der Beine koordiniert.

Per einfacher Leitung sind die sechs Beine untereinander neuronal gekoppelt, wobei nicht einmal eine Verbindungen zwischen allen Beinen besteht, sondern nur die benachbarten und gegenüber liegenden Beine verbunden sind. Wenn das Insekt nun mit seinen sechs Beinen auf dem Boden steht und ein Bein hebt, dann ändert sich in diesem Moment die Kraftverteilung auf den anderen Beinen und diese werden leicht in die angedeutete Richtung mitgezogen. Dann braucht es nur noch einer positiven Feedbackschleife in den Gelenken, um die Bewegung zu verstärken und das Insekt läuft. Das Gewitzte ist: Die Beine kommunizieren global miteinander, aber eben nicht über neuronale Verbindungen, sondern über die Umwelt. Die schwierigsten Probleme werden so durch die dezentrale Steuerungsarchitektur gelöst. Die physikalische Welt steht nicht mehr als Hindernis da, gegen deren Gesetze gearbeitet werden muss, sondern deren Eigenschaften ausgenutzt werden kann. Das heißt aber nicht, dass keine zentralen Befehle mehr notwendig sind, so Cruse und Ritter. Um den Anfang und das Ende der Bewegung, seine Richtung und Geschwindigkeit festzulegen, muss eine Instanz einen Anfangsimpuls geben, danach läuft das Gehen aber wie von selbst ab.

Pfeifer hat zu Ende telefoniert und ich traue mich an den nächsten Punkt. Funktioniert, so frage ich, die Gliedmaßenbewegung beim Menschen ebenso? Steuert unser Hirn gar nicht so viel zu intelligenten Verhalten bei wie bislang angenommen? Wieder greift Pfeifer zum Kaffee: „Wenn von Verkörperung gesprochen wird, dann denken viele, dass Steuerung noch

viel komplizierter wird, weil ich dann zusätzlich noch physikalische Gesetze berücksichtigen muss und somit mehr Parameter zu optimieren habe.“ Wohl wahr, deswegen sehen die Bewegungen technischer Artefakte ja meist so mechanisch, eben „roboterhaft“ aus. Wenn man das Hand-Arm-Schulter System beim Menschen anschaut, dann fallen zunächst die enorm vielen Freiheitsgrade auf, nämlich über 30 Stück. „Für einen Control-Engineer ist die Steuerung eines solchen Systems ein Albtraum“, lächelt der Professor, um anzufügen, „wenn ich aber die Gegebenheiten des Körpers und seine Dynamik ausnutze, dann führt das zu überraschenden Ergebnissen.“ Er hebt die Hand und lässt sie im Gelenk abknicken, so dass die Fingerspitzen nach unten zeigen. „Schauen Sie, wenn ich so zugreife, dann treibt es die fünf Fingerspitzen automatisch in die Mitte zusammen, was nur durch die natürliche Formung der Gelenkschalen und der Hand bedingt ist. Genauso eine simple Funktion kann man zum Bau einer Robotergreifhand nutzen. Ergo: Wenn die Anatomie stimmt, wir nennen es in der Robotik die Morphologie, dann ist die Steuerung fast trivial, auf jeden Fall viel einfacher.“

Sicher, der Begriff des Paradigmenwechsel ist strapaziert, denn er lädt dazu ein, die Mühle der self-fulfilling prophecy in Gang zu werfen - seit Kuhn durch die Feuilletons schrubbt, ist der Wechsel oft eher propagiert als vollzogen. Aber die Entwicklung seit den 90er Jahren des vergangenen Jahrhunderts lässt es zu, von einer Neuorientierung in der Wissenschaft von der Künstlichen Intelligenz zu sprechen. Achtung, Zwischenresümee in einem Satz: In der klassischen KI steht Synthese vor Analyse, in der Neuen KI steht die Analyse vor Synthese.

Das Sitzfleisch juckt und weiter geht's, wieder die Treppen runter. Pfeifer reißt eine Tür auf, dahinter eine kleine Werkstatt, Röhren, Schrauben, Räder, ein LötKolben brutzelt vor sich hin, vor der Werkbank ein vielleicht 25-jähriger Mann, sich über Besuch freuend. „Kannst Du uns das kurz zeigen?“, fragt Pfeifer. „Sicher“, sagt der Schweizer, schließt zwei Kabel an, und auf der Werkbank fängt etwas an zu wackeln, was ich vorher in

dem amorphen Wust gar nicht als eigenständiges Objekt erkannt hatte. Federn, Zahnräder, ein Motor und kleine Holzverstreben bilden den Torso eines zukünftigen Vierbeiners. Hier wird das Prinzip von Holk Cruses Stabinsekten umgesetzt, ein kleiner Anfangsimpuls soll reichen, um den Hund durch die Dynamik der Federn und seiner Schüttelbewegung zum Gassi gehen zu treiben. Experimente nah am und aus dem Chaos.

Die nächste Frage auf dem Flur. Kann man demnach sagen, dass jeder geistige Vorgang von einem körperlichen Vorgang begleitet wird? „Nehmen Sie das Beispiel der Sprache, vielleicht die komplexeste aller Tätigkeiten. Ist das nun kognitiv oder sensormotorisch?“ Dieses mal weiß ich die Antwort, ich drücke den roten Knopf und sage brav ins Mikro: „Das läuft wohl parallel ab.“ „Genau“, jubelt Pfeifer auf „es ist immer beides. Es gibt kein reines Denken“. Keine Atempause, hier wird Geschichte gemacht, die nächste Tür. Dahinter sieht es aus wie im Gruppenraum eines Robotik-Internats. Vollgestellte Schreibtische, Monitore, in der Ecke schwebt ein Zeppelin, eine Gasflasche, Rechner ohne Gehäuse, Regale, Poster, auf dem Boden Gummi-Schläuche, Tennisbälle, Pappkartons, dazwischen sechs StudentInnen. Pfeifer stapft durch die kreative Fülle, „ihr müsst aber mal aufräumen“, die Studis lachen verlegen. Ein Mann untersucht die Signalübertragung des Barthaars einer Katze, auf dem Monitor flimmern Diagramme. „Es ist wunderbar, immer wenn ich hier runterkomme, haben die Jungs und Mädels etwas neues erdacht und gebastelt, wirklich wunderbar. Die Gelobten erröten, aus dem Chaos fischt Pfeifer eine seltsame, etwas 20 Zentimeter hohe Konstruktion. „Das ist interessant“, sagt er.



Eyebot im Anfangszustand. In den ungeordneten Röhren befinden sich Lichtsensoren.

Der stehende Roboter ist mit 16 hohlen, horizontal stehenden Stangen ausgestattet. Die Röhren besitzen am Ende einen lichtempfindlichen Sensor, sind durch softwareabhängige Elektromotoren individuell verstellbar: Diese Fliege ohne Flügel trägt künstliche Facetten, die sich nach dem Licht ausrichten. Die Software kann dabei nur die Bewegung der Lichtquelle feststellen, und trotz eines simplen Programms und der Positionierung der Lichtquelle an unterschiedlichen Orten sortiert der Roboter die Sensorstangen immer gleich. Die Verteilung der Stangen ist in allen Fällen vorne dichter als an den Seiten. „Die Morphologie <lernt> die Kompensation der Bewegungsparallaxe“, sagt Pfeifer. Ohne das es explizit programmiert wird, ergibt sich eine Form wie bei einem Insektenauge. Die Evolution hat das Insektenauge so angelegt, weil das Hirn dann erheblich weniger rechnen muss, um das Tier auf Kurs zu halten. „Wieder ein wunderbares Beispiel für die Relevanz der Berücksichtigung der Physik und der Geometrie“. Pfeifer stellt den Eyebot wieder auf den Tisch und sagt im Weitergehen: „Wohlgemerkt, dieser Prozess war nie das Ziel des Systems, im Laufe der Evolution pendelt sich die optimale Verteilung per Selbstorganisation ein.“



Resultierende Sensorröhren-Verteilungen bei unterschiedlichen Anfangsbedingungen.

Ich wusste, dass dieser Begriff irgendwann fallen würde. „Selbst-“, diese magische Vorsilbe weist auf denjenigen, der sie ausspricht zurück. Das Verständnis des Verständnisses ist ein Selbstverständnis, selbstbewusst ist man dann, wenn man ein Bewusstsein von seinem Bewusstsein hat, und die Organisation einer Organisation ist die Selbstorganisation.

Fundamental dabei ist, dass der zirkuläre Prozess zu einer Zunahme der Ordnung führt. Das klassische Beispiel dafür ist das Thermostat einer Heizung. Sinkt die Raumtemperatur im Winter, schaltet das Thermostat sich ein und reguliert die Heizung nach oben, dadurch wird allerdings die Raumtemperatur erhöht und das Thermostat schaltet sich wieder ab.

Abstrakter gesprochen erzeugt jede Ursache (die sinkende Raumtemperatur) eine Wirkung (Heizung an). Und diese Wirkung wird wieder zu einer Ursache. Was Pfeifer andeuten will: Wie beim Thermostaten pendelt sich im Laufe der Zeit ein stabiler Eigenwert ein.

Dies ist ein Phänomen, welches auch aus der Mathematik bekannt ist. Gibt man in einen Taschenrechner eine beliebige Zahl ein, zieht daraus die Wurzel und aus dem Ergebnis wiederum die Wurzeln, dann schält sich nach einer gewissen Zeit ein Eigenwert heraus - die Zahl 1. Und die Wurzel aus eins ist eins. Was nach einem Taschenspielertrick klingt, lässt Physiker, Biologen und Philosophen seit Jahren aufgeregt in den Labors auf und ab rennen. Systeme können in stabile Zustände geraten, ohne dass eine Zielvorgabe gegeben wurde und ohne das Zustandekommen erklären zu können - sie organisieren sich selbst.

Wieder auf dem Gang erinnert sich Pfeifer an einen Besuch bei einem großen deutschen Automobilkonzern. „Dort sollte mir ein Roboter eine Tasse Kaffee bringen. Er rollte zunächst zum Kaffee-Automaten, scannte mit einem enorm teuren Laser den Abstand für ein Distanzprofil, sodann setzte er seinen Path-Planer ein, der den Pfad für die weitere Aktion berechnet hat. Während der dann folgenden Ausführung des Pfads fand

keine Kopplung mit der Umwelt da. Leider lag aber die Tasse etwas schräg im Greifarm des Roboters, so dass er fast das Rohr, aus dem der Kaffee strömen sollte, abgebrochen hat. Wenn er eine sensormotorische Kopplung gehabt hätte, wäre das gar kein Problem gewesen, weil er das sofort bemerkt hätte.“

Ist es manisch oder warum fällt mir wiederum der Vergleich mit dem Menschen ein? Glaubt man dem agilen Professor, dann funktioniert auch der Mensch eben nicht nach dem Schema Input - Verarbeitung - Output. Und auch nicht nach einem verfeinerten Modell, wonach der Stimulus mit einem inneren Modell abgeglichen wird, dann eine Verarbeitung erfolgt und erst dann gehandelt wird. Die Computermetapher des Geistes hält Pfeifer für schlicht falsch, mithin als völlig ungeeignet, um als Vorbild für die KI zu fungieren. Während wir die Treppen hochstiefeln, sagt er: „Wir müssen uns von dem Bild verabschieden, dass natürliche wie technische Systeme Informationen verarbeiten, die von außen reinkommen, dann verarbeiten werden und dann erst ein Handeln erfolgen kann. Wie gesagt: Das Erzeugen der Sensorstimulation wird durch die verkörperte Interaktion mit der Umwelt bestimmt. Auch unsere Gehirn funktioniert nicht als symbolverarbeitendes Medium, in dessen Hardware Software abläuft. Wo im Gehirn sind die Programme, wo die Daten?“

Aber auch die körperbasierte KI kämpft mit Problemen. Es gelingt bisher nicht, komplexeres intelligentes Verhalten zu generieren. Die große Beschränkung findet diese Forschungsrichtung darin, dass die Reichhaltigkeit der Verhaltensweisen auf wenige Dutzende beschränkt bleibt. Es fehlt an theoretischen Ansätzen und Methoden, um die Komplexität und Leistungsfähigkeit biologisch inspirierter Roboter entscheidend zu steigern. Die Gründe für diese Schwierigkeiten liegen nur teilweise in der Informatik oder Robotik. Das Hauptproblem ist eine fehlende biologisch begründete Theorie für derartige Systeme, und diese ist schwierig zu entwickeln, da es in der Biologie selber an geeigneten Erklärungsmodellen und -theorien mangelt. Sobald man in den

verkörperten Intelligenzen mehrere Verhalten parallel laufen lässt, führt dies zu gegenseitigen Beeinflussungen, welche das System ins Chaos stürzen. Für dieses „Scaling-Up“ Problem ist zur Zeit keine Lösung in Sicht, Pfeifer glaubt aber auch hier, dass sich die lose gekoppelten Prozesse weitgehend über den Körper und die Interaktion mit der Umwelt selbst koordinieren.

Wenn die Prämisse stimmt, dass Intelligenz sich aus dummen Teilen zusammensetzt, dann kann der Bau von verkörperter Intelligenz in ferner Zukunft durchaus zu Maschinen führen, die so etwas wie eine Vorstellung von ihren eigenen Zuständen haben. Obwohl die ernsthafte Robotik sich mit dem Bewusstsein noch kaum befasst hat, so ist ihnen doch klar, dass es für einen herumwatschelnden Robbi von Vorteil wäre, eine grobe Vorstellung von seinem Körper zu haben. Wenn ein Roboter eine sensormotorische Kopplung und stabile Sensormuster hat, dann gibt es gute Gründe dafür, dass dieser Roboter selbst die Sensormuster analysieren und nutzen kann. So käme man langsam auf eine Ebene, so Pfeifer, wo man dem Roboter so etwas wie Bewusstsein zuschreiben könnte, und er fügt hinzu: „Wenn man das möchte. Das ist eine nüchterne Sicht, aber wir Schweizer tendieren dazu. Die Amerikaner würden das wahrscheinlich anders ausdrücken und behaupten, <ja klar, wir haben längst Roboter mit Bewusstsein>. Ein Schweizer würde sagen, dass jetzt <feed-forward Netzwerke für Verhaltensprognosen> existieren.“

Die Sonne versinkt hinter dem Campus, wir sind wieder im Büro, heute wird der Mann noch bis mindestens 23 Uhr arbeiten. Ich dagegen habe genug Sensorstimulation, bin erschöpft und nehme recht dankbar den Fahrstuhl nach unten. Fragefetzen durchwallen meinen Körper, aber was bleibt hängen? Trivial ist die Einsicht in die parallele Entwicklung von Körper und Geist in der menschlichen Evolution. Brisant ist, dass die Neue KI diesen Prozess künstlich in Gang setzen will. So wie das junge Hirn mit dem Körper wächst, so soll der Körper mit dem artifiziellen neuronalen Substrat wachsen. Offene Fragen bleiben: Wie funktioniert das „neuronale

Substrat“, kurz Hirn, beim Menschen überhaupt? Und ist da neben Sensorstimulationen, engen Kopplungen und Hirntätigkeiten nicht noch etwas weiteres, was unsere Intelligenz, von unserem Dasein mal ganz zu schweigen, bestimmt? Sprudelt irgendwo in uns oder durch uns eine Quelle, ohne deren Fluss wir ziemlich doof dastehen würden? Nebenbei: Welche Gefahren lauern, wenn neben anderen biologischen Vorbildern der Mensch als Blaupause dient? Und die wichtigste Frage: Wo kriege ich jetzt schnell eine Portion Pommes rot-weiß her?