

Bernstein Centers for Computational Neuroscience

BCCN Newsletter



Aktuelle Publikationen

Regeneration – Netzwerkstrukturen – 15 Publikationen



Wissenschaftler im Porträt

Leo van Hemmen



Meldungen

Koordinationsstelle des Bernstein-Netzwerks



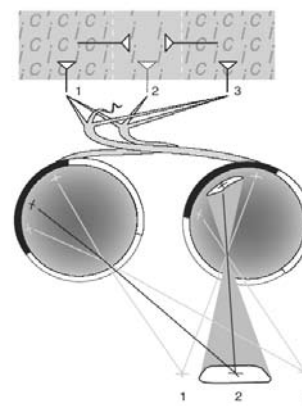
Wie erhält das Gehirn seine Struktur?

Wissenschaftler ergründen die Prinzipien der Regeneration

Jede kognitive Leistung eines Menschen hängt von der genauen Verknüpfungsstruktur der Neurone in seinem Gehirn ab. Nicht nur während der Embryonalentwicklung, sondern während des ganzen Lebens werden Verknüpfungen im Gehirn neu gebildet und andere aufgelöst. Als Teil einer internationalen Kollaboration haben Wissenschaftler um Joshua Young und Klaus Obermayer des BCCN und der Technischen Universität Berlin einige wichtige Prinzipien dieser neuronalen Verdrahtung entschlüsselt. Die Studie führt zu einem besseren Verständnis fundamentaler Prozesse der Gehirnentwicklung, wie auch der Reorganisation des Gehirns nach Verletzungen.

Das Gehirn ist ein komplexes Netzwerk aus Neuronen, die über elektrische Signale kommunizieren. Jedes Neuron erhält Signale von vielen anderen vorgeschalteten Neuronen, die es integriert und verrechnet, um dann selbst ein Signal auszusenden. Wenn eine Zelle A einen Impuls aussendet, der in Zelle B eine Antwort auslöst, wird der Kontakt von der Zelle A zur Zelle B verstärkt. Dies führt wiederum dazu, dass Zelle B nun mit einer höheren Wahrscheinlichkeit auf ein Signal der Zelle A antwortet. Durch diesen Prozess „lernt“ Zelle B das Aktivitätsmuster von Zelle A und übernimmt dieses. Wegen dieser einseitigen Übertragung von Aktivitätsmustern nennen die Wissenschaftler dieses Phänomen „didaktische Reorganisation“.

Nach Verletzungen des Gehirns findet in der betreffenden Region eine massive Reorganisation statt. Eine Reorganisation der Verknüpfungsstruktur wird auch nach einem teilweisen Verlust der Eingangssignale beobachtet. Aus der Reaktion der Neurone



*Schema des Versuchsaufbaus:
Nach einer Verletzung der
Retina im Bereich 2 fehlt
Zellen des visuellen Kortex das
entsprechende Eingangssignal
und eine neuronale
Reorganisation beginnt.*

auf visuelle Reize konnten die Wissenschaftler Rückschlüsse darauf ziehen, wie sich die Neurone des visuellen Kortex nach einer Verletzung der Retina reorganisiert hatten. Aus Vergleichen dieser experimentellen Daten mit denen aus Computermodellen konnten die Forscher eindeutig ableiten, dass die Art und Weise der Neuerschaltung eine Folge didaktischer Reorganisation ist.

Der visuelle Kortex ist die Hauptregion im Gehirn, in der visuelle Signale analysiert werden. Bei einer Verletzung der Retina verlieren Neurone in einer kleinen Region des visuellen Kortex die entsprechenden Eingangssignale. Durch diesen Verlust von Input antworten die Neurone umso stärker auf Signale von anderen ihnen vorgeschalteten Zellen benachbarter Kortexregionen. Wegen dieser verstärkten Empfindlichkeit der betreffenden Zellen lässt sich das Prinzip der didaktischen Reorganisation am Beispiel der neuronalen Regeneration besonders eindrücklich demonstrieren.

Die Wissenschaftler gehen davon aus, dass sowohl die Entstehung neuronaler Schaltkreise während der Entwicklung des Gehirns als auch die verschiedenen Schritte der Regeneration den gleichen grundlegenden Prinzipien folgen. Ihre Ergebnisse sind ein wesentlicher Schritt im Verständnis dieser Prozesse und bilden damit die Voraussetzung für die Entwicklung besserer Behandlungsmöglichkeiten von Hirnverletzungen.

Quelle: Young, Waleszczyk, Wang, Calford, Dreher & Obermayer (2007): Cortical reorganization consistent with spike timing- but not correlation-dependent plasticity. *Nature Neuroscience* 10(7):887-895.



Wer mit wem?

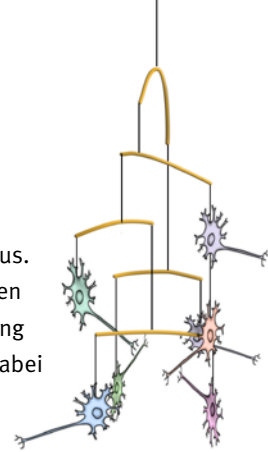
Identifizierung der Verknüpfungsstrukturen von Netzwerken

Die mathematische Analyse regulatorischer Netzwerke gewinnt für die Biologie immer mehr an Bedeutung, denn solche Netzwerke gibt es überall in der Natur. Die Tier- und Pflanzenarten eines Ökosystems, die Gene und Proteine einer Zelle oder Nervenzellen im Gehirn stellen jeweils ein Netzwerk aus verschiedenen Einheiten dar, die sich gegenseitig beeinflussen. Marc Timme, BCCN und Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen, hat nun eine mathematische Methode entwickelt, mit der aus der Reaktion eines regulatorischen Netzwerks auf äußere Kräfte Rückschlüsse auf dessen Verknüpfungsstruktur gezogen werden können. Überträgt man diese Methode auf die Praxis, so könnte man die genauen Verbindungen zwischen den Einheiten eines Netzwerks bestimmen, z.B. die Wechselwirkungen zwischen Molekülen in einer Zelle oder die synaptischen Kontakte in einem neuronalen Netzwerk.

Voraussetzung für die Methode von Timme ist, dass die Netzwerke in einem stabilen Gleichgewicht sind, wie die Figuren eines ausgependelten Mobiles. Hängt man nun vorsichtig ein kleines Gewicht an eine Figur des Mobiles, verschieben sich die anderen Figuren nach oben oder unten. Wie man anhand dieser Verschiebungen Rückschlüsse auf die Verbindungsstruktur des Netzwerks ziehen kann, hat Timme berechnet – nicht unbedingt für Mobiles, sondern für regulatorische Netzwerke allgemein.

Regulatorische Netzwerke gibt es in der Natur viele, ein Beispiel hierfür ist ein neuronales Netzwerk, das wiederkehrende Aktivitätsmuster generiert, um die Atmung oder den Herzrhythmus zu steuern. Speist man ein neuronales Netzwerk an einer Stelle mit einem Signal, stellt sich ein neuer Zustand ein, der relativ zu dem alten ein wenig verschoben ist – einige Neuronen senden

etwas früher, andere etwas später Signale aus. Dass sich aus der Vielzahl solcher Antworten des Netzwerks jede einzelne Verbindung eindeutig bestimmen lässt und wie man dabei mathematisch vorgeht, hat Timme nun gezeigt. Bisher ließen mathematische Analysemethoden meist nur statistische Aussagen über den Prozentsatz oder die durchschnittlich zu erwartende Stärke der Verknüpfungen zwischen Einheiten zu.



„Um das Netzwerk vollständig zu bestimmen, braucht man für jede Einheit so viele Informationen, wie sie Verbindungen zu anderen Einheiten haben könnte“, erklärt Timme, „dazu muss man dann so viele Experimente machen, wie das Netzwerk Einheiten hat.“ In der Praxis bestehen regulatorische Netzwerke aus tausenden oder sogar millionen Komponenten und die Messung der Reaktion des Netzwerks auf eine so große Zahl verschiedenartiger Signale wäre kaum durchführbar. Ein weiterer wichtiger Schritt in der Methode von Timme lässt es dennoch zu, auch die Struktur von großen, komplexen Netzwerken zu bestimmen. Die Natur ist meist sparsam und richtet es so ein, dass eine gewünschte neuronale Funktion in Netzwerken mit nur relativ wenigen Verbindungen erreicht werden kann. Wie Timme zeigen konnte, braucht man, um die Struktur eines sparsam gebauten Netzwerks aufzuklären, weit weniger Experimente als das Netzwerk Komponenten hat. Diese Methode liefert Wissenschaftlern nun die Grundlage für ein Werkzeug, mit dem sich zukünftig der Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion regulatorischer Netzwerke systematisch untersuchen lässt.

Quelle: Timme, M. (2006). Does dynamics reflect topology in directed networks? *Europhysics Letters* 76 (3), 367–373

Timme, M. (2007). Revealing Network Connectivity From Response Dynamics. *Physical Review Letters*, 98:224101



15 auf einen Schlag

15 Arbeiten von Wissenschaftlern der BCCN wurden in einer Sonderausgabe der Zeitschrift Neurocomputing publiziert.

Seit 15 Jahren ist das „Computational Neuroscience Meeting“ ein internationales Forum für den Austausch von wissenschaftlichen Ergebnissen in diesem interdisziplinären Forschungsgebiet. Etwa 400 Wissenschaftler trafen sich auf dem letztjährigen Meeting in Edinburgh (Schottland). Ihre Beiträge konnten sie zur Publikation in der Zeitschrift „Neurocomputing“ einreichen, die nach einem Begutachtungsprozess 100 Artikel in einer Sonderausgabe mit dem Titel „Computational Neuroscience: Trends in Research 2007“ im Juni 2007 publizierte. Gleich 15 dieser Beiträge stammen von Wissenschaftlern der BCCN. Wie kodiert das Gehirn Informationen? Wie hängen Struktur und Funktion neuronaler Netzwerke zusammen? Diese und viele andere Fragen werden in den Publikationen diskutiert.

Neurone leiten Informationen in Form von elektrischen Impulsen weiter – man sagt, sie feuern. In dem räumlich-zeitlichen Muster ihrer Entladungen verschlüsselt das Gehirn Informationen. Wie solche Informationen angesichts des ständigen „Hintergrundrauschens“ verlässlich weitergegeben werden können, untersuchten Stimberg et al. (1) in einem Netzwerkmodell.

Noch ist es ein großes Rätsel, wie Informationen im räumlich-zeitlichen Muster neuronaler Entladungen verschlüsselt werden. Ebenso wichtig aber ist die Frage, wie die beobachteten neuronalen Aktivitätsmuster zu Stande kommen. Wie hängt beispielsweise die Bereitschaft eines Neurons, zu feuern, von der Dynamik der letzten Impulse ab (2)? Diese Frage wurde von Nawrot et al. (2) experimentell auf der Ebene einzelner Zellen

untersucht. Wie hängt die Struktur des Gehirns zusammen mit der Aktivität, die es produziert? Gürel et al. (3) weisen einen Weg, wie aus den Eigenschaften eines simulierten Netzwerks Vorhersagen über seine Aktivität getroffen werden können. „Neuronale Lawinen“ nennt man kurze Ausbrüche neuronaler Entladungen, die durch Multi-Elektroden-Ableitungen in neuronalen Kulturen beobachtet wurden. Wie es zu solchen Entladungen in einem Netzwerkmodell mit Feedback-Verbindungen kommen kann, wird von Levina et al. (4) untersucht.

In zwei Arbeiten untersuchten Wissenschaftler den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion am Beispiel des Neokortex, der sensorischen und motorischen Areale der Großhirnrinde. In Simulationen eines formalen Modells zeigen sie, wie der Kortex Sakkaden steuert, um die Aufmerksamkeit auf neue Objektteile zu lenken. Mit diesem Modell können sie erklären, wie die Struktur des Neokortex Leistungen wie Objekterkennung oder –klassifizierung hervorbringen kann (Kupper et al., 5; Knoblauch et al., 6).

Häufig treten im Gehirn synchrone Schwingungen auf – Gruppen von Neuronen feuern gleichzeitig. Synchrone Entladungen, so konnten Pipa et al. (7) mit einem verbesserten Analyseverfahren bestätigen, treten bei der Bewegungsplanung vor allem in Phasen auf, die für das Verhalten relevant sind. In vergleichbaren Daten konnten Denker et al. (8) zeigen, dass das Feuern einzelner Zellen eine erhöhte Synchronität in Korrelation mit dem Feldpotential, das Summensignal vieler Zellen, aufweist. Verschiedene Eigenschaften eines Objektes, zum Beispiel visuelle und akustische, werden in unterschiedlichen Teilen des Gehirns analysiert. Synchrone Schwingungen sind auch dafür verantwortlich, solche Informationen zusammenzuführen. Dieses Phänomen – genannt „feature binding“ – untersuchten Schrobsdorff et al. (9).



AKTUELLE PUBLIKATIONEN

Wie synchrone Schwingungen entstehen, wurde von weiteren Wissenschaftlern der BCCN untersucht. Sind experimentell beobachtete synchrone Neurone in einem bestimmten räumlichen Muster verteilt (Berger et al., 10)? So genannte „Knotenpunkte“ im Netzwerkmodell – neuronale Verschaltungen, die stark rückgekoppelt sind – könnten der Ausgangspunkt von netzwerkweiten Synchronisationswellen sein (Kremkow et al., 11). Wie diese Knotenpunkte im Netzwerk verteilt sind, hat einen starken Einfluss auf seine Dynamik (Voges et al., 12).

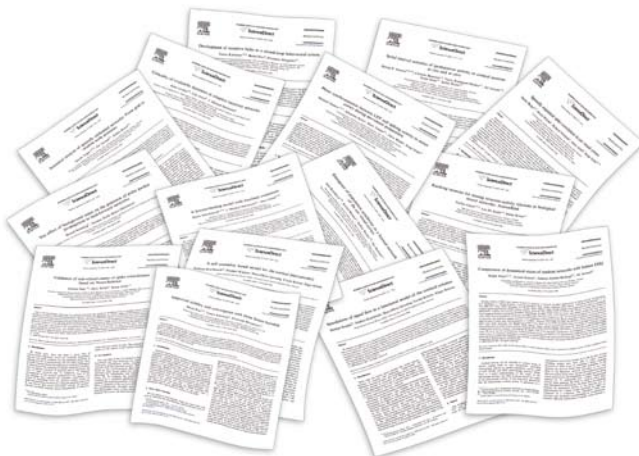
Die Grundlagen der Netzwerkstruktur und -dynamik besser zu verstehen, hat natürlich auch seine Anwendung. Zum Beispiel untersuchten Wissenschaftler aus Freiburg, wie sich aus den Daten eines Elektroenzephalogramms mehr Informationen auslesen lassen, wenn man Aspekte wie die Synchronität oder Irregularität des Aktivitätsmusters mit berücksichtigt (Meier et al., 13).

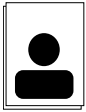
Nicht zuletzt untersuchen Wissenschaftler des BCCN Göttingen auch verschiedene Lernmodelle und testeten diese an Robotern. Dass sich so genannte rezeptive Felder im visuellen

System durch Lernregeln entwickeln können – das heißt Neurone, die nur auf Reize aus einem bestimmten Teil des Gesichtsfelds reagieren – zeigten sie an einem Roboter, der lernt, einer Linie zu folgen (Kulvicius et al., 14). Mit einem anderen lernenden Roboter zeigten sie die Bedeutung eines „Neuromodulators“, der die Aktivität so genannter dopaminergener Neurone widerspiegelt und die Lernfähigkeit einzelner Neurone beeinflusst (Porr et al., 15).

Quelle: *Neurocomputing* 70 (10-12), 1595-2138 (June 2007)

1. *Stimberg, M., Hoch, T. & Obermayer, K. The effect of background noise on the precision of pulse packet propagation in feed-forward networks. 1824-1828*
2. *Nawrot, M.P., Boucsein, C., Rodriguez-Molina, V., Aertsen, A., Grün, S. & Rotter, S. Serial interval statistics of spontaneous activity in cortical neurons in vivo and in vitro. 1717-1722*
3. *Gürel, T., De Raedt, L. & Rotter, S. Ranking neurons for mining structure-activity relations in biological neural networks: NeuronRank. 1897-1901*
4. *Levina, A., Ernst, U. & Herrmann, M.J. Criticality of avalanche dynamics in adaptive recurrent networks. 1877-1881*
5. *Kupper, R., Knoblauch, A., Gewaltig, M., Körner, U. & Körner, E. Simulations of signal flow in a functional model of the cortical column. 1711-1716*
6. *Knoblauch, A., Kupper, R., Gewaltig, M., Körner, U. & Körner, E. A cell assembly based model for the cortical microcircuitry. 1838-1842*
7. *Pipa, G., Riehle, A. & Grün, S. Validation of task-related excess of spike coincidences based on NeuroXidence. 2064-2068*
8. *Denker, M., Roux, S., Timme, M., Riehle, A. & Grün, S. Phase synchronization between LFP and spiking activity in motor cortex during movement preparation. 2096-2101*
9. *Schrobsdorff, H., Herrmann, M.J. & Geisel, T. A feature-binding model with localized excitations. 1706-1710*
10. *Berger, D., Warren, D., Normann, R., Arieli, A. & Grün, S. Spatially organized spike correlation in cat visual cortex. 2112-2116*
11. *Kremkow, J., Kumar, A., Rotter, S. & Aertsen, A. Emergence of population synchrony in a layered network of the cat visual cortex. 2069-2073*
12. *Voges, N., Aertsen, A. & Rotter, S. Statistical analysis of spatially embedded networks: From grid to random node positions. 1833-1837*
13. *Meier, R., Kumar, A., Schulze-Bonhage, A. & Aertsen, A. Comparison of dynamical states of random networks with human EEG. 1843-1847*
14. *Kulvicius, T., Porr, B. & Wörgötter, F. Development of receptive fields in a closed-loop behavioural system. 2046-2049*
15. *Porr, B., Kulvicius, T. & Wörgötter, F. Improved stability and convergence with three factor learning. 2005-2008*



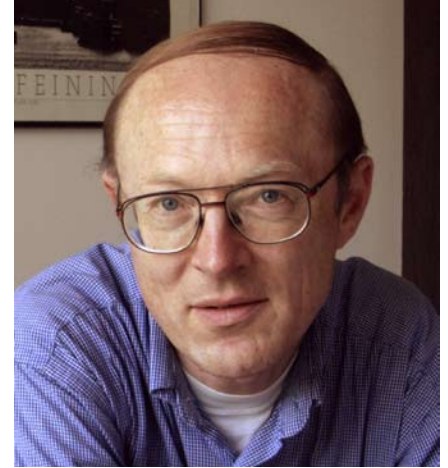


Leo van Hemmen

Universellen Gesetzen der Biologie auf der Spur

Vom Gehör der Vögel über das Seitenlinienorgan der Fische bis hin zum Infrarotsichtorgan der Schlangen – die Strategien der verschiedenen Tierarten, Informationen über ihre Umwelt zu erlangen, sind schier unerschöpflich. Und dennoch beruht die Funktion der Sinnesorgane auf den gleichen grundlegenden Prinzipien. „Es gibt eine Universalität in den der Biologie zu Grunde liegenden mathematischen Gesetzen“, sagt Leo van Hemmen. Diesen universellen Prinzipien auf die Spur zu kommen, ist Ziel seiner Forschung. Sein Fachgebiet nennt van Hemmen gerne „theoretische Neurowissenschaften“, in Anlehnung an die theoretische Physik. „Während in der Physik grundlegende mathematische Gesetze schon weitestgehend formuliert sind, gilt es diese in der Biologie noch zu entdecken“, sagt van Hemmen, „es ist ein in großen Teilen noch unbearbeitetes Feld“.

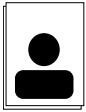
Die mathematische Erfassung einer Lernregel für Neurone, die van Hemmen mit seinen Kollegen in einer richtungsweisenden Publikation im Jahre 1996 in der Fachzeitschrift Nature formuliert hat, bildet heute die Grundlage für unser Verständnis davon, was sich beim Lernen auf der Ebene der Zellen abspielt. Die Verbindung zwischen zwei Neuronen kann durch ihre Aktivität gestärkt werden – so werden die Nervenbahnen ausgebaut, die häufig gebraucht werden. Dabei, so besagt die Lernregel, kommt es auf das präzise Timing an, mit dem zwei verbundene Nervenzellen relativ zueinander einen elektrischen Impuls aussenden. Dieses Prinzip, später „spike-time-dependent plasticity“ (STDP) genannt, ist heute aus der Computational Neuroscience nicht mehr wegzudenken. „Die Kernidee zu STDP hatten wir de facto schon unmittelbar nach der Doktorarbeit von Andreas Herz im Sommer 1990, formuliert wurde sie dann in der



Dissertation von Wulfram Gerstner“, so van Hemmen. Gereift ist die Idee dann an der Fragestellung, wie sich das Richtungshören in der Schleiereule entwickelt. Hier konnten van Hemmen und seine Kollegen zeigen, wie sich während der Entwicklung der Schleiereule durch STDP die „richtigen“ Synapsen herausbilden, so dass ein Richtungshören möglich wird.

Heutzutage erforscht die Arbeitsgruppe von van Hemmen die sensorischen Systeme von Fröschen, Fischen, Schlangen und Skorpionen. „Wir untersuchen Systeme, die so einfach sind, dass man sie verstehen kann, aber so komplex, dass sie ein faszinierendes Verhalten hervorrufen“, so umreißt van Hemmen sein Forschungsgebiet. Damit Tiere ihre Beute und ihre Feinde orten können, schaffen Seh- und Hörsinn, aber auch viele andere Sinnessysteme ein räumliches Abbild ihrer Umwelt im Gehirn. Dazu haben sie topographisch geordnete neuronale Karten im Kopf – was in der Umwelt dicht beieinander liegt, findet auch seine neuronale Repräsentation in benachbarten Regionen des Gehirns. Wie die neuronale Verschaltung des Hörsinns der Eule die äußere Welt auf eine innere Karte abbilden kann, ist – unter anderem Dank der Arbeit am Lehrstuhl von Professor van Hemmen – schon recht gut geklärt.

Auch Schlangen sind – entgegen der allgemeinen Vorstellung – nicht taub. Sie haben nur eine ganz andere Art und Weise zu hören. Mit ihren Ohren nehmen sie weniger die Schallwellen



WISSENSCHAFTLER IM PORTRÄT

Seite 10 ► der Luft, als vielmehr die Erschütterungswellen im Sand wahr, die entstehen, wenn sich eine Beute nähert. Wenn Schlangen den Kopf auf den Sand legen, können ihre beiden nur lose verbundenen Unterkiefer unabhängig auf diesen winzigen Erschütterungswellen schaukeln wie zwei Boote auf dem Meer. Jeder der beiden Unterkiefer ist mit einem Ohr verbunden, dessen Sinneszellen durch die kleinen Bewegungen der Unterkiefer angeregt werden. Dass diese Stimulation der Schlange nicht nur ein Hören, sondern auch eine Richtungsbestimmung ermöglicht, haben Wissenschaftler um van Hemmen erstmals mathematisch gezeigt.

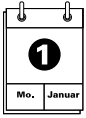
Wenn Krallenfrösche nachts im Wasser sitzen und auf Beute lauern, erkennen sie diese mit Hilfe ihres Seitenlinienorgans. Eine Fliege, die auf die Wasseroberfläche fällt, löst kleine Wellen aus, die über die 180 Sensoren des Seitenlinienorgans streichen. Diese Sensoren sind im Gehirn durch eine topographische Karte repräsentiert. Obwohl der Frosch bei der nächtlichen Jagd nichts sieht, kann er so seine Beute orten. Dennoch ist das Auge von Bedeutung, jeder Eingriff in das visuelle System während der Entwicklung hat auch einen Einfluss auf das Seitenlinienorgan. „Vielleicht ist die Hauptfunktion des Sehens, die Bildung des Seitenlinienorgans zu instruieren“, sagt van Hemmen. Wie genau der Frosch seine Beute ortet und ob er auch den Abstand zur Beute messen kann, ist noch nicht im Detail bekannt. „Aber er hat ein sehr breites Maul. Vielleicht kommt es also nicht so genau darauf an“, scherzt van Hemmen.

Wie das Grubenorgan der Schlange funktioniert – und es funktioniert bei Raumtemperatur noch immer 10 Mal besser als jedes technische System – wird ebenfalls am Lehrstuhl von van Hemmen untersucht. Eine freischwebende Membran, von Luft isoliert, nimmt die Infrarotstrahlung wahr. Das Signal, das sie empfängt, ist sehr schwach und daher hat das Grubenorgan

eine weite Öffnung. Ähnlich wie bei einem Fotoapparat, mit dem man bei weit geöffneter Blende fotografiert, ist das Bild, das auf die Membran fällt, stark verschwommen. Wie das Gehirn der Schlange aus der so empfangenen Bildinformation dennoch ein relativ scharfes Bild errechnen kann, haben Wissenschaftler im Institut von van Hemmen in einem mathematischen Modell errechnet.

Nicht nur aus Faszination an den Schöpfungen der Natur untersucht van Hemmen die Sinnesleistungen der Tiere, seine Forschungsergebnisse zielen auch auf eine technische Anwendung. Roboter, die hören oder sehen können, sind ein zukunftssträchtiges Entwicklungsgebiet. Aber auch andere Sinnesorgane könnten die Welt der technischen Systeme enorm bereichern. Mit ihrem Grubenorgan können bestimmte Schlangenarten Infrarotwellen wahrnehmen und ihre Beute allein anhand der ausgestrahlten Wärme auch im Dunkeln identifizieren. Könnten beispielsweise Autos mit einem ähnlichen System Fußgänger erkennen, die nachts die Straße überqueren, wäre das für die Verkehrssicherheit ein enormer Fortschritt.

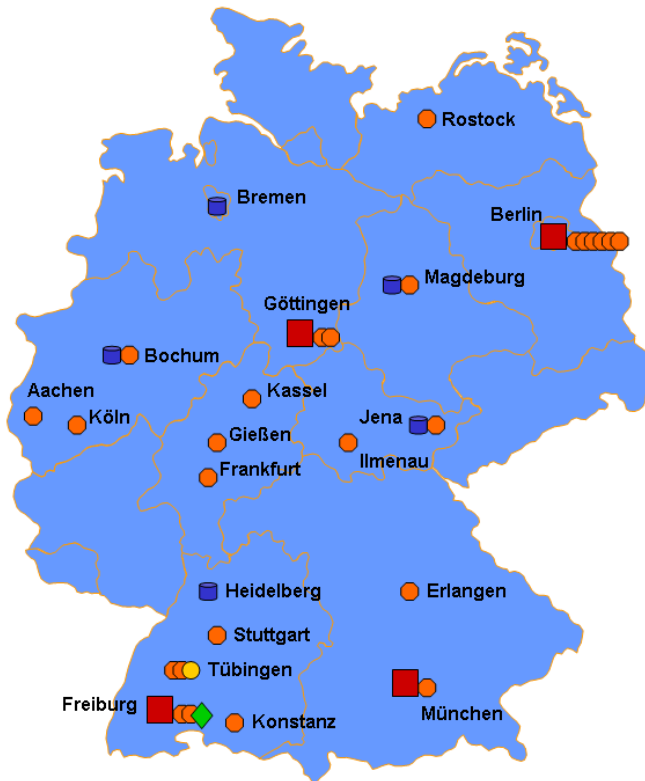
„Wenn Wissenschaftler meinen Lehrstuhl verlassen, nehmen sie das Thema, an dem sie arbeiten, häufig mit“, erzählt van Hemmen, „und ich möchte nicht mit ihnen in Konkurrenz stehen“. Er selbst bedient sich dann weiter aus dem schier unerschöpflichen Repertoire der von der Natur zur Verfügung gestellten Sinnessysteme. So kommt es auch, dass gerade die ersten grundlegenden Erkenntnisse über zahlreiche sensorische Systeme in seiner Gruppe gewonnen wurden. Auf diese Weise sammelt van Hemmen immer neue Beispiele, deren mathematische Grundlagen er erfasst: „Universelle Prinzipien erkennt man an Beispielen“.



Koordinationsstelle für das Bernstein-Netzwerk

Am Bernstein Zentrum für Computational Neuroscience Freiburg wird zum 1.9.2007 eine Koordinierungsstelle (KOS) für das Nationale Netzwerk Computational Neuroscience (NNCN) eingerichtet. Dieses vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Netzwerk ist in den letzten Jahren stark angewachsen und besteht mittlerweile neben den vier ursprünglichen Bernstein Zentren aus fünf Bernsteingruppen, elf Bernstein-Partnerprojekten und einer Bernstein Nachwuchsgruppe. In Zukunft wird sich das NNCN weiter vergrößern, vor allem durch die geplante Einrichtung von bis zu fünf Bernstein Zentren für Neurotechnologie.

Die KOS soll die Zusammenarbeit zwischen den Teilnehmern unterstützen und zu deren Sichtbarkeit beitragen. Eine zentrale Aufgabe der KOS ist es darüber hinaus, als Verbindungsstelle zwischen dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, dem Projektträger im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt und dem NNCN zu dienen.



- Bernstein Zentrum / Bernstein Center
- Bernstein Gruppe / Bernstein Group
- Bernstein Kooperationen / Bernstein Collaboration
- Bernstein Preis / Bernstein Prize
- ◆ Bernstein Koordinationsstelle / Bernstein Coordination Office

Coordinators of the Bernstein Centers

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
Berlin – Freiburg – Göttingen – Munich
<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 / Katrin Weigmann

Druck: 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: Tempel Viper. Direkt vor dem Auge und hinter der Nasenöffnung liegt das Grubenorgan, mit dem die Schlange Infrarotstrahlung wahrnehmen kann (siehe S. 10). Bild: Guido Westhoff

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung