

Bernstein Netzwerk für Computational Neuroscience

# Bernstein Newsletter



## Aktuelle Publikationen

Schneller Code für Gerüche – Neuronen sind schnelle Rechenkünstler – Wahrnehmung bewegter Bilder – Selbstorganisation statt Umwelt und Genen – Unsichtbare Signale lehren uns das Sehen – Dem Code des Gehirns auf der Spur



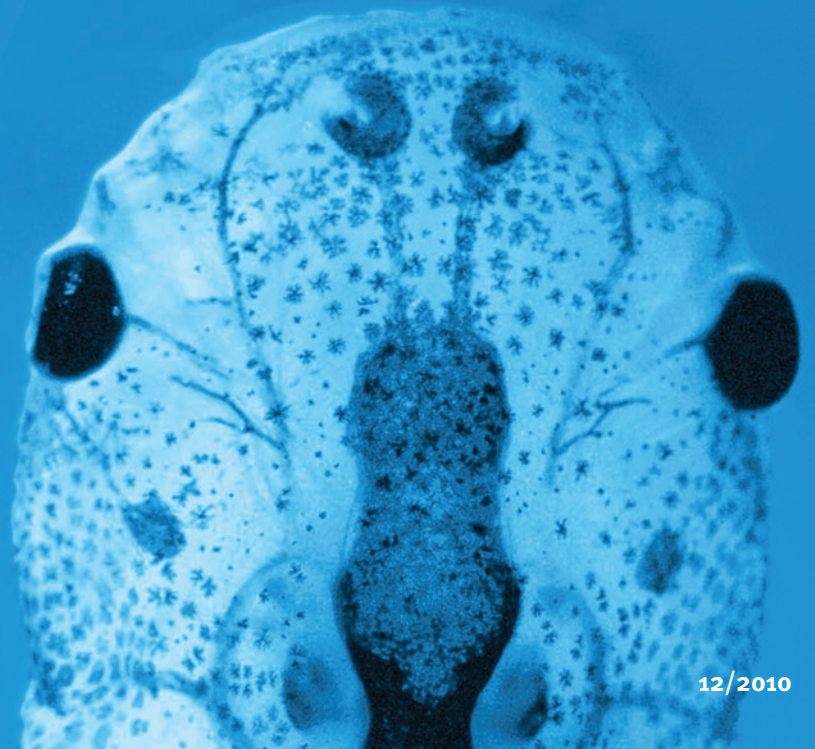
## Wissenschaftler im Porträt

Udo Ernst



## Mitteilungen und Termine

Bernstein Konferenz 2010 – Neues aus den Ausbildungsprogrammen





# Schneller Code für Gerüche

Über die Sinne wahrnehmen ist ein schneller Prozess. Ein Blick genügt, um eine komplexe Szene visuell zu erfassen. Ohne die Fähigkeit des Ohres, Signale zeitlich enorm aufzulösen, wäre ein Verständnis von Sprache und Musik gar nicht möglich. Aber nicht nur der Hör- und Sehsinn zeichnen sich durch schnelle Reaktionen aus. Neuere Studien zeigen: Auch Gerüche können Mensch und Tier in weniger als einer Sekunde erkennen.

Wissenschaftler aus der Universitätsmedizin Göttingen haben nun herausgefunden, welchen neuronalen Mechanismus das Gehirn nutzt, um sehr schnell auf Gerüche reagieren zu können. Sie konnten nachweisen: Die Information über einen Duftstoff ist schon in der zeitlichen Abfolge der jeweils ersten neuronalen Impulse einer Population von Neuronen enthalten. Die Forschungsergebnisse hat Stephan Junek im Rahmen seiner Doktorarbeit gewonnen. Die Untersuchungen dazu fanden im Labor von Detlev Schild, Direktor der Abteilung Neurophysiologie und Zelluläre Biophysik, Universitätsmedizin Göttingen, statt. Beide Wissenschaftler sind auch am Bernstein Zentrum Göttingen und am DFG-Forschungszentrum Molekularphysiologie des Gehirns (CMPB) beteiligt.

Damit wir unsere Umwelt wahrnehmen können, muss jeder Sinneseindruck im Gehirn in Aktivität von Nervenzellen übersetzt werden. Die Göttinger Wissenschaftler haben untersucht, auf welche Weise die Information über Gerüche im räumlich-zeitlichen Muster der entsprechenden Nervenimpulse enthalten ist. Kommt es auf die Zahl der neuronalen Impulse an, die jede Zelle aussendet? Oder auf das genaue Timing einzelner Impulse? Dazu haben sie die Vorgänge bei Kaulquappen des afrikanischen Krallenfrosches näher unter die Lupe genommen. Sie untersuchten die neuronale Aktivität des „Riechkolbens“. Dies ist die Gehirnregion, die für die Verarbeitung von Informationen

*Übersicht über den vorderen Hirnteil und die Nase der Larve (Kaulquappe) des afrikanischen Krallenfrosches *Xenopus laevis*.*



© CMPB

für den Geruchssinn zuständig ist. Dabei konzentrierten sie sich auf die „früheste“ Information, die jedes Neuron übermittelt, nämlich den Zeitpunkt des ersten neuronalen Impulses nach Gabe des Duftstoffes, die so genannte Erstspike-Latenz.

Die Wissenschaftler präsentierten dem Geruchssystem eine Vielzahl von Reizen und analysierten die gemessenen Zeiten bis zum ersten „Feuern“ der Nerven (so genannte „Erstspike-Latenzen“) mithilfe zeitlich hochauflösender optischer Messungen in Dutzenden Nervenzellen gleichzeitig. Es zeigte sich, dass bestimmte Duftstoffe jeweils ein für sie charakteristisches Verzögerungsmuster hervorrufen. In einem nächsten Schritt konnten die Forscher zeigen, dass es auch möglich ist, einzig auf Grund des gemessenen Musters auf den Duftstoff zurückzuschließen. Die Wissenschaftler gehen daher davon aus, dass Verzögerungsmuster wesentlich dafür sind, um Gerüche sehr schnell erkennen zu können.

„Bisher war es die herrschende Meinung unter Neurowissenschaftlern, dass andere Aspekte neuronaler Aktivität – und nicht die ‚Erstspike-Latenzen‘ – den Code im Gehirn darstellen“, sagt Prof. Detlev Schild. „Unsere Forschungsergebnisse zeigen, dass die Duftinformationen in den Latenzen der Nervenzellen im Riechkolben enthalten sind. Damit stellen sich nun eine Reihe neuer Fragen. Vor allem gilt es herauszufinden, wie nachgeschaltete Hirnregionen den Latenz-Code verstehen können.“

[Junek S, Kludt E, Wolf F, Schild D. \(2019\): Olfactory coding with patterns of response latencies. Neuron 67, 5: 872-884.](#)



# Neuronen sind schnelle Rechenkünstler

Das Gehirn verarbeitet Information in Form von elektrischen Impulsen. Jedes Neuron empfängt Impulse tausender vorgeschalteter Zellen, von denen jeder die Spannung über der Membran des Neurons um einen kleinen Betrag ändert. Erreicht die Spannung einen Schwellwert, so sendet das Neuron selbst einen Impuls aus, entlädt sich und der Vorgang beginnt von Neuem.

Wissenschaftler um Stefan Rotter vom Bernstein Center Freiburg und Markus Diesmann vom RIKEN Brain Science Institute haben nun herausgefunden, welche Vorteile Nervenzellen aus ihrer impulsartigen Sprache ziehen: Die Kommunikation ist schneller als gedacht. Bereits einzelne Zellen können komplexe Operationen ausführen und sind optimal dazu geeignet, viele Signale gleichzeitig zu verarbeiten.

Wie konnte dies der gängigen Theorie entgehen? Da ein Neuron in jeder Sekunde zehntausende kleiner Impulse empfängt, wurde vereinfachend angenommen, dass jeder Impuls einen so verschwindend kleinen Effekt hat wie ein Regentropfen im Ozean. Jedoch gibt es im Leben eines Neurons Situationen, in denen ein einzelner Impuls entscheidend sein kann. Zur Veranschaulichung ziehen die Wissenschaftler um Diesmann das Bild des „Shishi Odoshi“ – die japanische Wasserwippe – im Regen heran. Sobald der Wasserstand in dem Bambusrohr zu einem Übergewicht des offenen Endes führt, kippt das Shishi Odoshi und entleert sich, gleich der Spannungsentladung eines Neurons beim Aktionspotential. Hier bewirkt also ein einzelner, letzter Tropfen das sofortige Kippen und Ausleeren, entsprechend einer instantanen Antwort eines Neurons auf den letzten einkommenden Impuls. Die neue Theorie der Wissenschaftler berücksichtigt diesen „letzten Tropfen“ und löst damit die Widersprüche zwischen Simulationsergebnissen

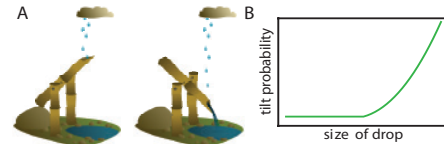


Bild:  
Susanne Kunkel  
Idee:  
Johanna Derix

*A: Shishi Odoshi als Analogie zu neuronaler Aktivität. Regentropfen entsprechen eingehenden Impulsen, das Umkippen der Impuls-Aussendung und ein kleines Loch einem Leckstrom. B: Die Kippwahrscheinlichkeit steigt mit wachsender Tropfengröße überproportional an - das Shishi Odoshi arbeitet nicht-linear.*

und der traditionellen Theorie auf. Eine Überprüfung der neuen Theorie wurde erst durch die Entwicklung von neuartigen, hochpräzisen Simulationsalgorithmen ermöglicht.

Berücksichtigt man noch eine weitere Eigenschaft der Neuronen, erklärt die neue Theorie auch, warum ein Neuron mehr kann als nur addieren. Ein kleiner Leckstrom führt zu einer kontinuierlichen Entladung des Neurons, entsprechend einem winzigen Loch am Boden des Shishi Odoshi. Kommen nun zwei Tropfen gleichzeitig, so kippt das Shishi Odoshi mit mehr als der doppelten Wahrscheinlichkeit, die neuronale Antwort ist „nicht-linear“. Diese Nichtlinearität ist die Basis für komplexere mathematische Operationen, wie z.B. Multiplikationen. Auch hilft die Theorie zu verstehen, wie ein Neuron die einprasselnden Impulse sinnvoll verarbeiten kann. Sie zeigt, dass ein Neuron erst dann optimal arbeitet, wenn es einer genügenden Anzahl von Impulsen ausgesetzt ist. Der Grund ist der gleiche wie bei dem Shishi Odoshi: Ein einzelner Regentropfen kann ein leeres Shishi Odoshi niemals zum Umkippen bringen. Nur im Beisein vieler Tropfen kann ein einzelner ausschlaggebend sein.

Welchen Einfluss hat nun die schnelle, nichtlineare Antwort der Nervenzellen auf die Funktionsweise des Netzwerks als Ganzes? Wie wirken sich diese Eigenschaften auf die Lernfähigkeit großer Netzwerke aus? Diese Fragen kann Diesmanns Arbeitsgruppe nun angehen.

[Helias et al. \(2010\): PLoS Comput Biol 6\(9\): e1000929.](#)

[Hanuschkin et al. \(2010\): Front. Neuroinform. 4:113.](#)

[www.nest-initiative.org](http://www.nest-initiative.org)



# Wahrnehmung bewegter Bilder

Fällt ein Lichtreiz auf die Netzhaut des Auges, werden innerhalb von wenigen Zehntel Millisekunden Millionen von Nervenzellen im Gehirn aktiviert. Jede Nervenzelle in der primären Sehrinde erhält dabei mehrere Tausend Signale sowohl von benachbarten als auch von weit entfernten Zellen, und sendet ebenso viele Signale aus. Wissenschaftler der Ruhr-Universität Bochum und der Bernstein Gruppe für Computational Neuroscience ist es nun gelungen, das komplexe Zusammenspiel verschiedener Zellen in einem Computermodell zu beschreiben, das auf weitreichenden Interaktionen zwischen Nervenzellen aufbaut. Das Modell erklärt unter anderem, wie Nervenzellen von Nachbarn „vorgewarnt“ werden, so dass sie Reize schneller verarbeiten können.

Ausgangspunkt für die Forschungen ist ein Phänomen, das die Wahrnehmungspsychologie „line motion“-Illusion nennt: bekommt ein Betrachter kurz hintereinander ein Quadrat und ein langgezogenes Rechteck gezeigt, nimmt er eine graduelle Bewegung wahr, als ob sich das Quadrat zu einem Rechteck streckt. Die Illusion kommt dadurch zustande, dass die Präsentation des Quadrates eine lokale Aktivierung im Gehirn auslöst, die sich rasch wellenförmig ausbreitet. Diese Aktivitätswellen sind zum größten Teil unterschwellig und daher nicht wahrnehmbar. Nur wenn kurze Zeit später ein zweiter, balkenförmiger Lichtreiz erscheint, wird die Aktivitätswelle nach und nach überschwellig.

Wissenschaftlern um Dirk Jancke gelang nun die Darstellung dieser komplexen Interaktionsdynamiken in einem Computermodell. Sie nutzten dazu ein neuronales Feld, in dem simulierte Nervenzellen durch die Reichweiten ihrer Wechselwirkungen beschrieben werden: Eng benachbarte Zellen sind durch starke, weiter entfernte durch schwache Kopplungen charakterisiert.

Zwei Schichten dieser Nervenzellgruppen, eine erregende und eine hemmende Schicht, sind so verschaltet, dass ein lokaler Erregungseingang eine sich schnell ausbreitende und wieder abklingende Aktivierung erzeugt. Im diesem Modell führen die weitreichenden Wechselwirkungen zu einer Voraktivierung entfernter Nervenzellen.

Solche Voraktivierungen könnten eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung bewegter Objekte spielen. Denn durch neuronale Verarbeitungszeiten erfährt das Gehirn von Ereignissen in der Außenwelt stets mit Verzögerung. Dank der weitreichenden Interaktionen werden Nervenzellen gewissermaßen „vorgewarnt“, sind schneller aktivierbar und können dadurch wertvolle Verarbeitungszeit einsparen.

Das Modell bietet eine mathematische Beschreibungsebene, die es erlaubt darzustellen, wie das Gehirn externe Ereignisse nicht nur abbildet, sondern durch Wechselwirkung zwischen Nervenzellen „interaktive“ Informationsverarbeitung betreibt und in bestimmten Grenzfällen das erzeugt, was wir Illusionen nennen. Die wichtige zukünftige Herausforderung ist der Einsatz solcher Modelle für komplexere visuelle Reizkonstellationen. Ein wesentlicher Vorteil des Konzepts könnte dabei sein, weitreichende Gehirnprozesse von der Aktivität einzelner Nervenzellen zu abstrahieren und so Funktionen des gesamten Netzwerkes mathematisch handhabbar zu machen.

Text: Dirk Jancke / Pressestelle RUB

Die „line-motion“-Illusion. Zeigt man Probanden in kurzer Folge ein Quadrat und einen Balken (links), nehmen sie eine Schein-Bewegung wahr (rechts).

Markounikau et al. (2010): PLoS Comput. Biol. 6, e1000919



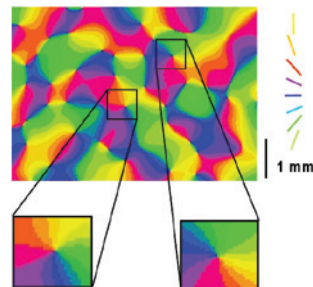


# Selbstorganisation statt Umwelt und Genen

Neben Umwelteinflüssen und genetischen Faktoren spielt die Selbstorganisation eine entscheidende Rolle bei der Hirnentwicklung. Zu diesem Ergebnis kommt ein internationales Forscherteam um Fred Wolf und Siegrid Löwel (Bernstein Zentrum und Bernstein Fokus Neurotechnologie Göttingen, Bernstein Kooperation, Bernstein Fokus Lernen). In den Gehirnen von Frettchen, Spitzhörnchen und Buschbabys entdeckten die Wissenschaftler eine überraschende Ähnlichkeit: Die Anordnung der Nervenzellen in den Sehrinden folgt exakt demselben Design. Weder frühe Umwelteinflüsse noch Vererbung können diesen Befund erklären. Mit Hilfe eines mathematischen Modells jedoch, das beschreibt, wie sich neuronale Schaltkreise im Gehirn selbstorganisiert entwickeln, konnten die Wissenschaftler die Gehirnmarchitektur exakt vorhersagen.

Nervenzellen in der Sehrinde reagieren auf definierte Bildelemente wie Kanten und Konturen. Jede Zelle hat dabei eine so genannte Orientierungspräferenz: Sie ist auf bestimmte Kantenorientierungen – etwa horizontale oder schräge Kanten – spezialisiert. Stellt man Zellen gleicher Spezialisierung in derselben Farbe dar, erhält man so die Karte der Orientierungspräferenz. Das fundamentale Strukturelement dieser Karten, das sich über die Sehrinde tausendfach wiederholt, bezeichnen Forscher als „pinwheel“ (Windrad), denn Gebiete derselben Orientierungspräferenz treffen an einem Punkt zusammen, wie die Flügel eines Spielzeug-Windrades.

Während frühere Arbeiten erwarten ließen, dass die Verteilungen der Windräder in verschiedenen Arten unterschiedlich sein sollten, fanden die Forscher, dass sie sich bei Frettchen, Spitzhörnchen und Buschbaby verblüffend ähneln. Auf einen vererbten genetischen Bauplan läßt sich



Falschfarben-Karte der Orientierungspräferenzen in der Sehrinde eines Frettchens mit zwei vergrößerten pinwheels (Windrädern).

@ MPI für Dynamik und Selbstorganisation.

Kaschube et al. (2010): DOI: 10.1126/science.1194869.

dies wohl nicht zurückführen. Die Stammbäume dieser Arten haben sich schon vor 65 Millionen Jahren voneinander getrennt, und es gibt deutlich näher verwandte Säugetiere, die verschieden strukturierte Sehrinden aufweisen. Ebenso wenig können ähnliche Erfahrungen während der Hirnentwicklung eine Erklärung liefern, denn die Tierarten leben unter völlig verschiedenen Umweltbedingungen.

Am besten lassen sich die ähnlichen Strukturen durch Selbstorganisationsprozesse erklären, durch die sich die Karten der Orientierungspräferenz nach der Geburt nach und nach wie von selbst ausbilden. Die mathematische Analyse neuronaler Selbstorganisation zeigte, dass bereits wenige Voraussetzungen ausreichen, um das beobachtete „quasiperiodische“ Muster mit Windrädern hervorzubringen, so etwa das Vorliegen von direkten Verbindungen zwischen weit entfernten Nervenzellen, über die sich die Nervenzellen während der Hirnentwicklung aufeinander abstimmen.

Beispiele für Selbstorganisationsprozesse sind etwa die La-Ola-Welle oder Stop-and-Go-Wellen im Autoverkehr. Hier gibt es weder einen versteckten „Lenker“, noch ein „Drehbuch“, das alle Systemelemente (die einzelnen Fußballfans oder Autos) steuert. Vielmehr entstehen die Bewegungen aus den Wechselwirkungen zwischen den Elementen. Die neuen Ergebnisse zeigen, dass solche Wechselwirkungen bei der Selbstorganisation nicht nur konzertiertes Verhalten von Fußballfans oder Autos, sondern auch die Ausbildung von Karten in ihren Gehirnen erklären können.

Text nach Birgit Krummheuer, Fred Wolf (gekürzt).



# Unsichtbare Signale lehren uns das Sehen

Wahrnehmungsanpassungen geschehen bei allen unseren Sinnen. Massimiliano Di Luca und Marc Ernst vom Bernstein Zentrum Tübingen und dem Max-Planck-Institut für Biologische Kybernetik haben zusammen mit ihrem Kollegen Benjamin Backus von der State University of New York entdeckt, dass sich die Wahrnehmung nicht nur graduell anpasst, sondern dass ganz neue Assoziationen erlernt werden können - ständig und automatisch. „Anders wäre es nicht zu erklären, dass selbst unsichtbare Signale das Sehverhalten verändern“, sagt Marc Ernst, Leiter der Arbeitsgruppe für Multisensorische Wahrnehmung am Max-Planck-Institut. „Um die Welt wahrzunehmen wie sie ist, muss jedes Baby diesen Prozess wiederholt durchlaufen und neue, vorerst nicht wahrnehmbare Signale mit bekannten Sinneseindrücken kombinieren.“

Wenn neue Sinnesreize anderen, bereits bekannten Reizen entsprechen, lernt unser Gehirn diese Überschneidung. Es nutzt diese dann, um die Wahrnehmung nachhaltig zu prägen. Solche Überschneidungen sind von Vorteil, da sie die Wahrnehmung stabiler machen – fällt einmal ein Signal aus, kann das Gehirn immer noch auf das andere zurückgreifen. Massimiliano Di Luca, Marc Ernst und Benjamin Backus haben nun festgestellt, dass solche neuen Assoziationen ständig und automatisch ablaufen, ohne kognitive Einflüsse wie zum Beispiel Bewusstsein oder Aufmerksamkeit. Dazu nutzten sie einen Trick und kombinierten ein unsichtbares visuelles Signal mit einem bereits etablierten Signal.



© Massimiliano Di Luca, MPI für Biologische Kybernetik, Tübingen

Aber was ist ein unsichtbares visuelles Signal? Wir nehmen die Räumlichkeit der Welt mithilfe beider Augen wahr. Dabei kann es vorkommen, dass die Größe der Abbildung in den beiden Augen leicht unterschiedlich ist, zum Beispiel wenn sich ein Objekt näher an dem einen Auge als dem anderen befindet. Diesen Größenunterschied zwischen den Augen nehmen wir nicht bewusst wahr – er ist unsichtbar. Massimiliano Di Luca und seine Kollegen nutzten diesen Größenunterschied und kombinierten ihn mit der Umdrehungsrichtung eines aus Linien aufgebauten, rotierenden Zylinders (Abbildung). Je nach Größenunterschied war die Umdrehungsrichtung entweder nach oben oder nach unten gerichtet. Zum Test dieser erlernten Assoziation nutzten die Wissenschaftler nun eine Version des Zylinders, bei der die Drehrichtung nicht eindeutig zu erkennen war. „Kombiniert mit dem neu erlernten, unsichtbaren Signal war es jedoch klar: War das Bild im linken Auge etwas größer, drehte sich der Zylinder subjektiv nach oben“, erzählt Massimiliano Di Luca. „Und war das Bild im rechten Auge etwas größer, drehte er sich subjektiv nach unten.“ „Damit war bewiesen, dass das neue unsichtbare Signal einen Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung erlangt hat“, bestätigt Benjamin Backus.

Diese Studie unterstreicht die Plastizität unseres Gehirns und kann damit möglicherweise auch wichtige Hinweise für die Rehabilitation liefern. „Möglicherweise hilft unsere Studie auch besser zu verstehen, wann und unter welchen Bedingungen – beispielsweise nach einem Schlaganfall, wenn Teile des Gehirns ausfallen – solch ein Ausfall mithilfe neuer Assoziationen teilweise kompensiert werden kann“, so Ernst.

*Text: Marc Ernst*

[Di Luca et al. \(2010\): Current Biology 20 \(20\): 1860-1863](#)

*Ein Zylinder aus horizontalen Linien: Mit Hilfe einer speziellen Brille werden die blauen Linien nur vom rechten Auge gesehen, die roten nur vom linken.*

## Dem Code des Gehirns auf der Spur

Über fünfzig Jahre währt bereits die Debatte, wie im Gehirn Informationen codiert werden, um sie zuverlässig von einer Hirnregion zur nächsten weiterzuleiten. Die vorgeschlagenen Codierungssysteme schienen sich gegenseitig auszuschließen. Freiburger Forscher konnten nun zeigen, dass sich bisherige Studien mit Extremfällen beschäftigt hatten und im Gehirn beide Codes unter bestimmten Bedingungen parallel zum Einsatz kommen können.

Eines der Rätsel, die das Gehirn den Neurowissenschaftlern aufgibt, ist die Frage nach dem Code, mit dem sich Nervenzellen untereinander austauschen. Dass die Grundeinheit der Kommunikation im Nervensystem pulsartige Schwankungen der elektrischen Spannung an einer Nervenzelle sind, ist seit über hundert Jahren bekannt. Aber wie diese so genannten Aktionspotenziale zu einem Code zusammengesetzt werden, um Informationen zu übermitteln, wird noch immer heiß debattiert. Zwei mögliche Codes sind dabei im Rennen. Diese basieren einerseits auf der Rate der Aktionspotenziale, andererseits auf den Zeitpunkten ihres Auftretens.

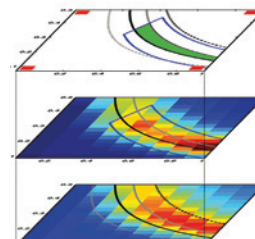
Die Hirnforschung hat es nicht leicht, die Frage nach dem tatsächlich verwendeten Code zu beantworten. Sogar Insektengehirne sind zu komplex, um heutzutage durch Experimente die verwendete Verschlüsselungsform bestimmen zu können. Theoretische Ansätze, bei denen diese und andere Vorgänge im Gehirn anhand von Computermodellen durchgespielt werden, nehmen daher in den modernen Neurowissenschaften einen wichtigen Platz ein.

Solche Modelle ließen laut früherer Studien bislang nur einen von beiden Codes zu: Die Art, wie Nervenzellen sich verbinden, erlaubte entweder, dass die Rate der Impulse

zuverlässig weitergeleitet wurde, oder aber die Zeitpunkte wurden präzise übermittelt. Arvind Kumar, Stefan Rotter und Ad Aertsen vom Bernstein Center Freiburg konnten nun zeigen, dass unter bestimmten Bedingungen beide Codierungsformen gleichzeitig eingesetzt werden können. Die Wissenschaftler belegen, dass frühere Studien die mögliche Koexistenz beider Codes nicht erkannt hatten, da die zugrunde liegenden Modelle an entgegengesetzten Enden eines Spektrums biologisch möglicher Bedingungen lagen. Jetzt zeigen sie, dass sich diese früheren Ergebnisse alle in ein umfassenderes Konzept der Informationsweiterleitung einbinden lassen – und dass es somit durchaus möglich ist, beide Codes gleichzeitig innerhalb desselben Nervennetzes einzusetzen. Indem sie nun erstmalig die hierfür nötigen Bedingungen identifiziert haben, zeigen die Forscher auch auf, worauf bei der Suche nach diesen Codes in „echten“ Gehirnen das Augenmerk künftiger Experimente liegen sollte.

*Text: Gunnar Grah, Bernstein Center Freiburg*

[Kumar A, Rotter S, Aertsen A \(2010\): Nat Rev. Neurosci. 11: 615-27.](#)



*Neuronale Netzwerke mit verschiedenen Kombinationen von Anzahl und Stärke der Nervenzell-Verbindungen lassen sich als Fläche darstellen, wobei jedes Rechteck für ein Netzwerk mit bestimmten Eigenschaften steht. Die Bereiche, in denen asynchrone (unten) bzw. synchrone (Mitte) Signale transportiert werden können, überlappen für (grüne Markierung, oben). Die Netzwerke in diesem Bereich können also sowohl einen Raten- als auch einen Zeitcode verwenden.*



# Udo Ernst

### Wie wir die Welt sehen

„Nicht zu abstrakt“ sollte das Thema der Diplomarbeit sein, „etwas mit Entsprechung im täglichen Leben“, sagt Udo Ernst, heute Wissenschaftler an der Universität Bremen und Träger des Bernstein Preises 2010. Und so kam der theoretische Physiker auf die Hirnforschung. Zur Diplomarbeit ging er in die Arbeitsgruppe von Theo Geisel und blieb auch zur Doktorarbeit dort – zunächst an der Universität Frankfurt und später am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen. Die Arbeitsgruppe befasst sich mit Fragen der nichtlinearen Dynamik, mit komplexen Systemen, deren Verhalten sich nicht ohne weiteres vorhersagen lässt. Ein solches System ist das Nervensystem, der Forschungsschwerpunkt von Udo Ernst. Bei den Neurowissenschaften ist er bis heute geblieben und auch dem Personenkreis seiner Diplom- und Doktorarbeit ist er noch immer treu. In Bremen forscht er in der Arbeitsgruppe von Klaus Pawelzik, mit dem er schon in Göttingen bei Theo Geisel eng zusammengearbeitet hat.

Heute befasst sich Udo Ernst mit dem Sehsystem. Wie wir die Welt sehen hängt, philosophisch betrachtet, sehr von uns selbst ab – und diese Einsicht trifft auch auf die Sinnesverarbeitung im Gehirn zu. Damit wir sehen können, repräsentiert das Gehirn seine visuelle Umwelt in Form von elektrischer Aktivität der Nervenzellen. In der Tat erschafft es dabei aber nicht ein genaues Abbild seiner Umwelt, sondern optimiert deren Repräsentation auf den jeweiligen Kontext. Wenn wir zum Beispiel etwas Bestimmtes suchen, blenden wir andere Dinge aus. Auch unser Vorwissen greift in die Bildverarbeitung ein – wir erkennen Formen, die uns bekannt sind, sehr viel schneller und ergänzen dabei fehlende Informationen. Wie aber greifen diese Faktoren, Wissen und Kontext, in die Bildverarbeitung ein? Dies wird Udo Ernst im Rahmen des Bernstein Preis Projektes untersuchen.

*Beim Festvortrag zur Verleihung des Bernstein-Preises erklärt Udo Ernst die "visuelle Schreibmaschine".*



Bild: Ulrich Dahl, TU Berlin

Schwerpunkt der Forschung ist dabei die Frage, wie wir lokale Merkmale einer Szene zu komplexeren Formen und Objekten integrieren – wie etwa einzelne, aufeinander ausgerichtete Kanten zu ganzen Konturen: „Wenn wir zum Beispiel einen Bus beobachten, der hinter einem Baum entlangfährt, sind die Konturen unterbrochen“, erklärt Ernst. „Dennoch setzen wir das Bild in Gedanken sehr schnell zusammen, unterbrochene Linien sehen wir als Einheit“. Beeinflusst wird dieser Prozess davon, was wir auf einem Bild erwarten oder auf was wir uns gerade konzentrieren. Suchen wir nach horizontalen Linien, nehmen wir beispielsweise eine vertikale Linie wesentlich schlechter wahr. Wie diese Fähigkeit, Konturen zusammensetzen, davon abhängt, auf was wir unsere Aufmerksamkeit lenken, untersucht Ernst in experimentellen und theoretischen Forschungsansätzen, die sich gegenseitig befruchten.

In einem ersten Ansatz werden Versuchspersonen Bilder mit vielen kurzen Kantenelementen gezeigt und sie erhalten die Aufgabe, darin versteckte einfache Formen aus längeren Konturen zu entdecken. Ernst verändert dann einzelne Parameter in den Bildern, wie die Ausrichtung der Kanten relativ zur Kontur oder ihren Abstand zueinander. Untersucht wird dabei die Frage, nach welchen Gesetzmäßigkeiten Bildelemente integriert werden und wie sich dies ändert, wenn der Proband die Aufgabe bekommt, sich auf bestimmte Aspekte zu konzentrieren.

In einem zweiten Ansatz werden Makaken vor ganz ähnliche Aufgaben gestellt, auch sie sollen einfache Formen erkennen. Gleichzeitig wird bei den Tieren die Aktivität von Nervenzellen des visuellen Kortex gemessen. In einer bestimmten Region des Kortex, „V1“ genannt, reagieren Zellen auf Kanten einer bestimmten Orientierung. Diese Zellen sind dann über mehrere Ebenen so verschaltet, dass Zellen in einer anderen Region, „V4“, komplexere Formen erkennen. In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Andreas Kreiter wird in V1 und in V4 die



## WISSENSCHAFTLER IM PORTRÄT

neuronalen Aktivität gemessen und untersucht werden, wie die Integration von Kanten zu Formen durch Aufgabenstellung und Aufmerksamkeit beeinflusst wird.

Ernst geht von der Hypothese aus, dass Faktoren wie Aufmerksamkeit und Reizkontext die neuronale Aktivität auf allen Stufen der Bildverarbeitung gleichzeitig beeinflussen. Wie kann ein solcher Einfluss aussehen? Wird ein kontinuierliches neuronales Signal benötigt, oder reicht ein kurzer Impuls, um das Netzwerk von einem Zustand in einen anderen zu bewegen und somit gezielt eine bestimmte Verarbeitungsfunktion auszuwählen? Diese Fragen werden Ernst mithilfe von computergestützten Modellen neuronaler Netzwerke analysieren. Ergebnisse aus den experimentellen Studien werden in die Computermodelle einbezogen.

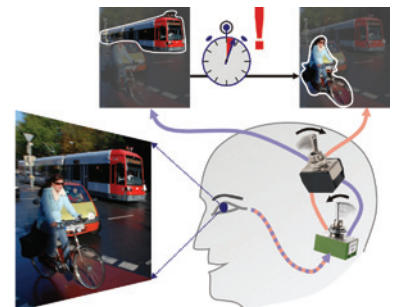
In seiner Forschung sieht Ernst mehrere Anwendungsmöglichkeiten. Gelähmte Menschen, die nur noch ihre Augen bewegen können, kommunizieren schon heute über eine Art visuelle Schreibmaschine: Sie bewegen ihre Augen von Buchstabe zu Buchstabe. Dieser Vorgang ließe sich wesentlich beschleunigen, wenn man aus der Hirnaktivität der Patienten bereits auslesen könnte auf welchen Buchstaben sie gerade ihre Aufmerksamkeit richten. Dazu werden Ernsts Forschungsarbeiten einen Beitrag leisten.

Eine andere Anwendung, die allerdings hohe technologische Anforderungen stellt, ist eine neuartige kortikale Sehprothese. Bei bisherigen Ansätzen, Sehfunktion wieder herzustellen, wird die Neuroprothese in die Retina eingesetzt, um dort neuronale Funktionen zu ersetzen. Wenn der Sehnerv geschädigt ist, helfen solche Prothesen nicht. Im Forschungsschwerpunkt „Neurotechnologie“ der Universität Bremen wird daher die Möglichkeit diskutiert, eine Neuroprothese direkt in die Sehrinde des Gehirns einzusetzen. Die Prothese würde Bilddaten

analysieren und dementsprechend die Zellen in der Sehrinde anregen, so dass ein bestimmtes Sehempfinden vermittelt wird. Voraussetzung dafür ist allerdings ein besseres Verständnis der Arbeitsweise der Nervenzellen in der Sehhirnrinde, das ein Hauptziel der geplanten Projekte des Preisträgers ist.

„Ich wollte immer etwas verstehen lernen, das noch nicht viele Wissenschaftler angefasst haben“, sagt Udo Ernst. Dafür braucht man die Freiheit, neue Wege zu gehen und eigene Gedanken zu entwickeln, und die hat er in den Arbeitsgruppen von Theo Geisel und von Klaus Pawelzik immer bekommen. „Sie haben mich immer optimal unterstützt, mir Kontakte vermittelt und, wenn ich einen Forschungsaufenthalt im Ausland brauchte, um eine neue Idee zu verfolgen, haben sie mir das möglich gemacht“. Eine dieser Reisen führte ihn nach Paris an die École Normale Supérieure zu Sophie Denève. Während Ernst in der Arbeitsgruppe von Theo Geisel eher einen „Bottom-Up“-Ansatz verwendete, bei dem von den einzelnen Elementen und Eigenschaften eines Netzwerks ausgegangen wird, um dessen Dynamik und mögliche Funktion zu verstehen, verfolgt die Gruppe von Denève einen „Top-Down“-Ansatz. Hier wird von den Leistungen des Gehirns ausgegangen und gefragt, welche Verschaltungen und kollektiven Mechanismen dem zugrunde liegen könnten. Die Kombination beider Ansätze ist es, die die Forschungsarbeit von Udo Ernst kennzeichnet.

*Innerhalb kurzer Zeit kann unser Gehirn zwischen unterschiedlichen Verarbeitungsstrategien umschalten: Während wir gerade damit beschäftigt sind, nach der richtigen Straßenbahnlinie Ausschau zu halten, hilft es uns nur Millisekunden später, einem nahenden Fahrrad auszuweichen.*





## MITTEILUNGEN UND TERMINE

### Bernstein Konferenz 2010

Vom 27.09. bis 01.10.2010 fand die 6. Bernstein Conference on Computational Neuroscience in Berlin statt. Die Konferenz wurde vom Bernstein Fokus Neurotechnologie Berlin unter der Leitung von Klaus-Robert Müller organisiert. Unter den ca. 270 Teilnehmern waren neben 205 Mitgliedern des Bernstein Netzwerks 41 weitere Teilnehmer aus Deutschland und 26 internationale Teilnehmer aus dem restlichen Europa, Israel, den USA und Australien. Die Konferenzbeiträge wurden in *Frontiers in Computational Neuroscience* veröffentlicht. [http://frontiersin.org/events/Bernstein\\_Conference\\_on\\_Comput\\_1/1213/All%20Events](http://frontiersin.org/events/Bernstein_Conference_on_Comput_1/1213/All%20Events)



*Dr. Udo Ernst (links)  
Dr. Georg Schütte  
(rechts)*

#### **Bernstein Preis 2010 für Udo Ernst**

Als Auftakt und erster Höhepunkt der Konferenz übergab der Staatssekretär im Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Dr. Georg Schütte, den Bernstein Preis 2010 an Dr. Udo Ernst (Universität Bremen). Ziel des Bernstein Preises ist es, hervorragenden jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern „die bestmöglichen Rahmenbedingungen für ihre wissenschaftliche Karriere zu bieten und sie

für den Standort Deutschland zu gewinnen“, so Schütte. Der Bernstein Preis ist mit bis zu 1,25 Millionen € einer der höchstdotierten Nachwuchspreise (s. auch S. 8).

Quelle: [www.bmbf.de/press/2951.php](http://www.bmbf.de/press/2951.php)

#### **Brains for Brains Awards 2010**

Der Bernstein Computational Neuroscience e.V. vergab im Rahmen der Bernstein Konferenz 2010 zum ersten Mal drei „Brains for Brains“ Nachwuchspreise an Studenten, die schon vor Be-

ginn der Doktorarbeit zu einer begutachteten Publikation oder als Erstautor zu einem Konferenzabstract beigetragen haben. Die Preisträger sind: Ritwik Kumar Niyogi (Indien, z.Zt. Gatsby Computational Neuroscience Unit, UK), Costas Lagogiannis (Griechenland, z.Zt. University of Southampton, UK), Ramon Martinez Cancino (Kuba, Cuban National Bioinformatics Center). Die Preise (500 € Preisgeld, zusätzlich ein Reisestipendium zum Besuch der Konferenz und dreier deutscher Forschungseinrichtungen) wurden durch großzügige Spenden der Firmen Brain Products GmbH, Multi Channel Systems MCS GmbH, Thomas Recording GmbH und Circular Informationssysteme GmbH ermöglicht.

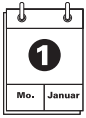
#### **Stipendiaten der Sloan-Swartz Zentren**

Im Rahmen des Deutsch-Amerikanischen Austauschprogramms zwischen dem Bernstein Netzwerk und den Sloan Swartz Zentren für Theoretische Neurobiologie finanzierte der Bernstein Fokus Neurotechnologie Berlin den drei Doktoranden/Postdocs Jonathan Caplan (Brandeis University), Daniel Marti (NYU) und Kris Chaisanguanthum (UCSF) die Teilnahme an der Bernstein Konferenz 2010.

#### **Eröffnung des neuen Graduiertenkollegs am BCCN Berlin**

Im Anschluss an die Bernstein Konferenz wurde das Graduiertenkolleg (GRK) „Sensory Computation in Neural Systems“ feierlich eröffnet. Nach Grußworten von Prof. Jörg Steinbach (Präsident der TU Berlin), Dr. Hans-Georg Husung (Staatssekretär in der Senatsverwaltung für Bildung, Wissenschaft und Forschung, Berlin) und Klaus Obermayer (Sprecher des GRK, Bernstein Zentrum Berlin) gaben international renommierte Sprecher (Alain Destexhe, Gif-sur-Yvette; Maneesh Sahani, London; Jan Koenderink, Delft) einen Einblick in ihre für das Graduiertenkolleg relevante Forschung.

[www.nncn.de/nachrichten/bernsteinkonferenz2010/](http://www.nncn.de/nachrichten/bernsteinkonferenz2010/)



## MITTEILUNGEN UND TERMINE

### Personalia



**Dario Farina** (vormals Aalborg Universität, Dänemark) hat einen Ruf auf die tenure track W3-Professur „Biomedizinische Neuroinformatik und -stimulation“ an der Georg-August-Universität Göttingen und dem Bernstein Fokus Neurotechnologie Göttingen angenommen.

Quelle: [www.uni-goettingen.de/de/191742.html](http://www.uni-goettingen.de/de/191742.html)  
s. auch: <http://person.hst.aau.dk/df/>



**Felix Franke** wurde für seine Doktorarbeit in der Arbeitsgruppe von Klaus Obermayer (Bernstein Zentrum Berlin und TU Berlin) mit dem Titel „Real Time Analysis of Neural Signals“ ein Chorafas Preis verliehen.

Quelle: <http://idw-online.de/pages/de/news393376>



**Tim Gollisch** wechselt vom Max-Planck-Institut für Neurobiologie in München-Martinsried und dem Bernstein Zentrum München an die Georg-August-Universität Göttingen, an der er die tenure track W3-Professur „Sensory Processing in the Retina“ übernimmt.

Quelle: [www.uni-goettingen.de/de/191742.html](http://www.uni-goettingen.de/de/191742.html)



**Rüdiger Krahe** (McGill University, Montreal, Kanada) verbringt seit August 2010 ein Forschungsjahr in der Gruppe von Bernstein Preisträger Jan Benda am Bernstein Zentrum München. Dort wird er zusammen mit Jan Benda und Jörg Henningerein System entwickeln, das die Statistik natürlicher sensorischer Szenen, wie sie schwach elektrische Fische in südamerikanischen Regenwaldflüssen erfahren, quantifiziert. Die Ergebnisse werden in Kombination mit begleitenden

*in vivo* elektrophysiologischen Untersuchungen und Modellierungen neue Einblicke in die elektrosensorische Navigation und Kommunikation dieser Fische ermöglichen.

Quelle:

[www.bccn-munich.de/people/scientists-2/rudiger-krahe](http://www.bccn-munich.de/people/scientists-2/rudiger-krahe)



**Siegrid Löwel** (vormals Friedrich-Schiller Universität Jena) hat einen Ruf auf die W3-Professur „Systemische Neurobiologie“ an der Georg-August-Universität Göttingen und dem Bernstein Fokus Neurotechnologie Göttingen angenommen. Löwel koordiniert bereits die Bernstein Kooperation „Aktionspotential-Kodierung“ sowie das Projekt „Visuelles Lernen“ im Bernstein Fokus Lernen.

[www.uni-goettingen.de/en/190976.html](http://www.uni-goettingen.de/en/190976.html)



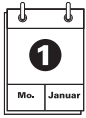
**Marianne Maertens** wird mit dem Nachwuchspreis des Regierenden Bürgermeisters von Berlin 2010 ausgezeichnet. Sie ist Postdoc in der Arbeitsgruppe von Felix Wichmann am Bernstein Zentrum Berlin und der Technischen Universität Berlin und erhält den Preis für ihre hervorragenden Leistungen bei der psychophysischen Untersuchung von Wahrnehmungsleistungen des Menschen.

Quelle: <http://idw-online.de/pages/de/news391707>



**Roland Memisevic** (ETH Zürich, Schweiz) hat einen Ruf als Juniorprofessor (W1) für künstliches Sehen und maschinelles Lernen der Goethe Universität Frankfurt akzeptiert. Die Stelle ist Teil des Bernstein Fokus Neurotechnologie Frankfurt.

[www.nncn.de/nachrichten/juniorprofessor/](http://www.nncn.de/nachrichten/juniorprofessor/)  
[www.cs.toronto.edu/~rfm/](http://www.cs.toronto.edu/~rfm/)

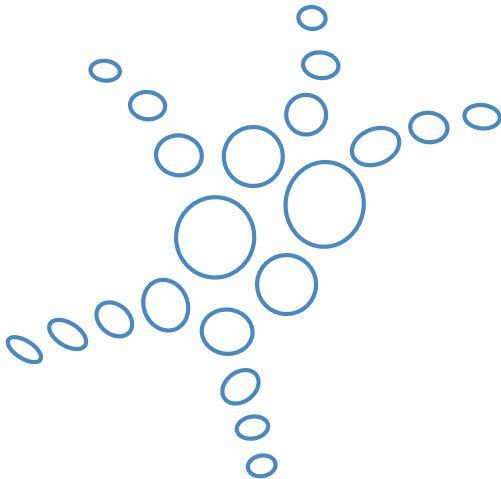


## MITTEILUNGEN UND TERMINE

### Neues Master/Promotions- Programm am Bernstein Zentrum Tübingen

Die neue „Graduate School of Neural Information Processing“ startet zum Wintersemester 2011/2012. Sie bietet eine forschungsorientierte Ausbildung in einem breiten Themenspektrum der Computational Neuroscience, wie z.B. Kodierungsprinzipien in der sensorischen Peripherie und ihre klinische Anwendung, Populationskodierung im primären sensorischen Kortex, perzeptuelle Inferenzmechanismen und multisensorische Integrationsprozesse. Weitere Themenfelder sind Gehirn-Computer Schnittstellen, Neuroprothetik, Rehabilitationsrobotik, Magnetoenzephalographie und funktionelle Magnetresonanztomographie. Bewerbungsfrist: Frühjahr 2011.

[www.neuroschool-tuebingen-comput.de](http://www.neuroschool-tuebingen-comput.de)



### Bartholdi-Preis für „Joint Master in Neuroscience“-Programm

Der trinationale Studiengang „Joint Master in Neuroscience“, der auf Anregung von Mitgliedern des trinationalen Forschungsnetzwerks NEUREX an den Universitäten Straßburg, Basel und Freiburg durchgeführt wird, wurde am 5. November mit dem Bartholdi-Preis für sein einzigartiges grenzüberschreitendes Lehrangebot ausgezeichnet. Der Freiburger Anteil des Studiengangs wird von Mitgliedern des Bernstein Centers Freiburg getragen.

Quelle: [www.prixbartholdi.com/D\\_prixequipepedagogique.html](http://www.prixbartholdi.com/D_prixequipepedagogique.html)

### NWG-Kurs mit neuen Impulsen

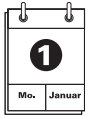
Vom 10.-15. Oktober fand am Bernstein Center Freiburg mit Unterstützung der Neurowissenschaftlichen Gesellschaft (NWG) der Kurs „Analysis and Models in Neurophysiology“ statt. Das bewährte Programm wurde durch eine offene Diskussion zwischen Teilnehmern und Dozenten ergänzt, in der konkrete Probleme und Fragestellungen im kleinen Kreis diskutiert werden konnten.

Quelle:

[www.bcf.uni-freiburg.de/events/conferences/101010-nwgcourse](http://www.bcf.uni-freiburg.de/events/conferences/101010-nwgcourse)

### DAAD-Förderung für PhD-Programm des Bernstein Center Freiburg (BCF)

Im Rahmen des DAAD-Förderprogramms „International promovieren in Deutschland“ erhält das BCF eine vierjährige Förderung seines Promotionsprogramms „Internationaler PhD in Computational Neuroscience und Neurotechnologie“. Das Programm treibt die Internationalisierung in der Doktorandenausbildung des BCF voran.



## MITTEILUNGEN UND TERMINE

### Termine

Termin	Titel	Organisation	URL
7.-11. März 2011, München	3rd G-Node Winter Kurs: Neural Data Analysis	M. Nawrot (BCCN Berlin), T. Wachtler (G-Node)	<a href="http://www.g-node.org/dataanalysis-course-2011">www.g-node.org/dataanalysis-course-2011</a>
23.-27. März 2011, Göttingen	9th Göttingen Meeting of the German Neuroscience Society (mit Bernstein Stand und von Bernstein Mitgliedern organisierten Symposien)	S. Korsching, M. Bähr, U. Heinemann, I. Zerr	<a href="http://www.nwg-goettingen.de/2011/">www.nwg-goettingen.de/2011/</a>
30. März bis 2. April 2011, Delmenhorst	Workshop: Computational Aspects of Learning	K. Pawelzik (BGCN Bremen, BFNL Sequenzlernen), U. Ernst (BGCN Bremen, BPCN 2010)	<a href="http://www.nncn.de/termine-en/workshopdelmenhorst">www.nncn.de/termine-en/workshopdelmenhorst</a>
19.-24. Juni 2011, Bertinoro, Italien	FENS-IBRO SfN School: Causal Neuroscience: Interacting with Neural Circuits (mit Bernstein Mitgliedern M. Brecht, H. Monyer)	G. Buszaki, M. Haesusser	<a href="http://www.nncn.de/termine-en/causalneuroscience">www.nncn.de/termine-en/causalneuroscience</a>
4.-6. Oktober 2011, Freiburg	Bernstein Konferenz 2011	U. Egert, A. Aertsen, F. Dancoisne, G. Grah, G. Jaeger, B. Wiebelt (BCCN /BFNT Freiburg), S. Cardoso (BCOS)	<a href="http://www.bc11.de">www.bc11.de</a>

## Das Bernstein Netzwerk

Bernstein Zentren für Computational Neuroscience (BCCN)  
Berlin – Koordinator: Prof. Dr. Michael Brecht  
Freiburg – Koordinator: Prof. Dr. Ad Aertsen  
Göttingen – Koordinator: Prof. Dr. Theo Geisel  
Heidelberg / Mannheim – Koordinator: Dr. Daniel Durstewitz  
München – Koordinator: Prof. Dr. Andreas Herz  
Tübingen – Koordinator: Prof. Dr. Matthias Bethge

Bernstein Fokus: Neurotechnologie (BFNT)  
Berlin – Koordinator: Prof. Dr. Klaus-Robert Müller  
Frankfurt – Koordinatoren: Prof. Dr. Christoph von der Malsburg, Prof. Dr. Jochen Triesch, Prof. Dr. Rudolf Mester  
Freiburg/Tübingen – Koordinator: Prof. Dr. Ulrich Egert  
Göttingen – Koordinator: Prof. Dr. Florentin Wörgötter

Bernstein Fokus: Neuronale Grundlagen des Lernens (BFNL)  
Visuelles Lernen – Koordinator: Prof. Dr. Siegrid Löwel  
Plastizität neuronaler Dynamik – Koordinator: Prof. Dr. Christian Leibold  
Gedächtnis und Entscheidungsfindung – Koordinator: Prof. Dr. Dorothea Eisenhardt  
Sequenzlernen – Koordinator: Prof. Dr. Onur Güntürkün  
Kurzzeitgedächtnis – Koordinator: Dr. Hiromu Tanimoto  
Komplexe Lernvorgänge – Koordinator: Prof. Dr. Christian Büchel  
Zustandsabhängigkeit des Lernens – Koordinatoren: PD Dr. Petra Ritter, Prof. Dr. Richard Kempfer  
Lernen von Verhaltensmodellen – Koordinator: Dr. Ioannis Iossifidis

Bernstein Gruppen für Computational Neuroscience (BGCN)  
Bochum – Koordinator: Prof. Dr. Gregor Schöner  
Bremen – Koordinator: Prof. Dr. Klaus Pawelzik  
Heidelberg – Koordinator: Prof. Dr. Gabriel Wittum  
Jena – Koordinator: Prof. Dr. Herbert Witte  
Magdeburg – Koordinator: Prof. Dr. Jochen Braun

Bernstein Kooperationen für Computational Neuroscience (BCOL)  
Berlin-Tübingen, Berlin-Erlangen-Nürnberg-Magdeburg, Berlin-Gießen-Tübingen, Berlin-Konstanz, Berlin-Aachen, Freiburg-Rostock, Freiburg-Tübingen, Göttingen-Jena-Bochum, Göttingen-Kassel-Ilmenau, Göttingen-München, München-Heidelberg

Bernstein Preis für Computational Neuroscience (BPCN)  
Prof. Dr. Matthias Bethge (Tübingen), Dr. Jan Benda (Munich), Dr. Susanne Schreiber (Berlin), Dr. Jan Gläscher (Hamburg), Dr. Udo Ernst (Bremen)

Projekt Komitee  
Vorsitzender des Bernstein Projektkomitees: Prof. Dr. Andreas Herz  
Stellvertretender Vorsitzender des Bernstein Projektkomitees: Prof. Dr. Theo Geisel

## Impressum

Herausgeber:  
Koordinationsstelle des  
National Bernstein Netzwerk Computational Neuroscience  
www.nncn.de, info@bcos.uni-freiburg.de

Text, Layout:  
Katrin Weigmann, Simone Cardoso de Oliveira,  
Kerstin Schwarzwälder (Mitteilungen und Termine)

Koordination:  
Simone Cardoso de Oliveira, Kerstin Schwarzwälder, Florence Dancoisne,  
Gunnar Grah, Margret Franke, Tobias Niemann, Gaby Schmitz, Imke Weitkamp, Judith Lam, Sandra Fischer, Ute Volbeh

Gestaltung:  
newmediamen, Berlin

Druck:  
Elch Graphics, Berlin

Das Bernstein Netzwerk für Computational Neuroscience wird vom  
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

*Titelbild: Übersicht über den vorderen Hirnteil und die Nase der Larve (Kaulquappe) des afrikanischen Krallenfrosches *Xenopus laevis* (s. Artikel S. 2).*

© modifiziert nach CMPB.