

WIE DAS HIRN VERKABELT IST

Die eigene Fortpflanzung ist für Mäuse keine Selbstverständlichkeit: «Wie die genetischen Analysen zeigen, hat nur die Hälfte der erwachsenen Weibchen Junge, die überleben. Bei den Männchen ist die Zahl noch viel geringer», erklärt Anna Lindholm. Entsprechend gross ist der Kampf um die Weitergabe der eigenen Gene. «Kleine Details können viel dazu beitragen, ob man zu den Glücklichen gehört, die Nachkommen haben, oder eben nicht», sagt Barbara König. Zu diesen Details gehört die gemeinsame Brutpflege. Wie Barbara König mit ihrer Forschung belegen konnte, haben Weibchen, die sich zusammentun, signifikant bessere Chancen, erfolgreich Nachwuchs aufzuziehen, der überlebt und sich seinerseits wieder fortpflanzt als Einzelkämpferinnen.

MEHR SCHUTZ VOR FEINDEN

Neben der Verteilung des Laktationsstresses auf zwei (in seltenen Fällen auch mehr) Mäuseweibchen bietet die gemeinsame Aufzucht noch weitere Vorteile. So kann jeweils eine der beiden Partnerinnen den Nachwuchs warm halten und vor Feinden schützen. Ein weiterer interessanter Aspekt ist die Stärkung der Immunabwehr. Die jungen Mäuse erhalten viele Abwehrstoffe über die Milch der Mutter. Wenn sie nun von zwei Müttern gesäugt werden, sollte ihr Immunsystem deshalb besser gerüstet sein. Ob und wie sich das auszahlt, wird von Barbara König und ihrem Team gerade untersucht.

Aus evolutionsbiologischer Perspektive sind Mäuseweibchen, die kooperieren, «fitter». «Deshalb gehen wir davon aus, dass das Sozialverhalten eine genetische Grundlage hat», sagt Barbara König. Wie diese genetische Prädisposition aussieht, weiss man noch nicht. «Es dürfte sich um ein Bündel von Eigenschaften handeln. Ein eigentliches Gen für die gemeinsame Aufzucht von Jungen gibt es wohl nicht.»

KONTAKT Prof. Barbara König, barbara.koenig@zool.uzh.ch, Dr. Anna Lindholm, anna.lindholm@zool.uzh.ch, Zoologisches Institut der Universität Zürich

FINANZIERUNG Schweizerischer Nationalfonds, Zoologisches Institut der Universität Zürich

Seit bald 20 Jahren suchen Kevan Martin und Rodney Douglas nach dem Grundschaltkreis des menschlichen Gehirns. Einen Kandidaten haben sie bereits gefunden. Doch taugt er für das ganze Gehirn? Von Thomas Müller

Es wird langsam, aber sicher unheimlich. Roadrunner, der neueste Supercomputer von IBM und zurzeit schnellster Rechner der Welt, kann pro Sekunde bald so viele Rechenoperationen durchführen wie das menschliche Gehirn, es fehlt nur noch ein Faktor zehn. Im Schachspielen haben Computer schon lange die Nase vorne, jetzt holen sie uns auch bei der reinen Rechenpower ein. Für Kevan Martin und Rodney Douglas ist das kein Grund zur Beunruhigung. «Noch nie hat ein Computer einen einzigen Gedanken hervorgebracht, weder einen vernünftigen noch Unsinn», sagt Douglas, der gemeinsam mit Kevan Martin das Institut für Neuroinformatik der Universität Zürich und der ETH Zürich leitet. Pure Rechenleistung, sei sie auch noch so potent, wird allein nie zum Denken finden. Eine Zeit lang hofften Computerwissenschaftler das. Doch schon bei Problemen, die Menschen in einem Augenblick erledigen – zum Beispiel das Erkennen von optisch verzerrten Wörtern, stossen leistungsfähige Computer an Grenzen.

WIE RECHNET DAS GEHIRN?

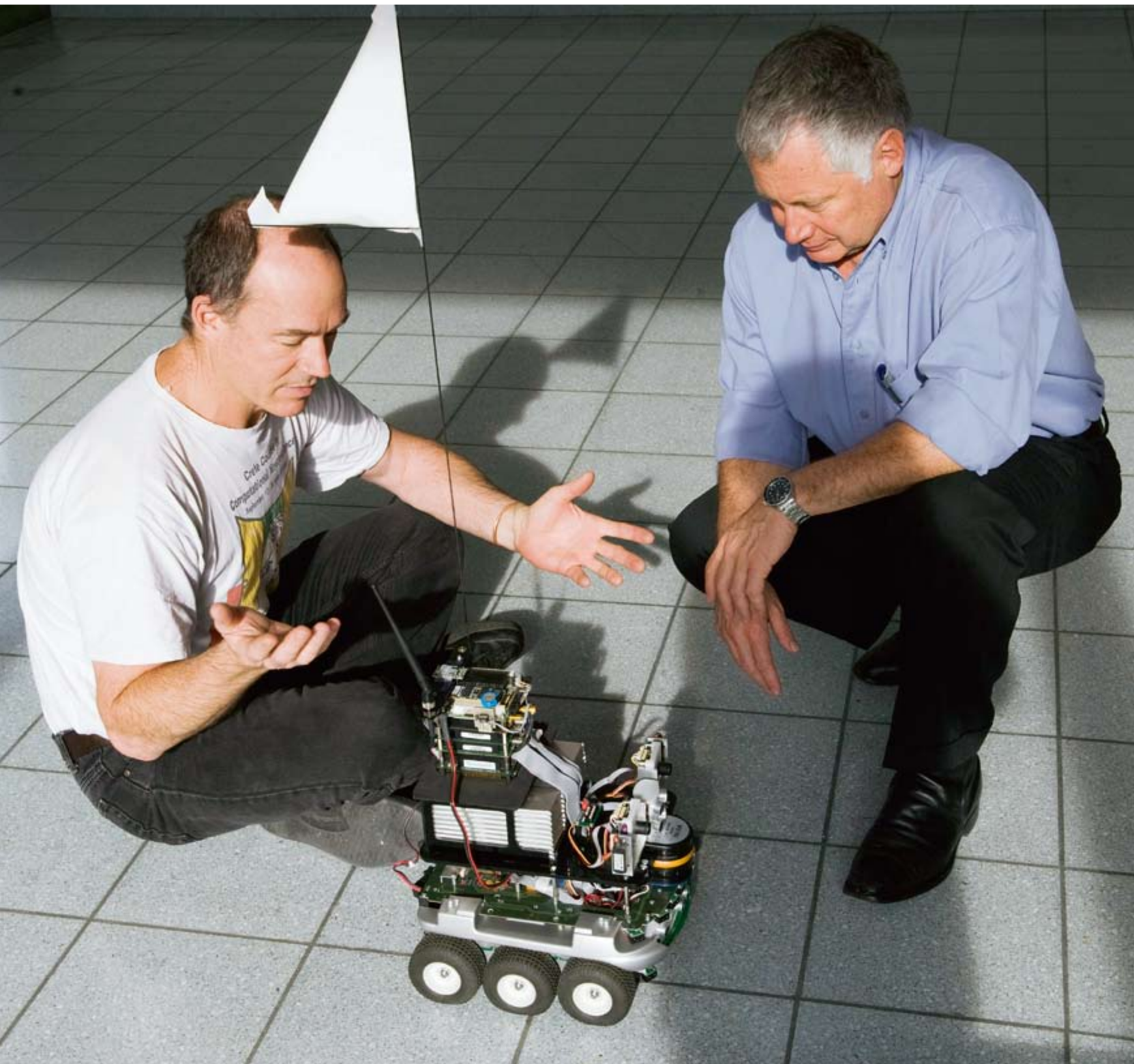
Das wird für die absehbare Zukunft so bleiben. Denn das Ziel von Martin und Douglas, dem Gehirn, genauer dem Neo-Cortex, sein Rechengeheimnis zu entreissen und für die Programmierung von Computern zu verwenden, entpuppt sich als weit schwieriger als erwartet. Ein Dreh- und Angelpunkt der Forschung des Duos ist der so genannte Grundschaltkreis des Gehirns, im Fachjargon «canonical circuit» genannt. Die Annahme, das Gehirn sollte mit einem Grundschaltkreis rechnen, basiert auf evolutionsbiologischen Überlegungen, wie Kevan Martin ausführt. Keine biologische Struktur hat sich so schnell entwickelt wie der Neo-Cortex. Wir denken, sprechen, leiden, fühlen, ärgern, lieben und frohlocken mit dieser wenige Millimeter dicken Grosshirnrinde.

«Erfunden» wurde die komplexeste biologische Struktur vor nicht einmal 60 Millionen Jahren von den damals aufkommenden Säugetieren, die viele der frei werdenden ökologischen Nischen der aussterbenden Dinosaurier besetzten. Evolutionsbiologisch ist das eine kurze Zeit, sie entspricht gut einer Minute, wenn man die insgesamt drei Milliarden Jahre der Evolution auf eine Stunde zusammenschnurren lassen würde.

So verfügen die Spitzmaus, der Wal und der Mensch über einen Neo-Cortex, doch jener des Menschen befähigt zu mehr als alle anderen: zum Bau von Werkzeugen und zur Sprache. Schon rein quantitativ betrachtet hat der Mensch am meisten davon: 1,2 kg seines rund 1,4 kg schweren Gehirns ist Neo-Cortex. Die Maus muss mit einem Zehntel Gramm auskommen, der Neo-Cortex eines Schimpansen bringt es immerhin auf 300 g.

Auf das Vierfache des Affen-Neo-Cortex angeschwollen ist der menschliche erst in den letzten drei Millionen Jahren, evolutionsbiologisch also in letzter Sekunde. Deshalb, so argumentiert Martin, spricht vieles dafür, dass das zugrundeliegende Muster – eben der Grundschaltkreis – derselbe ist wie bei der Spitzmaus und deshalb vergleichsweise einfach. Die Extrafähigkeiten des Menschen wie Werkzeuggebrauch, Sprache, Denken und Bewusstsein ergeben sich laut Martin aus dem Phänomen der Emergenz: Auf noch nicht verstandene Weise schlägt das quantitative Merkmal Neo-Cortex-Masse in ein qualitatives wie Intelligenz um. Oder anders ausgedrückt: Das Bewusstsein ist mehr als die Summe von Neuronen, Gliazellen und Synapsen.

So weit die Theorie, doch existiert der postulierte Grundschaltkreis des Neo-Cortex auch in Wirklichkeit? Im visuellen Cortex, also dort, wo die Projektion der Augenlinse auf die Retina



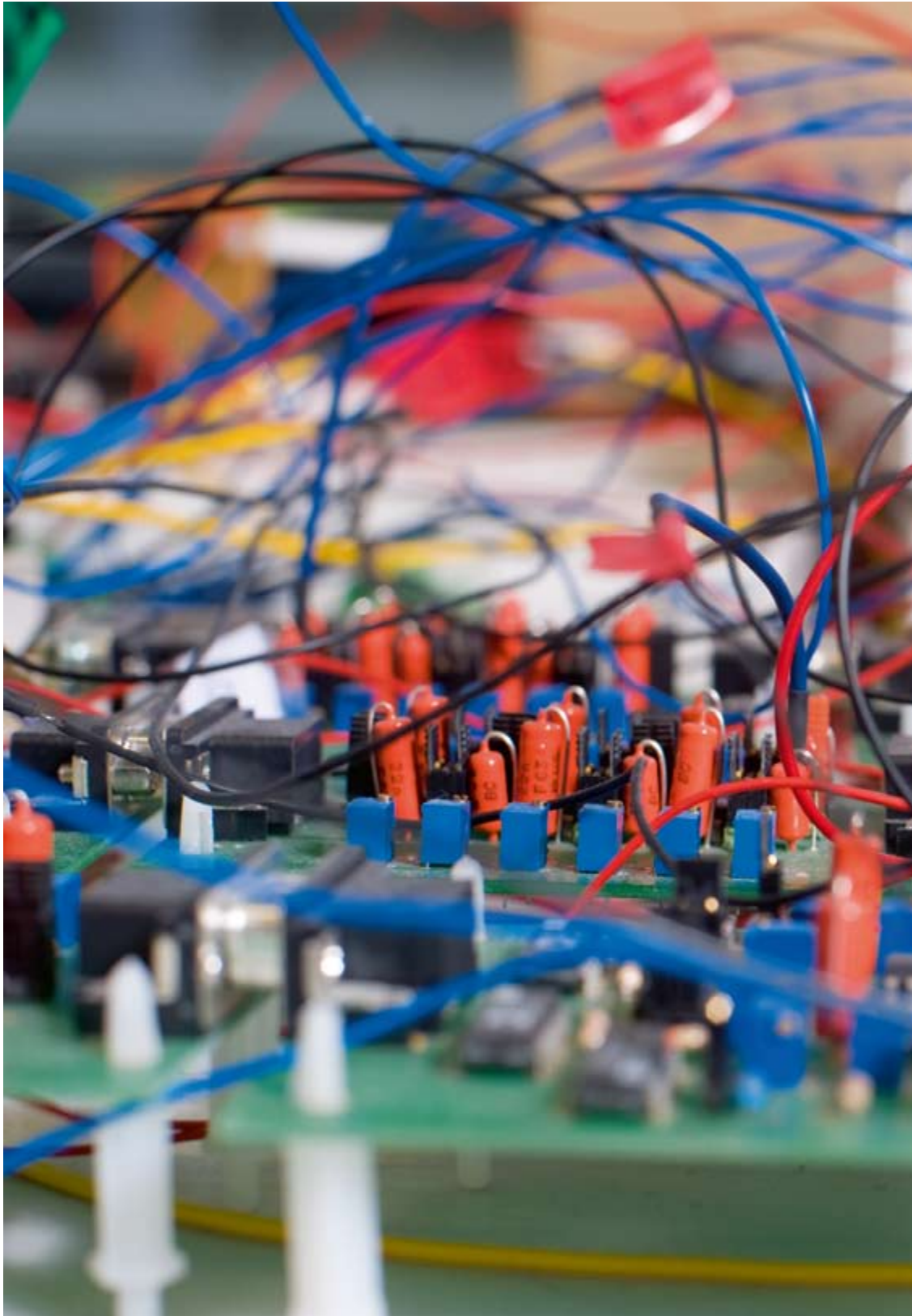
Kevan Martin (links) und Rodney Douglas wollen wissen, wie das Gehirn funktioniert. Dazu dienen Roboter, die Informationen verarbeiten.

zu einem Bild verarbeitet wird, stiessen Martin und Douglas auf einen Schaltkreis. Mit seiner Hilfe errechnet der visuelle Cortex aus den Informationen, die ihm die Retina liefert, jenen Film, den wir als visuelle Wahrnehmung erfahren. Wobei zu beachten ist: Das menschliche Auge ist keine Kamera mit nachgeschaltetem Gehirn, sondern eine dem Gehirn vorgeschaltete Linse. Unser persönlicher «Film» beruht nicht auf einer raschen Abfolge von Einzelbildern wie bei einer Filmkamera, sondern auf einem kontinuierlichen Fluss von Informationen, der nur die Änderungen in unserem Gesichtsfeld abbildet.

KÜNSTLICHE AUGEN UND OHREN

Womit wir beim praktischen Teil angelangt wären. An den Arbeitsplätzen des Instituts dominieren nicht die Pipetten und Zentrifugen wie in herkömmlichen biologischen Labors, sondern LötKolben, elektronische Bauteile und Bildschirme. Man fühlt sich an die Zeit erinnert, als man als Teenager High-Fidelity-Verstärker baute, die besser und zugleich billiger waren als die unerschwinglichen Hochglanzprodukte in den Schaufenstern. Ruedi Stoop etwa arbeitet an einem über ein Meter grossen künstlichen Ohr, das bezüglich Dynamik und Frequenzumfang dem menschlichen ebenbürtig ist. Es kann mit den Nervenbahnen, die zum Gehörzentrum führen, kommunizieren. In miniaturisierter Form soll es dereinst Hörgeschädigten den Alltag erleichtern.

Ein paar Türen weiter tüftelt Tobi Delbruck, ein Sohn übrigens jenes Max Delbrück, der nach dem Zweiten Weltkrieg die Molekularbiologie mitbegründete, an einem künstlichen Auge. Das Delbruck-Auge besteht aus einer Linse, wie sie in einfachen Chat-Kameras verwendet wird. Das Licht fällt jedoch auf einen kleinen Chip mit 128×128 Pixeln, der mit Hilfe des visuellen Schaltkreises ein Bild errechnet, das via USB-Schnittstelle an jeden Computer weitergeleitet werden kann. Wie das Wirbeltierauge erfasst der Chip nur, was sich ändert, und das in einer zeitlichen Auflösung, die jene von herkömmlichen Kameras und sogar Hochgeschwindigkeitskameras übertrifft. Der Chip produziert einen Bruchteil der Datenmengen seiner konventionellen Brüder, belastet die



Den Menschen nachbauen: Die komplexe Verkabelung eines künstlichen Ohres, das dem menschlichen



ebenbürtig ist.

Rechenprozessoren kaum und ist viel besser im Stande, Bewegungen in Zeitlupe aufzulösen. Die mit einigen Patenten geschützte Technologie kann beispielsweise zu Überwachungszwecken oder als «Auge» für Roboter eingesetzt werden.

Aber denken und rechnen wir tatsächlich gleich, wie wir sehen? Oder anders gefragt: Ist der visuelle Schaltkreis auch der Grunds Schaltkreis des gesamten Neo-Cortex? Andere Wissenschaftler vertreten die Position, das Gehirn funktioniert wie ein Schweizer Sackmesser: Es hält für verschiedene Aufgaben unterschiedliche Werkzeuge bereit, die zwar in eine gemeinsame Struktur gebettet sind, sich aber nicht oder nur wenig gleichen.

JAGD NACH EINEM PHANTOM?

Könnte der Grunds Schaltkreis, nach dem Martin und Douglas seit dem Ende der achtziger Jahre fahnden, auch ein Phantom sein? In einem Artikel vom Herbst 2007 deuten sie selbst diese Möglichkeit an. Sie eröffneten ihn mit der Geschichte der Insel «Buss». Die Insel wurde 1578 zwischen Friesland und Irland «entdeckt», 1671 angeblich ausgekundschaftet, später erschien sie als versunkene Insel auf den Seekarten, bis sie schliesslich wieder ganz verschwand. Existiert hat die Insel nie. Martin lacht: «Wenn sich der Grunds Schaltkreis als Phantom erweist, geht das auch in Ordnung.» Immerhin habe das Konzept über ein Jahrzehnt lang zahlreiche Forschungsgruppen rund um den Globus inspiriert, und wenigstens für den visuellen Cortex wurde ein Schaltkreis gefunden. Insofern habe die Hypothese ihren Zweck bereits erfüllt.

Kapitulation ist aber kein Thema für Martin: «Es gibt deutliche experimentelle Hinweise darauf, dass der visuelle Schaltkreis tatsächlich universell ist.» In einem Computermodell verwendete er den Schaltkreis des visuellen Cortex, um die raschen, willkürlichen Augenbewegungen zu steuern, die zum Beispiel für das Lesen dieses Textes benötigt werden. Ein paar wenige Modifikationen am visuellen Schaltkreis genühten, um die gleichen Aktivitätsmuster zu generieren, die zuvor im Neo-Cortex von Primaten gemessen worden waren. «Das ist grossartig!», freut sich Martin, weil

das Ergebnis der Simulation vereinbar ist mit der Hypothese, dass alle Neo-Cortex-Areale denselben Grunds Schaltkreis verwenden. Das heisst aber auch, dass ähnliche Simulationen und Tierversuche noch in zahlreichen weiteren Bereichen des Neo-Cortex durchgeführt werden müssen – eine Riesenarbeit, für die ein Grossprojekt in Vorbereitung ist.

Allerdings schwebt über diesem Vorhaben ein Damoklesschwert in der Hand des Bundesgerichts. Im Juni 2008 hat das Verwaltungsgericht des Kantons Zürich entschieden, einem bestimmten Versuch mit Rhesusaffen, den Kevan Martin gemeinsam mit seinem Mitarbeiter Daniel Kiper plante, die Bewilligung zu verweigern. Das Gericht übernahm dabei die Argumentation der kantonalen Tierversuchskommission, wonach Primatenversuche nur bewilligt werden dürfen, wenn von Anfang an ein Nutzen für den Menschen nachgewiesen werden kann. «Wenn das Bundesgericht dieser Argumentation folgt, bedeutet dies das Ende der Grundlagenforschung mit Primaten in der Schweiz», sagt Kevan Martin. Es sei zwar richtig, dass er nicht eine bestimmte Erkrankung im Blick habe. «Aber nur wer versteht, wie das normale Gehirn funktioniert, wird auch verstehen, was schief läuft, wenn es zu einer Erkrankung kommt.» Die Primatenversuche und die Suche nach dem Grunds Schaltkreis seien deshalb notwendige Schritte auf dem Weg zu wirklich innovativen Therapien von neurologischen und Geisteskrankheiten.

KONTAKT Prof. Kevan Martin, kevan.martin@ini.phys.ethz.ch, Prof. Rodney Douglas, rodney.douglas@ini.phys.ethz.ch, Institut für Neuroinformatik der Universität Zürich und der ETH Zürich