

Gene der Intelligenz

Ein kleiner Unterschied

Die Suche nach den Genen für menschliche Intelligenz gestaltet sich schwieriger als erwartet, aber die Wissenschaft kommt dem Problem näher.

Als Königin Victoria 1842 im Londoner Zoo zum ersten Mal einen Orang-Utan sah, fand sie ihn „disagreeably human“, also unerträglich menschlich. In der Tat musste man schon damals kein Biologe sein, um zwischen Affen und Menschen frappierende Ähnlichkeiten zu erkennen, und trotzdem löste noch zwanzig Jahre später Thomas Huxley, Begründer der Wissenschaftszeitschrift *Nature*, Empörung aus, als er in einem Essay behauptete, der Mensch sei entwicklungsgeschichtlich mit dem Affen verwandt.

Man muss andererseits auch kein Anthropologe sein, um erhebliche Unterschiede festzustellen: Schimpansen, unsere nächsten Verwandten unter den Primaten, können – bei allem Respekt vor ihrer Fähigkeit, Bildersprache zu deuten oder die Trommel zu schlagen – weder lesen noch musizieren. Deshalb erwartete die Forschung noch vor zehn Jahren klare Unterschiede im Genom beider Spezies, doch diese Hoffnung wurde enttäuscht: Knapp 99% sind identisch.

Was also verleiht uns die typisch menschliche Intelligenz? Die Gene, so scheint es, sind nur für sehr grundsätzliche Speziesunterschiede zuständig: Gärung oder Atmung, Arme oder Flügel? Über Feinheiten entscheiden eher winzige „single nucleotide polymorphisms“ (SNPs) und Unterschiede in der Genexpression.

Ein klarer phänotypischer Unterschied besteht jedenfalls in der um mindestens Faktor drei kleineren Hirnmasse der intelligentesten Affen. Da es auch Menschen mit genetischer Veranlagung zu kleinen Hirnen und affenähnlich fliehender Stirn (Microcephalie) gibt, suchte die Forschergruppe um Bruce Lahn von der Universität Chicago nach den dafür zuständigen Genen und präsentierte 2005 in der Zeitschrift *Science* zwei Kandidaten aus der Familie der Microcephaline (MCPH); sie tragen zum Gehirnwachstum bei und scheinen obendrein erst vor extrem kurzer Zeit eine positive Selektion beim modernen Menschen durchgemacht zu haben.

Die ersten Primaten entstanden vor 10 bis 100 Millionen, der moderne Mensch vor etwa 200.000 Jahren. Lahn und Kollegen

fanden nun heraus, dass sich MCPH 1, Haplotyp D vor 14.000 bis 60.000 Jahren und MCPH 5 (ASPM) sogar erst vor knapp 6.000 Jahren in bestimmten Nukleotidpositionen dauerhaft veränderten. Dies ist in etwa die Zeitspanne vom Aussterben der Neandertaler bis zur europäischen Jungsteinzeit, als sich Ackerbau und Schrift entwickelten. Auch funktionell machte die Entdeckung Sinn: Die Microcephaline werden im fetalen Gehirn exprimiert und regen dort, wo man wesentliche Anteile der Intelligenz vermutet, das Neuronenwachstum an. 10% der Menschheit besitzen zwei Allele des vor 6.000 Jahren entstandenen

Auch aus einer anderen Ecke der molekularen Kognitionsforschung weht frischer Wind: Zwei Psychiater der Universitäten Basel und Zürich, Prof. Papassotiropoulos und Prof. de Quervain, machten bei der Suche nach den molekularen Grundlagen des menschlichen Gedächtnisses dank systematischer Analyse des kompletten humanen Genoms eine interessante Entdeckung. Sie stießen auf eine Assoziation zwischen Gedächtnisleistung und Variationen des Gens KIBRA, dessen Produkt an der Signalübertragung in Neuronen beteiligt ist. Mit Hilfe der funktionellen Bildgebung konnten sie zeigen, dass das neu

Wie intelligent waren die Saurier?



Modell eines menschenähnlichen Dinosauriden nach D. Russel im Canadian Museum of Nature, Ottawa.

Wie hätte sich das Leben auf der Erde wohl weiter entwickelt, wenn die Saurier nicht vor 65 Millionen Jahren – vermutlich durch einen gewaltigen Meteoriteneinschlag – ausgestorben wären? Wären Sie aufgrund ihrer Größe in jedem Fall in eine Sackgasse

der Evolution geraten oder wären sie zu jenen göttlichen Fabelwesen geworden, die vor allem in asiatischen Mythologien beschrieben werden? So viel steht fest: Die relativ kleinen Säugetiere jener Zeit hatten gegen die dominanten Saurier wenig Chancen. Erst als aufgrund von Klimaänderungen nach der Naturkatastrophe alle Lebewesen mit mehr als 10 bis 20 kg Gewicht ausstarben, kam ihre große Zeit. Der kanadische Paläontologe Dale Russel, der die Meteoritentheorie als erster formulierte, führte auch Computereperimente durch, um die mögliche Weiterentwicklung der Saurier zu simulieren. Dabei kam er zu der kühnen Gedankenkonstruktion, dass sich eine bestimmte Art innerhalb von nur 25 Millionen Jahren durchaus zu humanoïden Lebewesen hätte entwickeln können. Sten-

neuen Gens, 50% haben nur das alte, 40% sind heterozygot. Einschränkend mussten die Forscher feststellen, dass kein Bezug zu klassischen Intelligenztests bestand; allenfalls fand sich das alte Gen gehäuft in Ländern mit tonalen Sprachen wie dem Chinesischen.

Aufgrund dieses Nebenbefunds geriet Bruce Lahn, selbst Chinese, in eine vehemente Rassismusdebatte und wandte sich 2006 anderen Forschungsgebieten zu. Die Suche ging jedoch weiter: 2007 entdeckte die Gruppe von Scott Williamson an der Cornell University, NY, genau den umgekehrten Effekt: Das Gen *Dab1* (disabled 1), das an der Entwicklung von Neuronen im embryonalen und erwachsenen Gehirn beteiligt ist, kommt bei Chinesen gehäuft in einer jüngeren Variante als bei Europäern und Afrikanern vor.

entdeckte „Gedächtnisgen“ die Aktivität des Kurzzeitspeichers des Gehirns - des Hippocampus - beeinflusst. Andere Gruppen zeigten 2008, dass die T-Variante des Gens mit schlechterer Gedächtnisleistung verbunden ist und zur Alzheimer-Demenz prädisponiert.

2007 entdeckten die Schweizer Forscher bei Überlebenden des Bürgerkriegs in Ruanda eine Deletion im Gen eines adrenergen Rezeptors, die mit erhöhtem Erinnerungsvermögen für emotionale und besonders traumatische Ereignisse verknüpft war. Jenseits allen wissenschaftlichen Interesses an Intelligenz, Kognition und Demenz wäre vor allem zu wünschen, dass die Ergebnisse eines Tages psychisch schwer traumatisierten Menschen nützen.

gh

Adlemans Biocomputer

Die Computer der Zukunft könnten flüssig sein – bestehend aus Milliarden von in Wasser schwimmenden Biomolekülen, die alle gleichzeitig an der Lösung eines Problems beteiligt sind und aufgrund dieser enormen Parallelität jeden modernen Supercomputer in den Schatten stellen würden.

Prof. Leonard Adleman von der Universität Südkalifornien verwirklichte als Erster einen auf Desoxyribonukleinsäure beruhenden Computer. Während in elektronischen Computern Informationen als Folge elektrischer Impulse verschlüsselt

onychosaurus ging damals immerhin bereits auf zwei Beinen, hatte zwei Greifhände mit je vier Fingern, um Säugetiere zu fangen, zwei nach vorn blickende Augen für räumliches Sehen und vor allem ein relativ großes Gehirn.

Wie gesagt: Dies ist nur ein Gedankenexperiment, dessen Korrektheit weder bewiesen noch widerlegt werden kann. Aber wenn es denn so gekommen wäre, dann gäbe es nach Russel seit 40 Millionen Jahren auf der Erde technische Intelligenz mit der Fähigkeit zur Staatenbildung und Kulturentwicklung. Und es gäbe womöglich keine Menschen, denn sie entwickelten sich erst vor wenigen hunderttausend Jahren.

Nach Reitz: „Dinosauroide“ in Erlebniswelt Naturwissenschaften, Cantor Verlag 2008.

sind, übernehmen in DNA-Computern die vier Basen mit den Abkürzungen A, C, G und T diese Aufgabe. DNA zeichnet sich durch zwei wichtige Fähigkeiten aus: Sie kann Informationen speichern und sich selbst exakt kopieren.

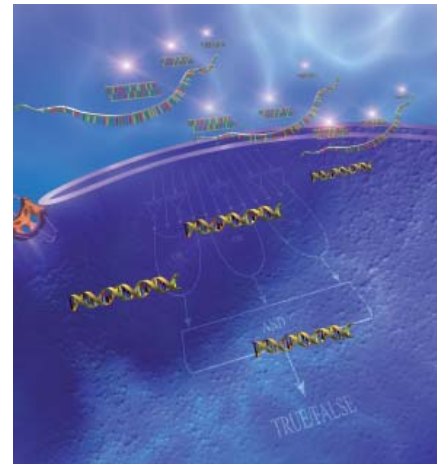
Diese Stärken setzte Adleman ein, um ein mathematisches Problem zu lösen – das Problem des Handlungsreisenden. Es geht darum, für eine Reise durch mehrere Städte die kürzeste Route zu finden. Für vier oder fünf Städte kann dieses Problem auf einem Stück Papier gelöst werden. Wächst die Anzahl der Städte jedoch nur um einen kleinen Betrag, wird das Problem für einen elektronischen Computer rasch unlösbar, da zu seiner Bewältigung bislang kein in praktikabler Zeit arbeitendes Berechnungsverfahren gefunden werden konnte.

Die von Adlemans Computer entwickelte Rechenleistung entstand dadurch, dass zur Attacke auf die gestellte Aufgabe eine beträchtliche Anzahl von DNA-Molekülen eingesetzt wurde, die alle gleichzeitig mit dem Problem beschäftigt waren. Dabei waren Städtenamen als kurze DNA-Basenketten codiert. Im Reagenzglas konnten sich die Stücke dann in beliebigen Kombinationen verknüpfen und parallel bearbeitet werden. Nachdem die Inhalte der Reagenzgläser gefiltert und vervielfältigt worden waren, blieb eine Billion Kopien eines DNA-Moleküls zurück, die den gesuchten Reiseweg angaben.

Ein Biocomputer kann aber noch viel mehr. Kurze Zeit nach Adlemans Versuch zeigten Wissenschaftler aus der ganzen Welt, dass ein DNA-Computer universell, d.h. beliebig programmierbar, sein kann. Zum einen gaben sie mehrere DNA-Versionen einer sog. „universellen Turingmaschine“ an, die jede denkbare Rechenvorschrift ausführen kann, zum anderen entwickelten sie die Programmiersprache DNA-PASCAL, die diese universelle Programmierbarkeit der DNA voll ausschöpft. Sie basiert darauf, die strangförmigen DNA-Moleküle zu spleißen, d.h. sie an bestimmten Stellen zu unterbrechen und auf neue Art wieder miteinander zu verbinden. Auf diese Weise lassen sich Worte von Programmiersprachen erzeugen.

Schließlich kann auch die Funktionsweise von elektronischen Gattern durch Trennen, Mischen und Kopieren von DNA-Basenfolgen nachgebildet werden, um z.B. logische Operationen abzubilden. In herkömmlichen Computern übernehmen diese Aufgaben elektrische Ströme mit den Zuständen 0 und 1, im Biocomputer gibt es vier Zustände A, C, G und T.

Netzwerke aus Biomolekülen sind wesentlich komplexer als elektronische Computer, es gibt keine Prozessoren oder Kabel, sondern die Moleküle treiben frei in wässriger Lösung und geraten zufällig an andere Moleküle, die die Botschaft verstehen und umsetzen. Der Nachteil dieser Technologie ist die relativ hohe Fehlerrate, der Vorteil die enorme Geschwindigkeit und Parallelität. Binnen einer Zehntelsekunde erreichen die DNA-Moleküle jeden Ort im Reagenzglas. Das mag für herkömmliche Computer eine relativ lange Zeit sein, aber da unzählige Moleküle



Liegt die Logik der Natur in der Struktur der DNA begründet?

in einer Zehntelsekunde ihren passenden Kommunikationspartner finden, kommt dies einem informationstechnischen Quantensprung gleich.

Solche Visionen sind keine Utopien eines weltentrückten Professors, sondern Gegenstand aktueller Forschung und Entwicklung. Konkrete Ergebnisse wurden beispielsweise Anfang Juni auf dem International Meeting on DNA Computing in Prag vorgestellt (<http://dna14.slu.cz>). Noch weiß zwar niemand, ob man jemals einen Biocomputer aus dem Katalog bestellen kann, aber ein radikaler Technologiewechsel in der Informationsverarbeitung steht nach Meinung der Experten ohnehin an. Die elektronische Computertechnologie stößt nämlich – bedingt durch die Wellenlänge des Lichtes – bereits an ihre Grenzen.

Da die Chipherstellung auf lithografischen Verfahren basiert, ist ein kleines Strukturdetail nur bei entsprechend kurzer Wellenlänge des verwendeten Lichtes darstellbar. Zurzeit lassen sich winzige Strukturen von 45 Nanometern Durchmesser erzeugen. Für das nächste Jahrzehnt wird mit einer weiteren Miniaturisierung bis auf 23 Nanometer gerechnet, aber kleiner geht es allein aus physikalischen Gründen nicht mehr. Die optische Lithografie hat dann ihre Grenzen erreicht, der Biocomputer dagegen könnte in molekulare Dimensionen von weniger als 10 Nanometer vordringen.

Dr. Claudia Borchard-Tuch
borchard-tuch@trillium.de