

Arbeit des Gehirns in mathematischen Formeln

Bernstein Zentrum: „Berechenbare“ Nervenzellen und ihr Nutzen / Serie, letzte Folge

Es sieht aus wie nicht ganz durchgebratenes Rührei, doch es vollbringt komplexere Leistungen als jeder noch so leistungsfähige Computer. Das Gehirn gibt den Menschen viele Rätsel auf. Ihrer Lösung versuchen die Wissenschaftler des Bernstein Zentrums Göttingen auf die Spur zu kommen. In einer Serie stellt das Tageblatt Forschungsbereiche des Zentrums vor. Folge 5 handelt von „berechenbaren“ Nervenzellen

VON UTE LAWRENZ

Um mathematische Formeln zu entwickeln, braucht der Mensch sein Gehirn. Doch auch die Entwicklung des Gehirns lässt sich in mathematische Formeln fassen. Prof. Fred Wolf, Leiter der Forschungsgruppe Theoretische Neurophysik am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation sowie Gründungsmitglied des Bernstein Zentrums für Computational Neuroscience Göttingen, hat die Gesetze der Entwicklung der Sehrinde, des visuellen Kortex, mathematisch formuliert. Darüber hinaus hat er mit seinem Team jüngst mathematische Formeln entwickelt, mit denen genau vorhergesagt werden kann, wie und wann sich Neurone synchronisieren.

Das menschliche Gehirn enthält Milliarden von Nervenzellen, erklärt Wolf. Jede einzelne ist an durchschnittlich zehntausend Kontaktstellen mit anderen verknüpft. Damit dieser hochkomplexe Apparat solch erstaunliche Leistungen vollbringen kann wie mathematische Formeln entwickeln, Denken, Lernen oder Sehen, muss die Verschaltung der Nervenzellen während der Entwicklung des Gehirns mit äußerster Präzision erfolgen. Das heißt aber nicht, dass dieser Prozess immer nach dem gleichen Schema abläuft – jedes Gehirn arbeitet auf seine Weise. Doch dennoch folgt seine

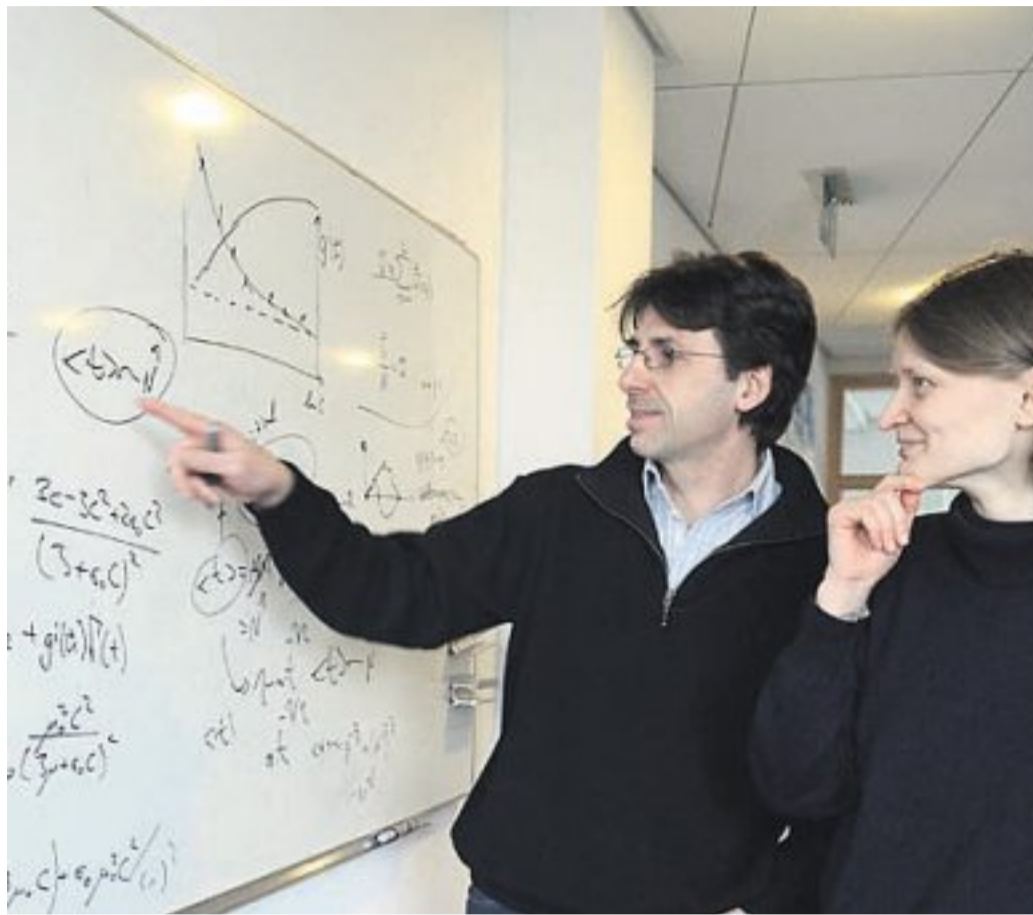
Entwicklung Prinzipien und Gesetzen.

Jedes Bild in unserer Umwelt enthält laut Wolf eine Vielzahl von Linien und Konturen. Neurone in der primären Sehrinde reagieren stark auf solche Konturen. Manche bevorzugen waagerechte Linien, andere sind auf Linien in anderen Winkeln spezialisiert. Damit das Gehirn aus dem Aktivitätsmuster aller Neurone ein Bild zusammensetzen kann, kommt es darauf an, wie die Neurone mit ihren „Vorlieben“ angeordnet sind und wie sie sich mit anderen Neuronen „unterhalten“.

Mit neuen bildgebenden Methoden kann man heutzutage Karten erstellen, die die Verteilung der Neurone mit ihren Präferenzen zeigen. Die Anordnung ist scheinbar chaotisch und unterscheidet sich von Gehirn zu Gehirn. Doch nur mit ihrer Hilfe kann das Gehirn Dinge wieder erkennen.

Die Muster der Orientierungspräferenz entstehen beim Menschen und anderen Säugtieren in den ersten Monaten nach der Geburt durch einen Selbstorganisationsprozess, erläutert Wolf. Solche Prozesse seien in der Natur ganz normal – allerdings sei die Entwicklung der Sehrinde dabei ein besonders interessanter Fall. Die meisten Selbstorganisationsprozesse sind physikalische Prozesse oder chemische Reaktionen, bei denen jedes Element nur mit seinem direkten Nachbarn reagiert. Neurone hingegen treten über weite Distanzen miteinander in Beziehung.

Nur unter Berücksichtigung dieser Tatsache ist es Wolf gelungen, ein mathematisches Modell zu entwickeln, das die Musterbildung im Gehirn realitätsnah nachbildet. In anderen Untersuchungen hat das Team die neuronale Umwandlung von Eingangs- in Ausgangssignale in einer relativ einfachen mathematischen Formel zusammengefasst. „Die Umsetzung von Spannungen in digitale Signale durch Mi-



Gehirnarbeit in Formeln dargestellt: Fred Wolf und Tatjana Tchumatchenko.

Pförtner

kroprozessoren im Computer funktioniert nach einem ähnlichen Prinzip“, sagt Tatjana Tchumatchenko, Doktorandin an der Göttingen Graduate School for Neurosciences and Molecular Biosciences der Universität Göttingen. Die Wissenschaftlerin führte die mathematische Analyse durch.

Die Göttinger Forscher zeigten, dass die Korrelation der Antwortsignale zweier Nervenzellen nicht nur davon abhängt, wie ähnlich sich die jeweiligen Eingangssignale sind, sondern auch davon, wie aktiv die Zellen sind. Senden die Neurone in schneller Folge viele Signale – die so genannte Feuerrate ist dann hoch – sind auch die Antwortsignale stärker korreliert. Dies gilt aber nur, wenn die Nervenzellen lediglich einen Bruchteil ihrer

Eingangssignale teilen. Die Regeln ändern sich vollständig, wenn die Neurone weitgehend von gemeinsamen Eingangssignalen angeregt werden und sie entsprechend ähnliche Antwortsignale produzieren. Dann spielt die Feuerrate keine Rolle. In einigen Fällen scheint also die Feuerrate ausschlaggebend zu sein, in anderen Fällen ist es dagegen das Timing der Impulse.

Die Göttinger Wissenschaftler und ihre Kollegen haben gezeigt, wie eng diese beiden Wege neuronaler Kodierung zusammenhängen. Vieles deutet nun darauf hin, dass Zellen, die denselben Gegenstand kodieren, ihre Signale synchronisieren, so dass zusammengehörige Informationen auch zusammen weitergegeben werden.

BERNSTEIN-ZENTREN

Vom Bundesforschungsministerium werden Bernstein Center für Computational Neuroscience (BCCN) in Berlin, München, Heidelberg-Mannheim, Tübingen und Göttingen unterstützt. Sie bündeln experimentelle und theoretische Neurowissenschaften. In Göttingen kooperieren Arbeitsgruppen aus Universität Göttingen, zwei Max-Planck-Instituten, dem Deutschen Primatenzentrum und der Otto Bock Health Care GmbH in Projekten. Benannt wurden die Zentren Julius Bernstein (1839-1917). Der Physiologe entwickelte die „Membrantheorie“.