

Bernstein Centers for Computational Neuroscience

BCCN Newsletter



Aktuelle Publikationen

Wie Gedanken entstehen – „RunBot“ lernt Bergsteigen– Die Entstehung des Orientierungssinns – Psychologische Modelle – Die Rolle einzelner Neurone – Das Gehirn an der Grenze zum Chaos



Wissenschaftler im Porträt

Werner Hemmert, Susanne Schreiber, Petra Ritter



Mitteilungen und Meldungen

Lebenswissenschaften in Berlin – Exzellenzinitiative – Personalia – Bevorstehende Ereignisse



Wie Gedanken entstehen

Der „Baustoff“ von Erinnerung und Denken

Was ist ein Gedanke? Zunächst ein Feuerwerk neuronaler Aktivität, gemacht von Neuronen, den Bausteinen des Gehirns, die Information in Form von elektrischen Impulsen darstellen und weiterleiten. Hirnforscher hoffen, erklären zu können, wie zum Beispiel der Torwart beim Elfmeter seine Augen, seine Arme und Beine, und seine Intuition einsetzt, um ein Tor des Gegners zu verhindern. Nicht immer, wenn wir denken oder uns erinnern, gibt es aber einen solchen direkten Anstoß von außen. Ein Team von Wissenschaftlern am BCCN der Universität Freiburg um Stefan Rotter vom Institut für Grenzgebiete der Psychologie hat mit Hilfe aufwändiger Computersimulationen herausgefunden, dass ein sehr großes neuronales Netzwerk unter bestimmten Voraussetzungen auch ohne Anregung von außen anhaltende Aktivität zeigen kann. Diese Aktivität stellt dann, so die Theorie, den „Baustoff“ für Erinnerungen und Denkprozesse zur Verfügung.

Neurone erhalten Signale von vorgeschalteten Zellen, die entweder erregend oder hemmend sein können. Mathematische Modelle neuronaler Netzwerke gehen in der Regel davon aus, dass Neurone diese Eingangssignale miteinander verrechnen und, sobald ein bestimmter Schwellenwert erreicht ist, selbst ein Signal aussenden. Aus verschiedenen experimentellen Analysen weiß man aber, dass Neurone sich komplexer verhalten, wenn viele Signale innerhalb kurzer Zeit eintreffen. Das liegt daran, dass sich unter diesen Umständen die physikalischen Eigenschaften der Zellen vorübergehend dramatisch verändern.

Im Rahmen ihrer Doktorarbeiten haben nun Arvind Kumar und Sven Schrader große neuronale Netzwerke am Computer simuliert, die diese Eigenschaft der Neurone erstmals im Detail berücksichtigen. Vor allem in der Großhirnrinde sind Neurone

sehr stark miteinander vernetzt, das heißt, sie erhalten viele Eingangssignale, die dann die Verrechnung darauf folgender Signale modifizieren. Die Berücksichtigung der besonderen Eigenschaften von Neuronen in derartigen Netzwerken führt zu einer hervorragenden Übereinstimmung mit Messungen an biologischen Nervenzellen im intakten Gehirn. Das neue virtuelle Netzwerk spiegelt die Realität besser wider als bisherige Modelle.

Ein besonderes Merkmal, in dem sich das Netzwerk von Rotter und seinen Kollegen von anderen Modellen unterscheidet, ist seine sich selbst aufrechterhaltende Aktivität. Wenn das Netzwerk groß genug ist, reicht es aus, es einmal anzuregen – danach bleibt es auch ohne weitere Reizung von außen aktiv. „Netzwerke aus etwas einfacher gestrickten Modellneuronen hingegen würden nach kurzer Zeit sozusagen einschlafen“, sagt Rotter. Diese Beobachtung an künstlichen Systemen lässt Rückschlüsse auf die Funktionsweise unseres Gehirns zu – denn wenn das Gehirn denkt oder sich erinnert, braucht es dazu normalerweise keinen unmittelbaren Anstoß von außen.

„Es genügt aber nicht, dass das Gehirn einfach nur aktiv ist“, sagt Rotter, „mit dem Aktivitätsmuster muss auch Bedeutung verbunden sein“. Wenn wir uns erinnern, muss das Gehirn Zusammenhänge herstellen können und sinnvolles Verhalten produzieren. Wie aber im Ozean neuronaler Aktivität des Netzwerks sinnvolle Muster entstehen, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen von Rotter und seinen Kollegen am Bernstein Zentrum. Ihr neues Netzwerkmodell bietet ihnen hierzu vielversprechende Voraussetzungen.

Quelle: Kumar, A., Schrader, S., Aertsen, A. & Rotter, S. (2008). [The High-Conductance State of Cortical Networks. *Neural Computation*, 20\(1\): 1-43](#)



Ein Laufroboter lernt Bergsteigen

Wissenschaftler aus Göttingen haben einen Laufroboter entwickelt, der seine Gangart der Steigung anpassen kann

Der menschliche Gang ist ein Wunderwerk an Koordination. Vom Winkel der Kniegelenke über die Geschwindigkeit des Hüftschwungs bis hin zum Schwerpunkt des Oberkörpers muss alles genauestens aufeinander abgestimmt sein. Dabei passt der Mensch seinen Gang an unterschiedliche äußere Gegebenheiten an. Auf Eis läuft er anders als auf festem Boden, bergauf anders als bergab.

Wissenschaftler um Florentin Wörgötter am Bernstein Zentrum für Computational Neuroscience an der Universität Göttingen haben die neuronalen Grundlagen dieser Anpassungsleistung in einem Laufroboter simuliert. „RunBot“, so heißt der Roboter, macht seinem Namen alle Ehre – unter allen dynamischen Maschinen ist er Weltrekordhalter im Schnellgehen. Nun haben seine Erschaffer sein Repertoire erweitert. Mit einem Infrarot-Auge erkennt er, ob eine Steigung vor ihm liegt und passt seine Gangart punktgenau an. Ganz wie ein Mensch lehnt er seinen Oberkörper nach vorne und macht kleinere Schritte. Nur wenige Versuche braucht RunBot, um dieses Kunststück zu erlernen.

Die Fähigkeit des Roboters ohne zu stolpern blitzartig von Gangart zu Gangart umzuschalten basiert auf der hierarchischen Organisation der Bewegungssteuerung. Hierin ist der Roboter dem Menschen sehr ähnlich und daher für ihn ein gutes Modell. Auf den unteren Hierarchiestufen wird der Bewegungsablauf durch periphere Sensoren reflexartig vorangetrieben. Neuronale Schaltkreise sorgen dafür, dass Gelenke nicht überstrecken,

andere leiten den nächsten Schritt ein, sobald der Fuß aufsetzt. Erst wenn die Gangart angepasst werden muss, greifen höhere Organisationsebenen ein – beim Menschen das Gehirn, beim RunBot löst das Signal des Infrarot-Auges den Prozess über ein sehr viel einfacheres neuronales Netzwerk aus. Wegen der hierarchischen Organisation kann eine Umstellung der Gangart durch die Verschiebung einiger weniger Parameter erreicht werden – die restlichen Größen passen sich durch die autonomen neuronalen Schaltkreise automatisch an.

Beim ersten Versuch einen Berg zu erklimmen, kippt RunBot rückwärts um – noch hat er nicht gelernt, auf das, was sein Auge wahrnimmt, mit einem veränderten Bewegungsprogramm zu reagieren. Ähnlich aber wie Kinder, lernt RunBot aus seinen Stürzen, wodurch die Verschaltung zwischen Auge und Bewegungssteuerung ausgebaut wird. Erst wenn diese Verbindung steht, sind Schrittlänge und Körperhaltung durch das visuell induzierte Signal kontrollierbar. Bei einem steilen Berg wird das Bewegungsprogramm stark, bei einem flachen Berg nur ein wenig umgestellt.

[Manoonpong, P., Geng, T., Kulvicius, T., Porr, B. & Wörgötter, F. \(2007\). Adaptive, Fast Walking in a Biped Robot under Neuronal Control and Learning. *PLoS Comput Biol*, 3\(7\):e134](#)

RunBot, unter allen dynamischen Maschinen Weltrekordhalter im Schnellgehen, kann neuerdings auch Anstiege erklimmen. Aufnahmen von RunBot in Bewegung:
www.nld.ds.mpg.de/~poramate/RUNBOT/ManoonpongMovieS1.mpeg
www.nld.ds.mpg.de/~poramate/RUNBOT/ManoonpongMovieS2.mpeg



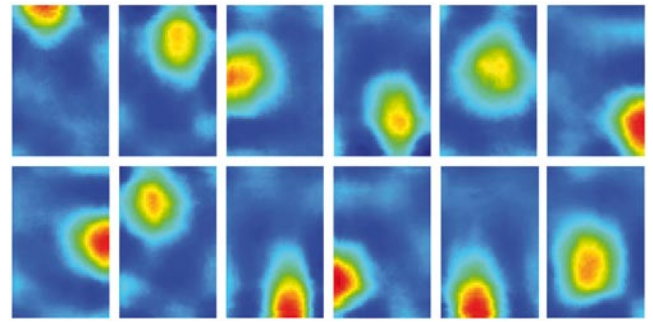


Die Entstehung des Orientierungssinns

Wissenschaftler aus Berlin zeigen in einem theoretischen Modell, wie eine Landkarte im Gehirn entsteht

Zur Orientierung brauchen wir vor allem zwei Informationen: Wo bin ich und in welche Richtung schaue ich gerade? Aus Experimenten an Ratten weiß man, dass diese Informationen im Gehirn sehr direkt und unabhängig voneinander zugänglich sind. Wenige Minuten nachdem die Ratte eine neue Umgebung erkundet hat, haben sich so genannte Ortszellen und Kopfrichtungszellen etabliert. Ortszellen sind aktiv, wenn sich die Ratte an einem bestimmten Ort aufhält, egal in welche Richtung sie schaut. Kopfrichtungszellen kodieren dagegen, in welche Richtung die Ratte blickt – unabhängig von ihrem Aufenthaltsort. Auch beim Menschen gibt es vermutlich solche und weitere Zelltypen, die spezifisch zur Orientierung dienen. Mathias Franzius, Henning Sprekeler und Laurenz Wiskott, Wissenschaftler an der Humboldt-Universität und am BCCN Berlin, haben nun ein theoretisches Modell entwickelt, das die Entstehung aller bekannten Orientierungszellen im Gehirn von Ratten und Primaten erklären kann.

Das Modell der Berliner Forscher analysiert realistische Bilddaten, die den visuellen Eindruck einer Ratte bei ihrem Gang durch den Käfig wiedergeben. Der Kern ihres Modells ist ein mathematischer Algorithmus namens „Slow Feature Analysis“, der die für die Orientierung relevante Information aus den Bilddaten extrahiert. Mit Hilfe dieses Algorithmus lässt das Modell Ortszellen und Kopfrichtungszellen entstehen – ohne dass dies eine Vorgabe des Modells gewesen wäre.



Aus Bilddaten des visuellen Eindrucks bei einem Erkundungslauf berechnet ein Computermodell „Ortszellen“ (hier farbkodiert gezeigt), die nur in bestimmten Bereichen des Käfigs (blaue Vierecke) aktiv sind.

Jeder Rezeptor im Auge erfasst nur einen sehr kleinen Ausschnitt des visuellen Gesamtbildes. Lenken wir die Blickrichtung beispielsweise nur ein wenig nach links, wird jeder einzelne Rezeptor eine ganz andere Information weitergeben als vorher. Während die Sensoren ständig wechselnde Daten liefern, verändern sich die für die Orientierung relevanten Informationen sehr viel langsamer – der Gesamtbildeindruck in diesem Beispiel bleibt fast konstant. Merkmale, die sich nur langsam verändern, können mit Hilfe der Slow Feature Analysis aus den Bilddaten gewonnen werden.

Mit ihrem Modell konnten die Wissenschaftler zeigen, dass mit der Slow Feature Analysis aus der zeitlichen Folge von visuellen Eindrücken, die die Ratte bei ihren Erkundungsgängen erhält, eine Art kognitive Landkarte im Gehirn entstehen kann. Positionen werden in dieser Karte durch Ortszellen und Himmelsrichtungen durch Kopfrichtungszellen wiedergegeben. Erst nach diesem Lernprozess können völlig unterschiedliche visuelle Eindrücke die gleichen Orts- oder Kopfrichtungszellen aktivieren – sitzt die Ratte beispielsweise in der nördlichen Ecke ihres Käfigs, sind die gleichen Ortszellen aktiv, egal ob sie nach Osten oder Westen schaut.

Quelle: Franzius, M., Sprekeler, H. & Wiskott, L. (2007). Slowness and sparseness lead to place, head-direction and spatial-view cells. *PLoS Computational Biology*, 3(8):e166.



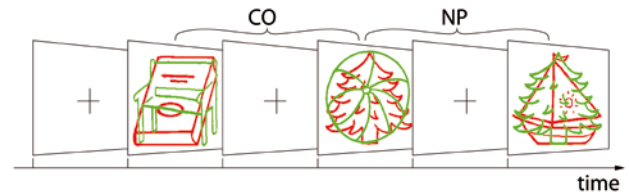
Psychologische Modelle mathematisch formuliert

Computersimulation unbewusster Bildverarbeitung im Gehirn

Nicht jede Bildinformation die unser Auge aufnimmt nehmen wir bewusst wahr. Konzentrieren wir uns im Verkehrsgeschehen auf die Straße, entgehen uns Szenen am Straßenrand, obwohl wir sie „sehen“. Dass diese visuellen Informationen dennoch im Gehirn verarbeitet und im Gedächtnis gespeichert werden, beweisen verschiedene Experimente der Psychologie. Um die neuronalen Mechanismen zu verstehen, die diesem Phänomen zu Grunde liegen, haben Wissenschaftler um Hecke Schrobsdorff und Michael Herrmann vom BCCN und der Universität Göttingen die unbewusste Reizverarbeitung im Computer simuliert. Auf diese Weise lassen sich die Aussagen psychologischer Modelle quantitativ überprüfen.

Objekte, die wir kurz zuvor gesehen haben, erkennen wir schneller wieder. Dieses Phänomen wird als positives Priming bezeichnet. Der gegenteilige Effekt ist das negative Priming: Eine zuvor ignorierte Bildinformation wird weniger schnell wiedererkannt – ein Beweis dafür, dass das Gehirn sie verarbeitet hat, ohne sie bewusst wahrzunehmen. Negatives Priming kann in einem psychologischen Test gemessen werden. Dazu werden Probanden zwei übereinander gelagerte Strichzeichnungen gezeigt – eine rote und eine grüne. Die Versuchspersonen sollen benennen, was das grüne Bild darstellt. Die rote Strichzeichnung stört dabei und muss ignoriert werden. Anschließend wird die Prozedur mit anderen Zeichnungen wiederholt. Entspricht beim

Quelle: Schrobsdorff, H., Ihrke, M., Kabisch, B., Behrendt, J., Hasselhorn, M. & Herrmann, J.M. (2007). A computational approach to negative priming. *Connection Science* 19 (3), 203-221.



Typische Bildfolge eines Negative Priming Experiments. CO: Kontrolle; NP: Negative Priming

zweiten Durchgang die grüne Zeichnung der Figur, die beim ersten Durchgang rot dargestellt war und ignoriert werden musste, reagieren die Probanden um wenige Millisekunden langsamer.

Was sind die Ursachen dieser unterschiedlichen Reizverarbeitung? Wird ein ignoriertes Reiz über längere Zeit im Gehirn aktiv unterdrückt und deshalb nicht erkannt? Oder ist das Objekt als „zu ignorieren“ gestempelt, was einen Konflikt erzeugt mit der neuen Anforderung, darauf jetzt doch zu reagieren? „Psychologen formulieren ihre Modelle in Sätzen – eine quantitative Aussage machen sie damit nicht“, erläutert Hecke Schrobsdorff. Um die Erkenntnisse psychologischer Tests „quantifizieren“ zu können, haben die Göttinger Wissenschaftler jetzt eine mathematische Grundlage entwickelt. Sie basiert in diesem Fall auf der Idee, dass der rote und der grüne Reiz parallel verarbeitet werden, wobei jedoch die Prozessierung relevanter Reize forciert wird.

Damit das grüne Bild erkannt wird, muss die Verarbeitung des grünen Reizes einen Schwellenwert überschritten haben, der von dem roten Reiz noch nicht erreicht wurde. Der Schwellenwert selbst steigt mit dem Verarbeitungsprozess an. Ist das grüne Bild dem Betrachter kurz zuvor als roter Reiz begegnet, verlangsamt dies die Reizverarbeitung; sie wird durch das Aufeinandertreffen nicht miteinander vereinbarter Repräsentationen erschwert. Die Forscher können mit ihrem Computermodell die experimentell gewonnenen Messwerte sehr genau reproduzieren. „Mit unserer computerbasierten Simulation lassen sich sowohl positives als auch negatives Priming erklären“, so Schrobsdorff. Ziel des Projektes ist es, auch Aspekte anderer psychologischer Modelle in das Computermodell zu integrieren, so dass testbare quantitative Vorhersagen unterschieden werden können.



Wie viele Neurone braucht eine Empfindung?

Bereits die Aktivität eines einzelnen Neurons kann bewusst wahrgenommen werden

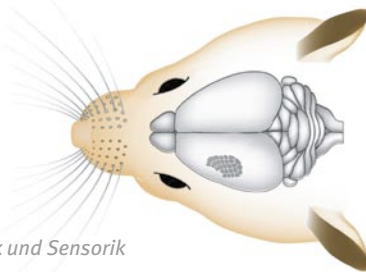
Etwa zwei Millionen Neurone enthält die somatosensorische Hirnrinde (Kortex) der Ratte – die Region des Gehirns, die taktile Wahrnehmungen verarbeitet. Dass trotz dieser enormen Vielzahl die Aktivität eines einzigen Neurons eine Sinnesempfindung erzeugen kann, haben Arthur Houweling und Michael Brecht von der Humboldt Universität und dem BCCN Berlin nun herausgefunden. „Angesichts der großen Zahl von Neuronen im Kortex war man bisher meist davon ausgegangen, dass erst das Zusammenspiel großer Gruppen von Neuronen eine bewusste Wahrnehmung erzeugen kann. Wir zeigen, dass die Aktivität einzelner Neurone sehr viel bedeutungsvoller ist als bisher angenommen“, erklärt Brecht seine Ergebnisse.

Sehen, hören, tasten – jeder Sinnesindruck wird im Gehirn verarbeitet und lässt sich darauf zurückführen, dass Nervenzellen elektrische Impulse aussenden. Noch ist allerdings wenig darüber bekannt, nach welchem Prinzip eine solche neuronale Informationskodierung funktioniert. Sind jeweils ganze Populationen von Neuronen an jedem Verarbeitungsschritt beteiligt, so dass kleine Fehler einzelner Zellen ausgeglichen werden? Oder sind es nur wenige Neurone, die dann entsprechend sehr genau arbeiten müssen? Dass die Aktivität einzelner Neurone ausreicht, um ein Tasthaar einer Ratte um einen Winkel von wenigen Grad zu bewegen, hat Brecht bereits im Jahre 2004 gezeigt. Ob einzelne Neurone bei der Wahrnehmung eine ähnlich zentrale Rolle spielen, ist nun die nächste Frage, der er sich in seiner aktuellen Studie gewidmet hat.

Es ist bereits bekannt, dass die Anregung größerer Gruppen von Neuronen im somatosensorischen Kortex von Menschen einen taktilen Sinnesindruck hervorruft und auch Tiere reagieren auf eine solche Stimulation. Die Wissenschaftler um Brecht reizten nun einzelne Neurone die am Tastsinn der Ratte beteiligt sind mit winzigen Strömen im Bereich einiger Nanoampere, die jeweils circa 15 neuronale Impulse hervorriefen. Die Wahrnehmung der Ratte überprüften die Wissenschaftler mit Hilfe eines Verhaltenstests – die Ratten waren darauf trainiert, mit einer Leckbewegung auf Berührungsempfinden zu antworten. So konnten die Wissenschaftler zeigen, dass diese wenigen Impulse eines einzigen Neurons von der Ratte bemerkt werden können.

Das heißt jedoch nicht, dass die Aktivität eines jeden Neurons ins Bewusstsein gelangt – damit wäre das Gehirn überfordert. Wie gut die Ratte auf die erhöhte Aktivität eines Neurons reagiert, und ob sie diese überhaupt wahrnimmt, hängt von verschiedenen Faktoren ab – zum einen vom Neuronentyp und zum anderen von der Ansprechschwelle nachgeschalteter Neurone, die das Signal weiterleiten. Dennoch zeigen die Experimente deutlich, dass das Gehirn weit weniger redundant arbeitet, als bisher gedacht. „Wir gehen davon aus, dass die neuronale Aktivität im Kortex wesentlich niedriger ist, als bisher angenommen. Der Kortex funktioniert sehr präzise und eine Empfindung kommt zumindest nicht in allen Fällen erst durch das Mitteln großer Populationen von Zellen zustande“, so Brecht.

Quelle: Houweling, A.R. & Brecht, M. (2007). Behavioural report of single neuron stimulation in somatosensory cortex. *Nature* 451, 65-68



Bereich des Kortex, der die Motorik und Sensorik der Tastaare der Ratte steuert



Das Gehirn an der Grenze zum Chaos

Wie Lawinen neuronaler Entladungen im Gehirn entstehen

Viele Systeme in der Natur steuern von selbst auf einen kritischen Zustand zu, der als höchst instabiles Gleichgewicht charakterisiert werden kann: Rieselt beispielsweise Sand langsam auf eine Oberfläche, häuft er sich an, bis der Böschungswinkel so steil ist, dass Sandlawinen die Böschung herunterstürzen. Dabei gibt es keine typische Lawinengröße. In zufälliger Reihenfolge entstehen in einem gewissen Zeitraum viele kleine Lawinen, in anderen Fällen wenige große. Dass die Signalweitergabe im Nervensystem ebenfalls diesem Prinzip der „selbstorganisierten Kritikalität“ folgt, haben Wissenschaftler um Michael Herrmann bereits 2002 auf der Basis von theoretischen Berechnungen vermutet. In den darauf folgenden Jahren wurde dies auch experimentell beobachtet. In einer neuen Studie ist es ihm nun gemeinsam mit seinen Kollegen Anna Levina und Theo Geisel, Wissenschaftler am BCCN, dem Max Planck Institut für Dynamik und Selbstorganisation und der Universität Göttingen gelungen, die neuronalen Mechanismen zu identifizieren, die diesem Phänomen zu Grunde liegen.

Auch im Nervensystem gibt es Lawinen – nicht Sandlawinen, sondern Lawinen neuronaler Entladung. Sendet eine Nervenzelle einen elektrischen Impuls, so kann dies in einem nachgeschalteten Neuron ebenfalls einen Impuls auslösen. Je nachdem, ob eine Impulsweitergabe erfolgt und wie oft sich die Impulsweitergabe wiederholt, kommt es zu Ketten neuronaler Entladungen mit einer jeweils sehr unterschiedlichen Anzahl von Neuronen. „Auf diese Weise kann das Nervensystem das volle Spektrum seiner Reaktionsmöglichkeiten ausschöpfen – mal reagiert es stärker, in anderen Fällen weniger stark“, erklärt

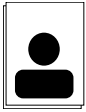


Rieselt Reis auf einen Haufen, wird der Böschungswinkel so steil, dass jedes neue Reiskorn eine Lawine auslösen kann. Auch die Entstehung neuronaler Entladungen im Gehirn folgt den Regeln einer solchen „selbstorganisierten Kritikalität“

Herrmann. Bisher gelang es in Computersimulationen nur in Ausnahmefällen, ein neuronales Netzwerk in einen solchen kritischen Zustand zu bringen. In ihrer neuen Studie ist es den Wissenschaftlern aus Göttingen gelungen, selbstorganisierte Kritikalität eines Netzwerks im Computer realitätsnah zu modellieren und zu erklären, indem sie berücksichtigten, dass sich die Verbindungsstärke zwischen Neuronen durch die wiederholte neuronale Aktivität abschwächt.

Neurone leiten Informationen in Form von elektrischen Signalen weiter. Dort, wo zwei Neurone aufeinander treffen, an der Synapse, ist aber die Leitung unterbrochen und das Signal wird durch Botenstoffe von einer Zelle zur nächsten übertragen. „Der Vorrat an Botenstoffen wird durch die Aktivität der Synapse reduziert, so dass die Stärke der Signalübertragung abnimmt. Erst dadurch, dass der Speicher wieder aufgefüllt wird, nimmt die Effizienz der Synapse wieder zu“, erklärt Levina. Erst in den letzten Jahren wurde erkannt, dass dieser Mechanismus – synaptische Depression genannt – für die Funktion des Gehirns durchaus bedeutend ist. Die Wissenschaftler um Geisel haben nun erstmals gezeigt, dass dieser synaptische Anpassungsmechanismus das neuronale Netz in den Zustand selbstorganisierte Kritikalität an der Grenze zum Chaos treibt.

Quelle: Levina, A., Herrmann, J.M. & Geisel, T. (2007). Dynamical Synapses Causing Self-Organized Criticality in Neural Networks. *Nature Physics* 3, 857 - 860



Werner Hemmert

Sprache verstehen

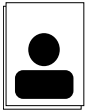
Von unseren fünf Sinnen zeichnet sich das Gehör vor allem durch eines aus – durch die enorme Präzision in der zeitlichen Verarbeitung. Zur Ortung von Geräuschen beispielsweise vergleicht das Gehirn die zeitliche Differenz, mit der das einem Sprecher zugewandte Ohr Schallwellen früher erreicht als das abgewandte Ohr – eine Messung im Bereich weniger Mikrosekunden. Auch zur Spracherkennung benötigt das Nervensystem eine hohe Zeitauflösung. „Sprache hat eine sehr ausgeprägte zeitliche Struktur, die präzise ausgewertet werden muss“, sagt Werner Hemmert, seit September 2007 Professor für das Fachgebiet „Bioanaloge Informationsverarbeitung“ an der Technischen Universität und dem BCCN in München. Jede akustische Information, die in Form von Schallwellen ins Ohr dringt, wird dort in Nervensignale übersetzt und im Gehirn verarbeitet – kurze elektrische Impulse, so genannte „Spikes“, werden von Nervenzelle zu Nervenzelle weitergegeben. Hemmert erforscht, welche Information in der schnellen zeitlichen Abfolge der Spikes enthalten ist. Dieses Wissen nutzt er dann, um automatische Spracherkennungssysteme und Innenohrimplantate zu verbessern.

Von der Gerätebedienung für Behinderte bis hin zur Eingabe von Befehlen in tragbare Computer ohne Tastatur, wie z.B. Navigationssysteme im Auto, bieten automatische Spracherkennungssysteme vielfältige Anwendungsmöglichkeiten. Systeme, die es heute gibt, gelangen schnell an ihre Grenzen, wenn Sprache sprecherunabhängig erkannt werden soll und von Hintergrundgeräuschen gestört wird. Das menschliche Ohr ist der automatischen Spracherkennung noch weit überlegen.



Aus verschiedenen Untersuchungen weiß man, dass das Ohr akustische Signale in seine Frequenzkomponenten zerlegt und die Frequenzmischung analysiert – bestimmte Zellen in der Hörschnecke reagieren auf hohe Frequenzen, andere auf niedrige. Auch automatische Spracherkennungssysteme analysieren Signale nach diesem Prinzip – allerdings mit einer weit geringeren zeitlichen Auflösung als das Ohr. Alle 10 Millisekunden ermitteln sie, wie sich das Frequenzspektrum verändert; Neurone im Hörsystem hingegen arbeiten mit einer Genauigkeit besser als 20 Mikrosekunden. Ob die bessere zeitliche Auflösung der Grund für die Überlegenheit des menschlichen Ohrs bei der Spracherkennung ist, hat Hemmert genauer untersucht. „Wir sind das erste Labor, das Spracherkennung mit realistischen Spike-Folgen modellierter Neurone im Hörsystem untersucht“, sagt Hemmert. Er konnte zeigen, dass in Anwesenheit von Störgeräuschen die spektrale Information allein zur Spracherkennung nicht ausreicht, um die Leistungen des menschlichen Ohrs zu erklären. Durch diese Arbeiten ergaben sich bereits erste Ansätze, wie automatische Spracherkennungssysteme weiter verbessert werden können.

Wie das menschliche Ohr vorgeht, um die zeitliche Sprachstruktur aufzulösen, ist ebenfalls ein Bereich von Hemmerts Forschungsinteresse. Eine wesentliche Rolle spielen dabei so genannte „Onset-Neurone“, die spezifisch auf einen akustischen Signalanfang reagieren. „Würde man einen Reinton mit einer Frequenz über 1000 Hz einschalten, würde ein solches Neuron genau einen Impuls aussenden: beim Einschalten des Signals“, erklärt Hemmert. Auch auf stationäres Rauschen reagieren diese Neurone kaum. Bei der menschlichen Sprache hingegen

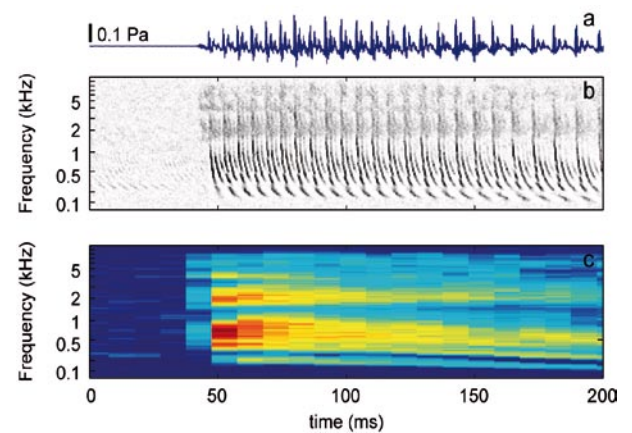


WISSENSCHAFTLER IM PORTRÄT

ist das Schwingen der Stimmbänder gekennzeichnet durch Impuls und Ausschwingen mit einer Frequenz von 100 bis 800 Hz, der Sprachgrundfrequenz. Diese schnelle Folge von Impulsen wird von den Onset-Neuronen aufgenommen, sie senden ihre Spikes im Takt der Sprachgrundfrequenz. Damit ermöglichen Onset-Neurone dem menschlichen Hörsystem Sprache von Hintergrundgeräuschen hervorzuheben und anhand von Unterschieden in der Sprachgrundfrequenz verschiedene Sprecher auseinander zu halten. „Unser Artikulationssystem und unser Gehör wurden im Laufe der Evolution aufeinander abgestimmt, um die Informationsübertragung zwischen Sprecher und Zuhörer zu optimieren. Vom Zirpen einer Grille über Tierrufe bis hin zur menschlichen Sprache haben die dabei entwickelten Kommunikationslaute eines gemeinsam: eine ausgeprägte zeitliche Struktur“, erklärt Hemmert.

Hemmert hat Elektrotechnik und Informationstechnik studiert und befasst sich seit seiner Diplomarbeit mit biomedizinischen Fragestellungen des Hörens. Um zu verstehen, wie das Ohr Schallsignale in Nervenimpulse umsetzt, hat er während seiner Doktorarbeit am Hörforschungszentrum Tübingen die Mechanik des Innenohrs im Detail analysiert. Er entwickelte eine Messapparatur zur optischen Erfassung schallinduzierter Schwingungen, mit der die verschiedenen Strukturelemente im Hörorgan charakterisiert werden können. Für diese Arbeit erhielt er im Jahre 1996 den Helmholtzpreis der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.

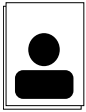
Diese Messungen waren auch die Grundlage für seine späteren Arbeiten am Massachusetts Institute of Technology, am Züricher IBM Forschungslabor und, zurück in München, im Forschungslabor des Technologieunternehmens Infineon. Hemmert ist es bei IBM gelungen, das erste funktionstüchtige hydrodynamische Innenohrmodell in Originalgröße zu realisieren. Bei Infineon entwickelte er ein detailliertes Computer-



Antwort des auditorischen Nervis auf Sprachsignale. a) Schalldruck-verlauf des gesprochenen Vokals „ay“, b) modellierte Antwort von 600 Neuronen, die den gesamten Frequenzbereich des Innenohres abdecken. Neuronale Impulse werden synchron zu den Spitzen im Schalldruck ausgelöst. c) Daraus extrahierte Merkmale mit reduzierter Zeitaufösung, die ein automatisches Spracherkennungssystem verarbeiten kann.

modell des Innenohres und der nachfolgenden neuronalen Schaltstellen. Basierend auf den aktuellen Erkenntnissen physiologischer Messdaten berechnet das Modell aus einem akustischen Signal das neuronale Spike-Muster des Hörnervis und simuliert damit die Funktion des Ohrs. „Mit unserem Modell können wir genau sagen, bei welchem akustischen Reiz welches neuronale Signal über den Hörnervis weitergeleitet wird. Damit können wir die Verarbeitung des intakten Innenohrs besser verstehen, aber auch Schädigungen nachvollziehen, die bei einer Innenohrschwerhörigkeit auftreten“, sagt Hemmert. Weiterhin kann bei Menschen, bei denen das Innenohr völlig zerstört ist mit elektrischen Innenohrimplantaten durch eine direkte Reizung des Hörnervis wieder ein Höreindruck erzeugt werden.

Schon seit seiner Forschungszeit bei Infineon ist Werner Hemmert leitender Wissenschaftler am BCCN in München. Obwohl er verschiedene Rufe an herausragende Universitäten erhalten hat, ist er dem Bernstein Zentrum treu geblieben. „Natürlich hat es mit dem Wunsch zu tun, nach langer Abwesenheit in der Heimat zu bleiben“, sagt Hemmert. In erster Linie aber liegt es an den guten Kooperationsmöglichkeiten, die ihm das Münchner Umfeld und das BCCN bieten.



Susanne Schreiber und Petra Ritter

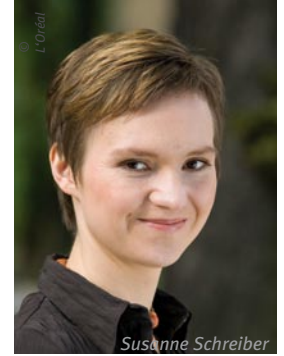
UNESCO-L'Oréal Stipendium für Wissenschaftlerinnen mit Kindern

Erstmals wurden im Jahre 2007 drei Stipendien der Deutsche UNESCO-Kommission und L'Oréal Deutschland in Partnerschaft mit der Christiane Nüsslein-Volhard-Stiftung zur Förderung exzellenter Frauen in der Forschung vergeben. Das Förderprogramm soll hervorragenden angehenden Wissenschaftlerinnen durch eine Unterstützung für Haushalt und Kinderbetreuung ermöglichen, Familie und Forschung zu vereinen. Zwei der Preisträgerinnen, Susanne Schreiber und Petra Ritter, sind Wissenschaftlerinnen am BCCN Berlin.

Susanne Schreiber

Susanne Schreiber interessiert sich dafür, wie die Eigenschaften einzelner Neurone die Funktion größerer neuronaler Netzwerke im Gehirn prägen. Jedes Denken und jede Sinnesverarbeitung im Gehirn beruht auf der Aktivität der Nervenzellen, die Signale in Form von elektrischen Impulsen weitergeben – man sagt, die Neurone feuern. Oft geben größere Gruppen von Neuronen in einem gemeinsamen Rhythmus Impulse von sich, sie geraten durch gegenseitige Beeinflussung in eine kollektive Oszillation. Solch ein rhythmisches Verhalten ist für viele Funktionen des Nervensystems essentiell, so zum Beispiel für das Speichern von Erinnerungen oder die Funktion

des Kurzzeitgedächtnisses bei der Erkundung einer neuen Umgebung. Schreiber untersucht, was die einzelnen Neurone in einem synchron

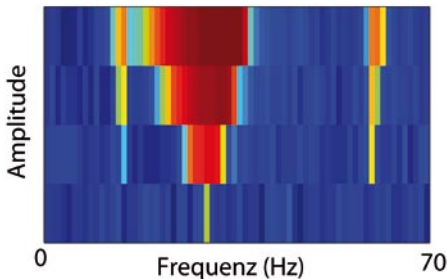


feuernden Netzwerk befähigt, reproduzierbar und präzise den Takt zu halten.

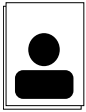
Jedes Neuron hat eine Eigenresonanz – eine Art „Lieblingsfrequenz“, bei der es besonders präzise arbeitet. Bei welcher Frequenz das ganze Netzwerk oszilliert, hängt auch von dieser Frequenzpräferenz der Einzelneurone ab. Durch welche Prozesse wird diese Frequenzpräferenz bestimmt? Wie zuverlässig antworten Neurone auf Reize in dieser Frequenz? Zwischen verschiedenen Mechanismen, die die Antworteigenschaften der Neurone bestimmen, konnte Susanne Schreiber unterscheiden, indem sie Neurone gezielt mit unterschiedlichen Signalen reizte.

Neurone halten eine Spannung über der Membran aufrecht, die sie nutzen, um neuronale Impulse zu senden. Erhalten sie Signale von anderen Zellen, verändert sich diese Membranspannung; ab einem bestimmten Schwellenwert sendet das Neuron selbst ein Signal. Ionenkanäle in der Membran dienen dazu, die Durchlässigkeit der Membran für elektrische Ladungen und damit die Membranspannung genau zu regulieren. Wie Schreiber zeigen konnte, bestimmen die genauen Eigenschaften bestimmter Ionenkanäle, wie zuverlässig Neurone auf Signale antworten.

Susanne Schreiber hat Biophysik an der Humboldt-Universität Berlin studiert und absolvierte ihre Diplomarbeit bei Simon



Jedes Neuron hat eine „Lieblingsfrequenz“, bei der es besonders präzise arbeitet. Hier gezeigt ist die Präzision (farbkodiert) als Funktion der Frequenz und der Amplitude des Eingangssignals.



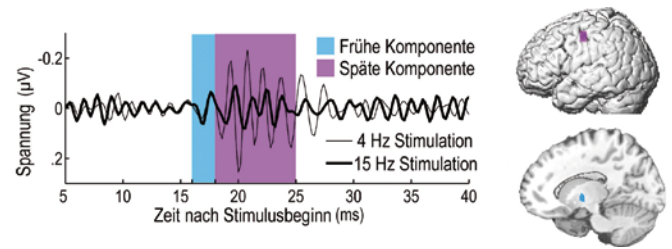
WISSENSCHAFTLER IM PORTRÄT

Laughlin an der University of Cambridge in Großbritannien. Zur Doktorarbeit ging sie zunächst mit einem Stipendium zu Terrence Sejnowski an das Sloan-Schwartz Center des Salk Institute for Biological Studies in Kalifornien. Den zweiten Teil der Doktorarbeit forschte sie in der Arbeitsgruppe von Andreas Herz am Institut für Theoretische Biologie der Humboldt-Universität Berlin, wo sie im Jahre 2004 ihre Promotion abschloss. Derzeit arbeitet Susanne Schreiber, inzwischen Mutter einer zweijährigen Tochter, am Bernstein Zentrum und der Charité in Berlin in enger Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Humboldt-Universität.

Petra Ritter

Das menschliche Gehirn zu verstehen ist eine große Herausforderung – es ist hochkomplex und experimentell sehr schwer zugänglich. Die Elektroenzephalographie (EEG) und die Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglichen es, dem Gehirn beim Arbeiten zuzusehen, jedoch haben beide Methoden ihre Grenzen und beleuchten jeweils nur bestimmte Aspekte der Hirnfunktion. Ziel der Arbeit von Petra Ritter ist es, diese beiden Techniken zu kombinieren, so dass sie sich sinnvoll ergänzen. Obwohl beide Methoden schon seit Jahrzehnten im Einsatz sind, steckt ihre gleichzeitige Anwendung noch in den Kinderschuhen. Das liegt vor allem an technischen Schwierigkeiten: das Schalten der Magnetfelder zum Messen der MRT stört das EEG Signal. Diese Probleme gilt es nun zu überwinden.

Mit Hilfe der MRT untersuchen Wissenschaftler, welche Gehirnbereiche an bestimmten Funktionen wie zum Beispiel an der Verarbeitung visueller oder akustischer Informationen beteiligt sind. Allerdings ist die zeitliche Auflösung der MRT sehr gering – die schnellen Wiederholungen elektrischer Impulse, mit denen Nervenzellen Informationen verarbeiten, können nicht aufgelöst werden. Die zeitliche Auflösung der EEG ist wesentlich höher. Mit Hilfe von auf der Kopfhaut angebrachten Elektroden

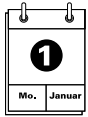


Die Kombination von EEG und MRT erlaubt es, elektrische Oszillationen der Nervenzellen (links) bestimmten Hirnbereichen zuzuordnen (rechts). Hier wird zwischen frühen (türkis) und späten (violett) in wenigen Millisekunden ablaufenden Reaktionen auf einen Stimulus unterschieden.

werden Spannungsveränderungen des Gehirns gemessen. Nur wenn viele Neurone ihre elektrischen Entladungen synchronisieren, addiert sich ihre Aktivität und kann von der EEG wahrgenommen werden. Solche rhythmischen „Netzwerk-Oszillationen“ spiegeln bestimmte Zustände und Funktionen des Gehirns wider.

Petra Ritter kombiniert beide Methoden, um die bessere räumliche Auflösung der MRT und die bessere zeitliche Auflösung der EEG gleichzeitig zu nutzen. So konnte sie beispielsweise zeigen, in welchen Hirnregionen der so genannte „Alpha-Rhythmus“ entsteht und wie dieser Rhythmus den Aktivierungsgrad dieser Regionen beeinflusst. Im „Alpha-Rhythmus“ oszillieren Neurone, während wir die Augen geschlossen halten, er wird bei einer visuellen Wahrnehmung unterdrückt.

Petra Ritter hat an der Humboldt-Universität Berlin Medizin studiert. Famulaturen und ihr praktisches Jahr verbrachte sie größtenteils im Ausland: an den Universitäten UCLA und UCSD in Los Angeles und San Diego, der Mount Sinai School of Medicine in New York und der Harvard Medical School in Boston. Ihre Zeit als Ärztin im Praktikum absolvierte sie in der Neurologie der Charité und erhielt 2002 ihre Approbation. 2004 schloss sie ihre Promotion ab, die sie ebenfalls an der Charité unter der Leitung von Arno Villringer durchgeführt hat. Seit 2001 ist Petra Ritter Arbeitsgruppenleiterin am Berlin Neuroimaging Center. Sie hat zwei Kinder, geboren in den Jahren 2001 und 2007.



MITTEILUNGEN UND MELDUNGEN

Bernstein Netzwerk bei der Exzellenzinitiative

„Die Exzellenzinitiative schreibt Wissenschaftsgeschichte“, sagte Bundesforschungsministerin Annette Schavan nach der Entscheidung in der zweiten Runde des Programms am 19. Oktober 2007 in Bonn. Insgesamt neun Universitäten wurden in den beiden Entscheidungsrunden zu „Exzellenz-Universitäten“ gekürt, fünf davon sind an den vier Standorten der Bernstein Zentren, weitere 3 an übrigen Standorten des Bernstein Netzwerks. 40 Graduiertenschulen und 37 Exzellenzcluster wurden im Rahmen der Initiative eingerichtet, jeweils fünf bzw. sieben davon unter Mitwirkung von Wissenschaftlern des Bernstein Netzwerks. Die Exzellenzinitiative zeigt damit den hohen Stellenwert der Computational Neuroscience in der deutschen Forschungslandschaft. Wenn die Exzellenzinitiative Wissenschaftsgeschichte schreibt, so schreiben die Bernstein-Wissenschaftler in beachtlichem Ausmaß mit.

Lebenswissenschaften an der Humboldt Universität zu Berlin

In Berlin bekommt ein interdisziplinärer Forschungsansatz ein zu Hause. Auf dem zukünftigen Campus of Life Sciences der Humboldt Universität zu Berlin, auf dem auch das Bernstein Zentrum für Computational Neuroscience untergebracht ist, richtet die Humboldt-Universität gemeinsam mit der Charité ein „Institute of Integrative Life Sciences“ (IILS) ein. Die brennenden Fragen der Lebenswissenschaften sollen an den Schnittstellen zwischen Geistes- und Naturwissenschaften durch hochkarätige Wissenschaftler/innen verschiedener Disziplinen am IILS in übergreifenden Projekten gemeinsam bearbeitet werden. Mitbegründer des Projekts ist Andreas Herz, Koordinator des Bernstein Zentrums Berlin.

Fördermaßnahmen der Exzellenzinitiative, bei denen Bernstein Wissenschaftler beteiligt sind

Exzellenz-Universitäten

- Ludwig-Maximilians-Universität München 2006
- Technische Universität München 2006
- Freie Universität Berlin 2007
- Georg-August-Universität Göttingen 2007
- Albert-Ludwigs-Universität Freiburg 2007
- Universität Konstanz 2007
- RWTH Aachen 2007
- Universität Heidelberg 2007

Graduiertenschulen

- Berlin School of Mind and Brain (Humboldt Universität Berlin) 2006
- Spemann Graduate School of Biology and Medicine (Freiburg) 2006
- Graduate School of Systemic Neurosciences (LMU München) 2006
- Graduate School for Neurosciences and Molecular Biosciences (Göttingen) 2007
- The Hartmut Hoffmann-Berling International Graduate School of Molecular and Cellular Biology (Heidelberg) 2007

Exzellenzcluster

- Microscopy at the Nanometer Range (Göttingen) 2006
- Cellular Networks (Heidelberg) 2006
- Cognition for Technical Systems (TU München) 2006
- NeuroCure: Towards a better outcome of Neurological Disorders (Berlin) 2007
- Centre for Biological Signalling Studies (bioss) - from Analysis to Synthesis (Freiburg) 2007
- Interdisciplinary Centre for Integrative Neuroscience (Tübingen) 2007
- Simulation Technology (Stuttgart) 2007

Personalia

Genela Morris hat ein Minerva Stipendium der Max Planck Gesellschaft erhalten. Das Stipendium ermöglicht ihr einen zweijährigen Forschungsaufenthalt am BCCN Berlin.

Michael Frotscher ist der Preisträger der „Senior-Forschungsprofessur Neurowissenschaften“ der Hertie-Stiftung 2007. Die Senior-Forschungsprofessur hat zum Ziel, das hohe Potential und die Erfahrung von Wissenschaftlern jenseits der Pensionierungsgrenze zu erhalten.

Bevorstehende Ereignisse

Das Eröffnungssymposium der “Computational Vision & Neuroscience Group” des Bernstein-Preisträgers 2006, Mathias Bethge, findet am 7. und 8. April in Tübingen statt.

Siehe: <http://www.kyb.mpg.de/bethgegroup/symposium>

Koordinatoren der Bernstein Zentren

Prof. Dr. Ad Aertsen
Albert-Ludwigs-University Freiburg
Institute for Biology III
Schänzlestraße 1
D – 79104 Freiburg
Email: aertsen@biologie.uni-freiburg.de
URL: www.bccn-freiburg.de

Prof. Dr. Ulrich Büttner
Ludwig-Maximilians-Universität Munich
Department of Neurology
Marchionistraße 15
D – 81377 Munich
Email: Ulrich.Buettner@med.uni-muenchen.de
URL: www.bccn-muenchen.de

Prof. Dr. Theo Geisel
Max Planck Institute for Dynamics and Self-Organization
Bunsenstraße 10
D – 37073 Göttingen
Email: geisel@ds.mpg.de
URL: www.bccn-goettingen.de

Prof. Dr. Andreas V. M. Herz
Humboldt-University Berlin
Department of Biology
Invalidenstraße 43
D – 10115 Berlin
Email: a.herz@biologie.hu-berlin.de
URL: www.bccn-berlin.de

Impressum

Herausgeber:
Bernstein Centers for Computational Neuroscience
<http://www.bernstein-centers.de>

Text, Redaktion:
Katrin Weigmann, mail@k-weigmann.de

Koordination:
Tobias Niemann, Simone Cardoso de Oliveira,
Margret Franke, Isolde von Bülow

Gestaltung:
newmediamen, Berlin

Layout:
Katrin Weigmann

Druck / Print: Elch Graphics, Berlin

Die Bernstein Centers for Computational Neuroscience werden vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und sind ein zentrales Element des „Nationalen Netzwerks Computational Neuroscience“. Die Fördermaßnahme soll die Bündelung wissenschaftlicher Kompetenz am Standort Deutschland ermöglichen sowie klinische und technologische Anwendungen theoretischer Ergebnisse im Bereich der Neurowissenschaften vorantreiben.

Titelbild: Um automatische Spracherkennungssysteme und Innenohrimplantate zu verbessern, untersucht Werner Hemmert, wie das Ohr Schallwellen in Nervensignale übersetzt (siehe S. 14).

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung