

Körper-Preis für die Europäische Wissenschaft 2000

Gestaltwahrnehmung in der Technik mit Erkenntnissen aus der Natur

Rodney Douglas, Amiram Grinvald, Randolph Menzel, Wolf Singer, Christoph von der Malsburg

Wie das Gehirn Reize von Auge, Ohr und Nase verarbeitet, um Objekte zu erkennen, wollen die Körper-Preisträger 2000 herausfinden – und technischen Systemen ähnliche Fähigkeiten verleihen.



In den Labors von Wolf Singer leiten Mitarbeiter zum Beispiel am Gehirn von Katzen elektrische Impulse aus einzelnen Nervenzellen ab, verfolgen, wie die Zellen kommunizieren und sich synchronisieren, um Sinnesreize zu verarbeiten.

(Foto: Friedrun Reinhold)

Wer kennt nicht jenes Bild eines schwarz-weiß gepunkteten Dalmatiners, der vor einem ebenfalls schwarz-weißen, groben Hintergrund mehr zu erahnen als zu erkennen ist? Oder das Werk »Himmel und Wasser« des niederländischen Grafikers M.C. Escher, auf dem oben Enten fliegen, deren Gestalt sich nach unten allmählich verändert, bis plötzlich der Hintergrund umschlägt und zu Fischen mutiert, während nunmehr die Vögel zum Hintergrund werden? Ein drittes Bild: Die Scholle auf dem sandigen Meeresboden, farblich perfekt an den Untergrund angepasst und nur mit Mühe auszumachen. Es sind alles Beispiele für knifflige Aufgaben, die unseren Wahrnehmungsapparat auf die Probe stellen, die er dennoch mit Bravour bewältigt. Jedes technische System hingegen ist damit hoffnungslos überfordert. Wie aber gelingen dem menschlichen Gehirn solche Leistungen, und lassen sie sich womöglich doch eines Tages einem Computer beibringen?

»Maschinen tun sich bislang schwer beim Erkennen von Objekten, besonders wenn es keine starren Regeln gibt. Die bisherigen digitalen Systeme können lediglich Figuren vor einem weißen Hintergrund erkennen«, kommentiert Professor Dr. Wolf Singer vom Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt den Stand der Entwicklung. »Selbst ein Bienenhirn ist jeder Technik weit voraus, und ich halte es für unwahrscheinlich, dass es innerhalb der nächsten zehn bis 20 Jahre gelingen wird, auch nur die Sinnesleistungen nachzubilden, die eine Stubenfliege beherrscht«.

Um diesem Ziel einen entscheidenden Schritt näher zu kommen und gleichzeitig das Rätsel der menschlichen Wahrnehmung anzupacken, wurde der Körper-Preis für die Europäische Wissenschaft in diesem Jahr an eine Gruppe international renommierter Hirnforscher vergeben. Dabei sind: Professor Dr. Christoph von der Malsburg vom Institut für Neuroinformatik der Ruhr-Universität Bochum (Koordinator), Professor Dr. Rodney Douglas vom Institut für Neuroinformatik der ETH Zürich, Professor Dr. Amiram Grinvald vom Dominic Institute for Brain Research im Weizmann Institute for Science in Rehovot, Israel, Professor Dr. Randolph Menzel vom Institut für Biologie der Freien Universität Berlin und Professor Dr. Wolf Singer vom Max-Planck-Institut für Hirnforschung in Frankfurt.

»Wir wollen von der Natur lernen, welche Prinzipien der Informationsverarbeitung Organismen

verwenden«, erklärt Singer. »Und wir hoffen, dank dieser Erkenntnisse neue Therapieverfahren und Einsätze für technische Systeme zu finden.« Voraussetzung für solche Anwendungen ist die Erforschung der Wahrnehmung bei Lebewesen. Welche neuronalen Strukturen das Gehirn für die Erkennung eines Objektes nutzt, wie es die Figur eines Objekts vom Hintergrund löst oder wie es ein Objekt in unterschiedlicher Größe und aus unterschiedlichem Blickwinkel identifizieren kann, sind entscheidende Fragen. Hier soll das Körper-Projekt ansetzen und dabei können die beteiligten Forscher bereits auf langjährige gemeinsame Erfahrungen zurückgreifen.

»Singer und ich sind seit langer Zeit in intensivem Kontakt«, betont der Koordinator des Projektes, Professor Dr. Christoph von der Malsburg. »Er hat sich für das Figur-Hintergrund-Problem interessiert und ich habe 1981 die Idee geäußert, dass es für die Art und Weise, wie das Gehirn Dinge darstellt, von entscheidender Bedeutung ist, wie die einzelnen Zellen – die Elementarsymbole – sich zu Gruppen verbinden.« Ähnlich wie Atome sich zu Molekülen, diese sich zu Sandkörnern und Sandkörner sich zu Beton verbinden – um eine Struktur wie zum Beispiel eine Brücke oder ein Gebäude zu formen –, arbeiten auch Nervenzellen zusammen. Dieses Gruppieren, so der Ansatz von der Malsburgs, sollte daran zu erkennen sein, dass die Zellen ihre Signale zeitlich korrelieren. Ein Beispiel: Das Auge soll den Buchstaben A in roter Farbe und den Buchstaben B in grüner Farbe erkennen. Daran wirken vier Gruppen von Zellen mit – solche, die auf die Form des »A« reagieren, andere, die auf die Form des »B« ansprechen, solche für »Rot« und schließlich die für »Grün«. Kann das Auge die Buchstaben lange genug sehen, bindet es den Buchstaben A korrekt mit der roten Farbe und den Buchstaben B mit Grün. Zeigt man im Experiment Versuchspersonen die Buchstaben nur sehr kurz, kann die zeitliche Bindung nicht erfolgen. Folge: Die Person verwechselt die Farben der Buchstaben.



Die Forschungen von Christoph von der Malsburg konzentrieren sich auf die Frage, wie das visuelle System heranreift, wie die einzelnen Nervenzellen zusammenarbeiten um beispielsweise ein Gesicht zu erkennen und wie man einem Computer diese Fähigkeit beibringen kann.

(Foto: Friedrun Reinhold)

Auch wenn das Auge eine Figur vom Hintergrund lösen soll, spielt die zeitliche Bindung eine Rolle. Um die Figur zu identifizieren, muss der Wahrnehmungsapparat sie in ihre verschiedenen Einzelteile zerlegen – segmentieren wie der Fachmann sagt: Etwa in Bewegung, Stereotiefe, Textur, Farbe oder Objektkanten. Zunächst wurde vermutet, dass die Nervenzellen, die das Objekt repräsentieren, aktiv sind, während die Zellen, die den Hintergrund abbilden, still bleiben – das Objekt sollte also quasi vor dem Hintergrund aufleuchten. Doch dann stellte sich heraus, dass beide Zellgruppierungen in bestimmten Zeitintervallen aktiv sind – allerdings feuern jene für den Hintergrund jeweils »im Tritt« und jene, die das Objekt repräsentieren, feuern ebenfalls synchron, nur zeitlich versetzt zu denen des Hintergrundes. Die Zeit wirkt wie eine Art Mörtel, der die Elementarsymbole – die verschiedenen Aspekte des Gesehenen – zu einem ganzen Gebäude verfestigt, sodass ein Objekt korrekt identifiziert wird. Tatsächlich gelang es Professor Singer, angeregt durch die Ideen von der Malsburgs, sogenannte 40-Hertz-Oszillationen bei den Nervenzellen zu finden, die belegen, dass die zu einer Figur gehörenden Zellgruppen gleichzeitig feuern. Dabei hat sich die Arbeitsgruppe von Professor Wolf Singer einen

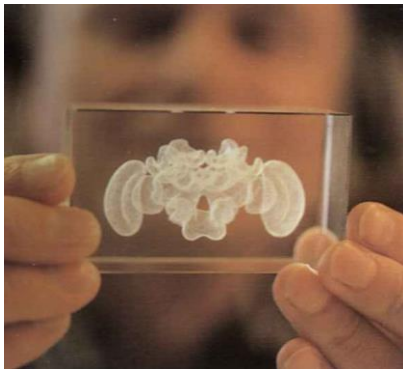
Namen gemacht, indem sie Methoden entwickelt hat, um die elektrischen Impulse von Nervenzellen im Gehirn abzuleiten und so die Vorgänge bei der Wahrnehmung zu verfolgen.



Im Labor von Amiram Grinvald in Israel wurde eine einzigartige neue Technik der Gehirnforschung entwickelt. Sie zeigt die Aktivität ganzer Hirnareale an, indem die Zellen mit einem Stoff angefärbt werden, der bei elektrischer Reizung aufleuchtet.

(Foto: Friedrun Reinhold)

In eine ähnliche Richtung gehen die Forschungen eines weiteren Mitglieds des Körper-Projektes, die die Arbeiten Singers ergänzen und erleichtern: Professor Dr. Amiram Grinvald hat eine revolutionäre neue Technologie entwickelt, um die Aktivitäten einer riesigen Anzahl von Nervenzellen gleichzeitig zu messen. »Bislang war es nur möglich, die Tätigkeit einzelner Zellen zu beobachten«, erklärt Grinvald. »Mit der neuen Technologie können wir Millionen Zellen gleichzeitig erfassen und erforschen, wie große Gruppen von Zellen zusammenarbeiten, um höhere kognitive Funktionen zu erreichen.« Grinvalds Trick: Er und seine Mitarbeiter haben fluoreszierende Farbstoffe entwickelt, die ins Gehirn injiziert werden und aufleuchten, wenn die Neuronen elektrisch aktiv sind. Die »arbeitenden« Nervenzellen senden Farbblitze aus, die sich räumlich im Gehirn verfolgen lassen und in Zeitintervallen von 50 Millisekunden und weniger aufgezeichnet werden. Mit Filmaufnahmen lassen sich die Aktivitäten des Gehirns dokumentieren und anschließend auswerten.



Randolf Menzel und sein Berliner Team erforschen seit Jahren Gehirn, Lernvermögen und Gedächtnis von Bienen. Mit Experimenten haben sie herausgefunden, dass die Nervenzellen der Insekten Gerüche nach ähnlichen Prinzipien verarbeiten wie auch visuelle Reize.

(Foto: Friedrun Reinhold)

Auch der vierte Beteiligte des Projektes, Professor Dr. Randolph Menzel, profitiert von Grinvalds Methoden. Menzel ist schon lange auf die Erforschung der Sinnesleistungen bei der Honigbiene spezialisiert – einem verglichen mit den Gehirnen von Menschen und Grinvalds Säugetieren einfach gebauten Organismus. Im Zentrum von Menzels Interesse steht allerdings nicht der optische Sinn sondern die Geruchswahrnehmung der Insekten. Doch bei der Verarbeitung beider Sinneseindrücke im Gehirn gibt es Parallelen. »Wie ein Objekt vor einem Hintergrund erkannt wird, ist ein generelles Problem. Das gilt für ein Duftbukett genauso wie für einen visuellen Reiz«, sagt Menzel. »Jeder Duft besteht aus vielen Einzelkomponenten, die als eine Art Gestalt wahrgenommen und von dem Hintergrund der anderen Düfte getrennt werden.« Ein bestimmter Duft ist daher als ein Strom von Erregungen vorzustellen, der ein räumlich und zeitlich strukturiertes Muster im Gehirn bildet.

Dank Grinvalds Technik ist es erstmals möglich, auch die nötige zeitliche Auflösung zu erzielen, um die Erregung verfolgen zu können. Menzel und seine Mitarbeiter haben sich dazu Experimente mit ihren Bienen ausgedacht. Die Tiere müssen lernen, bestimmte Düfte während des Versuches als Signal für eine Belohnung zu erkennen, und die Forscher wollen verfolgen, was sich dabei im Gehirn abspielt. Die Anpassung und Veränderung des Wahrnehmungssystems während des Lernens und Erinnerns ist eine der spannenden Fragen, die sich besonders gut an Insekten erforschen lässt. Es gibt noch einen weiteren

Grund, weshalb die Honigbienen in dem Körper-Projekt mit von der Partie sind: Ihr Gehirn ist vergleichsweise einfach aufgebaut und so besteht die Hoffnung, dass sich an den Insekten die Wahrnehmungsvorgänge eher verstehen lassen als bei Säugetieren und die gewonnenen Erkenntnisse schneller in technische Anwendungen münden. Für solche Anwendungen ist Professor Dr. Rodney Douglas Spezialist und daher ebenfalls im Bunde der diesjährigen Körper-Preisträger.

»Was wir machen, ist eine Mixtur aus Biologie und neuronalem Modelling«, erklärt Douglas seinen Forschungsansatz. »Wir entwickeln theoretische Modelle, die erklären wie biologische Systeme Objekte segmentieren, also in Einzelkomponenten zerlegen und vor einem Hintergrund erkennen. Und diese Modelle wollen wir benutzen, um Chips zu konstruieren, die das ebenfalls können.«

Um diesen Traum zu verwirklichen, haben Douglas und seine Mitarbeiter einen neuen Typ von Chip entwickelt, der analog arbeitet. Bisherige digitale Systeme »ticken« nach dem Alles-oder-nichts-Prinzip: Signale werden digital, also in Form von Nullen und Einsen, übertragen und verarbeitet. Es kann nur ein elektrischer Impuls kommen oder nicht – es gibt kein Zwischending. Ganz anders dagegen die Neuronen, die »Chips« der belebten Welt: Sie arbeiten analog, das heißt, ein eintreffender Reiz kann verschiedene Werte annehmen und löst erst ab einer bestimmten Höhe eine Reaktion in der Nervenzelle aus. Das erlaubt ganz andere Mechanismen der Informationsverarbeitung, bei denen eine zu verarbeitende Größe nicht lediglich die Werte »null« oder »eins« sondern beliebige Zwischenwerte annehmen kann. Für die Konstruktion der analogen Chips wollen Douglas und seine Mitarbeiter zusätzlich die Verbindungen der biologischen Neuronen untereinander erforschen, um deren spezielle »Verdrahtungsweise« für ihre Systeme zu nutzen.



Die Neuroinformatiker in der Arbeitsgruppe von Rodney Douglas sind Spezialisten in der Konstruktion von Computer-Chips, die wie menschliche Nervenzellen arbeiten. Mit solchen Chips ausgestattete Roboter lernen Objekte zu erkennen. (Foto: Friedrun Reinhold)

Denkbare Anwendungen für solche analogen Wahrnehmungs-Chips gibt es in Hülle und Fülle: Roboter hätten keine Mühe mehr, in Fabriken Teile zu erkennen, sich in natürlicher Umgebung zu orientieren oder beispielsweise Müll zu sortieren. Die Automaten könnten Verkehrsteilnehmer, Banknoten, Gesichter oder individuelle Stimmen sicher identifizieren. »Wahrnehmungs-Chips« würden neuartige Sehhilfen für Blinde ermöglichen oder Menschen helfen, die am so genannten Cocktailparty-Syndrom leiden, die also vor dem Hintergrund eines Wirrwarrs durcheinander sprechender Stimmen eine einzelne nicht mehr heraushören können. Und für die Übertragung von Videos per Internet ließe sich ein neuer Datenkompressionsmodus vorstellen: Wenn ein technisches System bewegliche Objekte automatisch von einem starren Hintergrund trennen könnte, ließen sich die Elemente einzeln und mit erheblich weniger Datenaufwand versenden.

Voraussetzung für solche Anwendungen ist, dass die Wahrnehmung an Mensch und Tier besser verstanden wird. Die Körper-Preisträger wollen allerdings mit der technischen Umsetzung nicht so lange warten, bis die biologischen Vorgänge vollständig aufgeklärt sind. Das ermöglicht die einzigartige

Chance der gegenseitigen Befruchtung innerhalb der Gruppe: Fortschritte in der Erforschung der biologischen Objekte führen zu neuen Computermodellen, die wiederum technische Anwendungen ergeben – und Rückfragen an die Experimentatoren provozieren, nun doch diesen und jenen Effekt auch am biologischen System zu untersuchen und zu erklären. Das Körper-Projekt könnte so zu einer ständigen, die Entwicklung vorantreibenden Wechselwirkung führen.

Kontakt
Körper-Stiftung
Körper-Preis
Kehrwieder 12
20457 Hamburg
Telefon +49 40 · 80 81 92 -181
E-Mail koerberprize@koerber-stiftung.de