

Bernstein Network for Computational Neuroscience

Bernstein Newsletter



Industriekooperationen

Der menschliche Faktor beim Autofahren
Mit NEST vernetzt
Mit neuer Verstärkertechnik Neuronen zum Tanzen bringen
Vielstimmige Gehirnflüsterer
TMS: ein neuer Zugang zum Gehirn
Innovative Technik für unser sensibelstes Organ
Nah am Neuron, und doch beweglich
Mini-NIRS: neuer Einblick ins Gehirn
Bessere Prothesen für mehr Lebensqualität
Cochlea-Implantate verbessern
Neue Hörprothesen in der Mitte des Gehirns
Gute Verbindung? Mal Gehirn fragen



Termine

12/2012



Der menschliche Faktor beim Autofahren

Autofahren – wie von selbst steuert unser Gehirn dabei komplizierte Handlungsabfolgen, während wir nebenbei ganz entspannt dem Radioprogramm lauschen oder ein Gespräch mit unserem Beifahrer führen. Neurowissenschaftler interessiert, was wir an diesem Beispiel darüber lernen können, wie das Gehirn ganz allgemein Verhaltensleistungen steuert. „Es ist immer wieder überraschend, wie vielen abstrakten Regeln unsere Bewegungen folgen, obwohl wir subjektiv den Eindruck haben, uns ganz frei und unbeschränkt zu bewegen“, sagt Gregor Schöner vom Institut für Neuroinformatik der Ruhr-Universität und der Bernstein Gruppe Bochum. Beim Autofahren wurde zum Beispiel beobachtet, dass der typische Fahrer genau dann ein Brems- oder Überholmanöver einleitet, wenn die von ihm geschätzte verbleibende Zeit bis zum Kontakt mit dem Vordermann einen bestimmten Wert unterschreitet.

Solche Regeln erfassen die Wissenschaftler in mathematischen Formeln und integrieren sie in theoretische Modelle, die einen bestimmten Verhaltenskontext beschreiben. Schöner und seine Mitarbeiter erarbeiten so quantitative Fahrermodelle, die das typische Verhalten eines menschlichen Fahrers naturgetreu nachahmen und dabei lernfähig sind.

Um dafür die empirische Grundlage zu schaffen, lassen die Bochumer Forscher Gruppen von Versuchspersonen in Fahrsimulatoren in simulierten Umgebungen Auto fahren, wobei sie sich gegenseitig als Verkehr sehen. Das Ganze ähnelt einem Videospiel, ist aber bei weitem nicht so spannend. „Bei uns beschränken sich die Aufgaben meist auf so langweilige Dinge wie ‚Geschwindigkeit halten‘, ‚Spur halten‘ und ‚nicht kollidieren‘, nur manchmal ist auch Überholen erlaubt“, so Schöner. Im Simulator können die Forscher die Bezüge zwischen



der Fahrsituation und dem Fahrerverhalten optimal untersuchen, da beide gleichzeitig aufgezeichnet werden. So destillieren sie Regeln heraus, die bei allen Fahrern gleich sind, aber auch Unterschiede, die verschiedene Fahrertypen ausmachen.

Die Ankopplung an die Fahrsimulationsumgebung bekommen die Wissenschaftler von der aus ihrem Institut ausgegründeten Firma NISYS, mit der sie im Projekt „Lernen von Verhaltensmodellen“ des Bernstein Fokus Lernen zusammenarbeiten. Die Kunden von NISYS sind normalerweise Automobilhersteller oder deren Zulieferer. Sie nutzen intelligente Software-Lösungen von NISYS dazu, die Interaktionen von neu entwickelten elektronischen Kontroll- und Assistenzsystemen mit der Hardware in Simulationen zu testen, noch bevor sie in wirkliche Autos eingebaut werden. So können Kinderkrankheiten früh erkannt und behoben werden, was Kosten spart und Entwicklungszeiten verkürzt. Dieses „hardware in the loop“-Verfahren wird heute nicht nur bei hochgezüchteten Formel 1-Boliden, sondern auch in der serienmäßigen Automobilproduktion eingesetzt.

Ein menschlicher Fahrer kommt bei diesen Simulationen bisher meist nicht zum Einsatz. Dabei steuert ein Mensch sein Fahrzeug oft ganz anders als ein Computer. Menschliche Fehler stellen mit großem Abstand die häufigste Unfallursache dar und sind auch für modernste Assistenzsysteme eine große Herausforderung. Noch sind die Forscher dabei, die Besonderheiten des menschlichen Fahrverhaltens genau zu erfassen, um möglichst naturalistische Fahrermodelle zu entwickeln. Wenn es gelänge, solche Modelle in die Simulationen der Assistenzsysteme mit einzubauen, dann könnten Unfallszenarien in Zukunft realistischer simuliert werden und Assistenzsysteme oder Unfallvermeidungsstrategien validiert werden.



Mit NEST vernetzt

Warum sollte sich ein Wissenschaftler einer solchen Herkules-Aufgabe stellen wie das Gehirn zu simulieren – mit seinen Milliarden von Nervenzellen und Billionen von Verbindungen, die sich noch dazu ständig ändern? Und warum sollte sich ein Unternehmen wie Honda, das eigentlich Autos baut, an einem solchen Projekt beteiligen?

Für Hirnforscher wie Markus Diesmann (Bernstein Center Freiburg, Bernstein Facility Simulation & Database Technology und Forschungszentrum Jülich) und Stefan Rotter (Bernstein Center Freiburg) sind Simulationen ein wertvolles Hilfsmittel, um herauszufinden, wie das Gehirn funktioniert. Nur in Simulationen kann man gezielt einzelne Eigenschaften des Gehirns untersuchen, indem man sie „in silico“ systematisch variiert und die Auswirkungen auf das Gesamtsystem untersucht.

Die Technologie-Spezialisten Marc-Oliver Gewaltig und Edgar Körner vom Honda Research Institute Europe in Offenbach, Industriepartner des Bernstein Center Freiburg, hatten dagegen eine etwas andere, eher technisch begründete Motivation. Sie wollten Erkenntnisse über Prinzipien der Informationsverarbeitung des Gehirns dazu nutzen, intelligente technische Systeme zu entwickeln, die sich robust und flexibel in komplexen und veränderlichen Umwelten bewegen können, wie z.B. autonome Autos oder Roboter.

So kamen beide Teams, obschon mit unterschiedlicher Motivation, zu dem gemeinsamen Ziel, ein Simulationssystem zu bauen, das in der Lage ist, schnell, präzise und verlässlich große Netzwerke von Nervenzellen zu simulieren.

Schon früh haben die Forscher dabei erkannt, dass die entscheidende Eigenschaft des Gehirns seine parallele Arbeitswei-

se ist. So legten sie bei der Konstruktion ihres Simulators von Anfang an Wert darauf, dass auch in der Computersimulation die Prozesse parallelisiert werden. Gleichzeitig nutzten sie das kreative Potential der wissenschaftlichen Gemeinschaft, indem sie ihre Simulationsumgebung sofort interessierten Kollegen zur Verfügung stellten.

Die jahrelangen Bemühungen der Forscher wurden mittlerweile von beachtlichem Erfolg gekrönt. Mit Hilfe des in gemeinschaftlicher Arbeit entwickelten Simulationssystems NEST ist es erstmals möglich, auf reproduzierbare Weise Netzwerke von mehreren hunderttausend Neuronen zu simulieren, und das ganz unabhängig von der Art und Anzahl der verwendeten Rechner (vom Netzwerk aus handelsüblichen PCs bis hin zum Supercomputer). NEST wird inzwischen weltweit vielfach genutzt und mit seiner Hilfe konnten bereits beachtliche wissenschaftliche Erkenntnisse erzielt werden, z.B. wie die typischen neuronalen Verschaltungsmuster im visuellen Cortex einen schnellen Wechsel der visuellen Aufmerksamkeit ermöglichen.

Im Rahmen des Bernstein Fokus Neurotechnologie wollen die Forscher ihre Simulationsumgebung nun um die Toolbox NetCAD erweitern, mit der auch sehr komplexe Verschaltungsstrukturen (Topologien) erzeugt, analysiert und simuliert werden können. Dieses Werkzeug wird es leichter machen, herauszufinden, wie das Verschaltungsmuster mit der Funktion der Nervenetze zusammenhängt.

Und Marc-Oliver Gewaltig, mittlerweile an der EPFL in Lausanne, wird im Rahmen des Blue Brain Projekts die Vision weiterverfolgen, eines Tages mit Hilfe von NEST-simulierten neuronalen Netzwerken Roboter zu steuern.

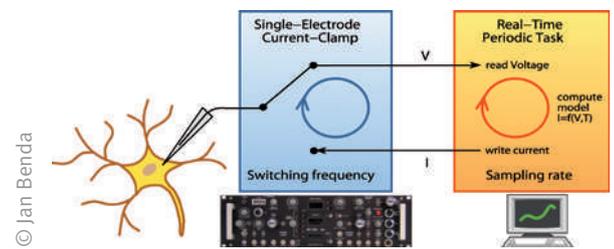




Mit neuer Verstärkertechnik Neuronen zum Tanzen bringen

Nervenzellen sind wie Batterien. Die stromundurchlässige Zellmembran trennt die beiden Pole der Batterie: das negativ geladene Zellinnere vom positiv geladenen Zellzwischenraum. Die Ladung der neuronalen Batterie liefert die treibende Kraft für die „Sprache“ der Neuronen: Ströme von elektrisch geladenen Teilchen (Ionen). Ermöglicht werden diese Ströme durch Kanäle in der Membran, die nur bestimmte Ionensorten passieren lassen und sich, je nach momentanem Ladungszustand der Zelle, öffnen oder schließen. Eine bestimmte Abfolge der Öffnung von Natrium- und Kalium-Kanälen bildet das Aktionspotential, die Grundeinheit der Kommunikation im Gehirn. Neben diesen schon gut untersuchten Kanälen gibt es aber noch einen ganzen „Zoo“ von weiteren Kanälen – alle mit ganz unterschiedlichen Eigenschaften. Welchen biologischen „Sinn“ hat diese Vielfalt, und welche Funktionen leisten die einzelnen Ionenkanäle?

Um diese Fragen zu beantworten, haben Hirnforscher gemeinsam mit Ingenieuren einen technischen Trick ersonnen. Mit feinen Glasröhrchen durchbricht man die Zellmembran und misst mit einem hochempfindlichen Verstärker die Membranspannung. Hält man die Membranspannung konstant (Spannungsklemme), so kann man den durch die Ionenkanäle fließenden Strom messen. In der in den 1990er Jahren entwickelten dynamischen Spannungsklemme geht man noch einen Schritt weiter: Um zu untersuchen, wie sich ein bestimmter Ionenkanal auf das Verhalten der Zelle auswirkt, simuliert man ihn, indem man durch das Glasröhrchen einen den Eigenschaften dieses Kanals entsprechenden Strom in die Zelle schickt. Bei bestimmten Anwendungen stößt diese Technik jedoch an ihre Grenzen, da Verstärker mit extrem hohen Abstraten benötigt werden und eine hierauf abgestimmte Software, die aus gemessenen Spannungswerten instantan den zu injizierenden



Die dynamische Spannungsklemme: Mit einer Elektrode und einem Verstärker (blau) wird die Membranspannung eines Neurons gemessen. Ein Software-System (gelb) berechnet aufgrund der Spannung und einem theoretischen Modell den Strom durch einen hypothetischen Ionenkanal, der dann durch den Verstärker in die Zelle injiziert wird.

Strom berechnet.

Mit Jan Benda (Bernstein Preisträger 2007, Universität Tübingen und Bernstein Zentren München und Tübingen), Werner Hemmert (Technische Universität und Bernstein Zentrum München) und Hans Reiner Polder (npi electronic und Bernstein Zentrum München) hat sich nun ein Team mit einzigartiger Expertise zur Lösung dieses Problems zusammengefunden. Der Ingenieur Polder hat jahrzehntelange Erfahrung bei der Entwicklung von Spezialverstärkern. Jan Benda entwickelte ein umfangreiches Software-System, das auch komplexe Versuchssteuerung online bewältigen kann (RELACS, www.relacs.net). Und Werner Hemmert bringt ein ideales Untersuchungsobjekt mit: die äußere Haarsinneszelle. Sie hat die kuriose Eigenschaft, sich in Abhängigkeit vom in sie fließenden Strom extrem schnell zusammenzuziehen oder auszustrecken. So können die Forscher die Zelle mit ihren Stromreizen zum Tanzen bringen.

Auf die Resultate dieser Kooperation darf sich die Wissenschaft gleich in dreierlei Hinsicht freuen: Neue Verstärker werden bessere Experimente ermöglichen. Die entwickelte Software wird der Wissenschaft als open source-System frei zur Verfügung stehen. Und neue Experimente werden spannende Einblicke in bisher mysteriöse Sinnesleistungen bei Mensch und Tier geben. So werden Werner Hemmerts Experimente beleuchten, wie schnell die äußeren Haarsinneszellen in unseren Ohren „tanzen“ können und wie genau sie unsere Hörfähigkeit verbessern. Und Jan Benda wird untersuchen, wie langsame Kalium-Kanäle schwach elektrischen Fischen bei der Beutelokalisation und Kommunikation helfen.



Vielstimmige Gehirnflüsterer

Die Informationsverarbeitung im Gehirn basiert auf dem Austausch von elektrophysiologischen Signalen zwischen Nervenzellen. Schon vor langer Zeit haben die Hirnforscher erkannt, dass man die elektrophysiologischen Eigenschaften des Gehirns für medizinische Zwecke nutzen kann. EEG-Messungen der Hirnaktivität liefern Neurologen wertvolle diagnostische Hinweise auf mögliche Erkrankungen. Die Beeinflussung der Hirnaktivität mittels elektrischer Stimulation hat, etwa bei der Tiefen Hirnstimulation von Parkinson-Patienten, bereits beachtliche therapeutische Erfolge geliefert. Kein Zweifel, die medizinischen Möglichkeiten, die elektronische Schnittstellen mit dem Nervensystem eröffnen, sind enorm.

Die Forscher um Jörn Rickert von der Universität und dem Bernstein Center Freiburg beschäftigen sich seit Jahren mit der Möglichkeit, solche Schnittstellen für motorische Neuroprothesen zu nutzen, die gelähmten Menschen ein Stück Bewegungsfähigkeit zurückgeben könnten. „Unsere Arbeiten zeigen aber, dass die Information über geplante Bewegungen, die man zum Steuern von solchen Prothesen nutzen könnte, über viele Neurone in einem weitreichenden Netzwerk verteilt ist“, so Rickert. Ähnlich verhält es sich auch mit der Kodierung von Sinnesinformationen. Viele Erkrankungen gehen zudem mit weit verteilten Veränderungen von Hirnaktivität einher. Elektronische Schnittstellen zum Gehirn, die diese räumlich-zeitliche Verteiltheit der Hirnfunktion berücksichtigen, müssen also möglichst viele Elektroden enthalten, um an vielen Stellen gleichzeitig Hirnaktivität messen und beeinflussen zu können.

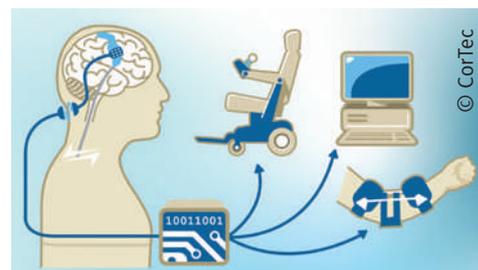
Die Entwicklung solcher vielkanaliger Hirnimplantate stellt die Forschung vor eine ganze Reihe technischer Herausforderungen. Um alltagstauglich zu sein, müssen die Systeme völlig implantiert sein, das heißt, sie müssen kabellos Daten senden und mit

Energie versorgt werden können. Sie

müssen biokompatibel sein, d.h., sie dürfen nur unbedenkliche Materialien enthalten und nicht durch das – für technische Systeme erstaunlich aggressive – Körpermilieu angegriffen werden. Die vielen Elektrodenkanäle machen eine Übertragung erheblicher Datenmengen nötig. Und das ganze System soll natürlich möglichst klein sein. „Eine technische Quadratur des Kreises“, bekennt Karl-Heinz Boven, Geschäftsführer der MultiChannelSystems (MCS) GmbH, Reutlingen.

Im Rahmen eines Kooperationsprojekts im Bernstein Fokus Neurotechnologie Freiburg-Tübingen wollen MCS und Rickert diese Herausforderung jetzt angehen. In Kooperation mit Thomas Stieglitz vom Institut für Mikrosystemtechnik der Universität Freiburg, einem Weltexperten für Dünnschichtelektroden, ist es Rickert bereits gelungen, neuartige flexible Elektroden zu entwickeln, die hervorragende räumliche Auflösung mit optimaler Gewebeverträglichkeit kombinieren. Die Zusammenarbeit mit MCS erlaubt es nun, auch die Kombination mit der notwendigen Elektronik und die absolut dichte Verkapselung des Systems anzugehen. „Das bringt uns einen Riesenschritt weiter zu einem tatsächlich patiententauglichen System“, so Rickert.

Erste Tests zur Biokompatibilität des Systems sind bereits in Vorbereitung. In weiteren Projekten wird das Implantatsystem um weitere Komponenten ergänzt werden. Die Forscher sind so zuversichtlich, in absehbarer Zukunft ein klinisch einsetzbares Produkt zu haben, dass sie mit der CorTec GmbH den Schritt in die Ausgründung eines neuen Unternehmens gewagt haben. Die neue Firma wird das Implantatsystem fertig entwickeln und vermarkten – ein beeindruckendes Beispiel dafür, wie Ideen aus der Grundlagenforschung einen Weg in die Realwirtschaft finden können.





Transkranielle Stimulation: Neuer Zugang zum Gehirn

Neben dem Austausch von Botenstoffen basiert die Informationsverarbeitung im Gehirn im Wesentlichen auf Strömen von geladenen Teilchen (Ionen). Sind viele Nervenzellen gleichzeitig aktiv, so addieren sich die Ströme und führen zu elektrischen Feldern, die auf der Kopfhaut gemessen werden können.

Lange Zeit blieb die Kommunikation mit dem Gehirn weitgehend auf solches „Zuhören“ beschränkt. Seit einigen Jahrzehnten werden jedoch auch Techniken entwickelt, mit denen man mit elektrischen oder magnetischen Pulsen nichtinvasiv (transkraniell) auf die Hirnaktivität einwirken, also gewissermaßen mit dem Gehirn „sprechen“ kann – mit erstaunlichen Effekten.

Bei der Transkraniellen Magnetstimulation (TMS) induzieren kurzzeitige Magnetfeldpulse elektrische Felder im Gehirn, die in den Nervenzellen Aktionspotentiale auslösen. Einzelne Pulse aktivieren eng umschriebene Bereiche des Gehirns. Stimuliert man z.B. die motorische Hirnrinde, so kann man Zuckungen einzelner Muskeln auslösen. Verwendet man mehrere Pulse in kurzen Abständen, sind die Effekte komplexer und hängen vom genauen zeitlichen Muster der Stimulation ab. So kann auch eine Hemmung von Gehirnarealen erzielt werden.

Auch mit kleinen elektrischen Strömen kann die Hirnaktivität direkt beeinflusst werden. Bei Verwendung von Gleichstrom (tDCS) wird die Membranspannung an den Dendriten (den Nervenzellfortsätzen, die Eingangssignale sammeln) beeinflusst, so dass sich die Ruheaktivität verändert. Wechselströme (tACS) haben zusätzlich Auswirkungen auf Aktivitätsschwingungen in der Hirnrinde und auf die Kopplung zwischen Hirnarealen. Neue

Forschungsergebnisse zeigen, dass sich durch transkranielle Stimulation Lernvorgänge unterstützen lassen, die über Stunden oder sogar Tage anhalten.

Für den künftigen klinischen Einsatz der transkraniellen Stimulation entwickelt die Ilmenauer Firma neuroConn, unter anderem in der Bernstein Kooperation „Transkranielle Stimulation“, die notwendigen neuen Geräte. Die Arbeit mit Walter Paulus von der Universitätsmedizin und dem Bernstein Zentrum Göttingen führte zur Entwicklung von neuen Stimulatoren, die auch im Kernspintomografen genutzt werden können. Die Ausbreitung der Stimulation im Gehirn lässt sich mithilfe von Verfahren, die zusammen mit Gunter Knoll von der Universität Kassel und Helmut Buchner vom Knappschafts-Krankenhaus Recklinghausen entwickelt wurden, besser modellieren und vorhersagen. Mittlerweile hat neuroConn auch ein Gerät entwickelt, mit dem gleichzeitig mit der transkraniellen Reizung auch das EEG gemessen werden kann, so dass die Auswirkungen der Stimulationsmethoden besser untersucht werden können.

Das neue Repertoire an Methoden und Geräten eröffnet spannende neue Zugangswege zum Gehirn, über die man direkter und möglicherweise effizienter auf das Gehirn einwirken kann als mit herkömmlichen Methoden oder Training. Damit könnten sich neue Behandlungsoptionen für eine Vielzahl von neurologischen und psychiatrischen Erkrankungen und Störungen ergeben.



DC-Stimulator zur transkraniellen Hirnstimulation mit Gleich-, Wechsel- und Rauschstrom.



Innovative Technik für unser sensibelstes Organ

Medizintechnische Geräte sind aus der modernen Neurologie nicht mehr wegzudenken. An sie werden höchste Anforderungen an Sicherheit, Präzision und Effizienz gestellt. Schließlich ist das Nervensystem das sensibelste Organ unseres Körpers. Die Emmendinger Firma inomed Medizintechnik GmbH hat über 20 Jahre Erfahrung bei der Entwicklung von Geräten und Systemen für Neurochirurgie, intraoperatives Neuromonitoring, neurologische Diagnostik und Schmerztherapie. In Zusammenarbeit mit dem Bernstein Fokus Neurotechnologie Freiburg-Tübingen widmet sich die Firma nun zwei Problemkreisen aus der Epilepsiediagnostik, die aber auch interessante Perspektiven für die Forschung und neue Therapien bieten.

Wenn Patienten mit schwerer Epilepsie nicht mit Medikamenten geholfen werden kann, ist die chirurgische Entfernung des epileptischen Fokus die letzte Therapiemöglichkeit. Solch eine Operation ist eine knifflige Angelegenheit. Man muss die Lage des Fokus genau kennen, ihn präzise ansteuern können und darf kein wichtiges gesundes Hirngewebe, z.B. Sprachareale, zerstören. Daher wird zur Vorbereitung solcher Operationen umfangreiche Diagnostik betrieben. Den Patienten werden Elektroden implantiert, mit deren Hilfe die Ärzte die Hirnaktivität aufzeichnen und feststellen, von wo die krankhafte Aktivität ausgeht. Aus den Reaktionen der Patienten auf elektrische Stimulation kann man zusätzlich auf die Funktion der stimulierten Areale schließen.

Neue Elektrodensysteme, die in die Tiefe des Gehirns reichen und nicht nur die Summenaktivität vieler Neurone, sondern auch die einzelner Nervenzellen messen, haben sich dabei als sehr hilfreich erwiesen. In der Kooperation von inomed mit Stefan Hefft, Dominik von Elverfeld, Irina Mader und Andreas Schulze-Bonhage vom Epilepsiezentrum des Universitätsklinikums Frei-

burg konnten bisherige Problempunkte dieser Systeme bereits entschieden verbessert werden. Die operative Technik wurde durch neue Instrumente verbessert und ein geeignetes Fixierungssystem entwickelt. Die Elektrodenverbindungen wurden für die Darstellung im Kernspintomografen modifiziert, so dass ihre Position nun viel genauer überprüft werden kann. Demnächst werden die Forscher untersuchen, ob durch alternative Elektrodendesigns die Zuordnung der elektrischen Signale zu einzelnen Nervenzellen und die Justierung des Ableitorts an neuronale Aktivität erleichtert werden kann. Damit könnte nicht nur die Diagnostik effizienter und genauer, sondern auch die Erforschung der Funktion tiefer Hirnareale vereinfacht werden.

Ein zweites Projekt mit Andreas Schulze-Bonhage und Thomas Stieglitz vom Institut für Mikrosystemtechnik der Universität Freiburg beschäftigt sich mit einem neuen Ansatz für die Therapie von Epilepsie, bei dem man versucht, die epileptische Aktivität durch elektrische Stimulation zu hemmen. In der Parkinson-Therapie wird die sogenannte Tiefe Hirnstimulation bereits seit vielen Jahren erfolgreich angewandt. Die bisher verwendeten Multi-Elektrodensysteme erlauben allerdings nur die Stimulation einzelner Elektroden(paare). Um möglichst effizient und kontrolliert auf die sich ausbreitende epileptische Aktivität einzuwirken, muss man sich aber höchstwahrscheinlich der verteilten neuronalen Aktivität im Gehirn anpassen und raumzeitliche Stimulationsmuster an mehreren Elektroden verwenden. Ein im Rahmen des Projekts von inomed entwickelter Multiplexer bietet nun genau diese Möglichkeit. In Tierversuchen wird nun untersucht, ob mit der Stimulation eine Eingrenzung oder Abschwächung der epileptischen Aktivität erreicht werden kann. Eine faszinierende Möglichkeit – würde sie doch eine neue Option eröffnen, epileptischen Anfällen entgegenzuwirken.

Modell einer von inomed entwickelten Hybrid-Elektrode, die Feldelektroden (Ringe) mit Mikrodrähten für die Messung von Einzelneuronen kombiniert.





Nah am Neuron und doch beweglich

Ein alter Traum des Hirnforschers: in Echtzeit verfolgen, wie einzelne Nervenzellen zur Lösung einer Verhaltensaufgabe, zur Koordination von natürlichen Bewegungen oder zur Orientierung im Raum beitragen.

Zwar hat die moderne Elektrophysiologie ein breites Repertoire an Verfahren, um die elektrische Aktivität des Gehirns aufzuzeichnen. Will man jedoch bis auf die Ebene von einzelnen Nervenzellen vordringen, so wird es kompliziert. Die gängigen Messsysteme erfordern, das Versuchstier in ein Elektrophysiologie-Labor zu holen, eine empfindliche Ableitvorrichtung anzubringen und eine Vielzahl technischer Geräte anzuschließen, mit denen die Aktivität einzelner Neurone im elektrischen Rauschen des Gehirns aufgespürt und aufgezeichnet werden kann. Da die Elektroden jeden Tag neu platziert werden, können die Forscher einzelne Zellen nur über wenige Stunden verfolgen. Und die Art der Aufgaben, mit denen sich die Tiere im Labor auseinandersetzen können sind stark eingeschränkt – meist einfache „Computerspiele“, die mit einem Joystick oder einem Touch-Screen bedient werden. Obwohl diese klassische Herangehensweise große Fortschritte beim Verständnis der Grundfunktionen von Nervenzellen erzielt hat, bleiben die Rückschlussmöglichkeiten auf natürliche und langfristige Verhaltenszusammenhänge notgedrungen begrenzt.

In den letzten Jahren wurden implantierbare Systeme entwickelt, die dauerhaft im Gehirn verbleiben können. Sie haben es ermöglicht, einzelne Neurone über längere Zeiträume von Wochen bis Monaten zu verfolgen, in Einzelfällen sogar über Jahre. Da sich mit der Zeit aber Narbengewebe um die Elektroden herum bildet, werden die empfangenen Signale typischerweise immer schlechter. Und auch diese Systeme benötigen, wie die konventionellen Techniken, noch eine Kabelverbindung zu den

Messapparaturen.

Alexander Gail vom Deutschen Primatenzentrum und die Firma Thomas RECORDING wollen dieses Problem in einer Kooperation im Rahmen des Bernstein Fokus Neurotechnologie Göttingen angehen. Ihre Idee ist es, ein dauerhaft implantierbares System zu bauen, bei dem sich die Elektroden nach der Implantation noch frei in beide Richtungen bewegen lassen. So könnten ihre Positionen immer wieder angepasst werden, um optimale neuronalen Signale zu erfassen.

Ziel der Forscher ist ein System mit 64 Elektroden, um viele Neuronen gleichzeitig erfassen zu können. Damit das System klein genug ist um auf dem Kopf angebracht werden zu können, müssen dazu neue Elektroden und mikromechanische Komponenten entwickelt werden. Die Bewegung der Elektroden soll ein miniaturisierter Roboter übernehmen, der sich präzise in drei Raumrichtungen bewegen kann. In einem nächsten Schritt kann das System für den kabellosen Gebrauch angepasst werden.

Durch Integration dieser neuen Ansätze können zukünftig hirnhysiologische Messungen in der natürlichen Umgebung von Tieren wie Rhesusaffen durchgeführt werden – ein technischer Durchbruch, der der Hirnforschung ganz neue Perspektiven bieten wird. Gleichzeitig werden durch die freie Beweglichkeit die Versuchsbedingungen für die Tiere erheblich verbessert. Auch für medizinische Anwendungen an Patienten ist die neue Technik interessant, sind doch fest implantierte und kabellose Ableitsysteme eine Grundbedingung für moderne Neuroprothesen. „Grundlagenforschung, Tierschutz und medizinische Anwendung“, sagt Gail, „das ist die dreifache Motivation, die uns bei unseren Anstrengungen antreibt.“ Drei wahrlich lohnende Ziele.





Mini-NIRS: Neuer Einblick ins Gehirn

Moderne bildgebende Verfahren, die Einblicke in die Aktivität des Gehirns erlauben, erfordern große und aufwändige Kernspintomografen und sind damit auf einen Einsatz im Labor begrenzt. Eine vielversprechende Alternative dazu ist die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS). Wie beim EEG wird ein Kontakt an der Schädeloberfläche genutzt. Während das EEG jedoch die Spannungsänderungen bedingt durch neuronale Aktivität misst, liefert NIRS Aufschlüsse über den Metabolismus des Gehirns.

Hierzu wird mit einer Nahinfrarot-Lichtquelle in das Gehirn „geleuchtet“. Ein paar Zentimeter weiter misst ein Detektor, wie viel Licht das Gewebe passiert hat. Da die Lichtdurchlässigkeit des Gewebes von der Menge und dem Sauerstoffgehalt des Blutes abhängt, und die Durchblutung mit sauerstoffreichem Blut bei Aktivierung des Gehirns zunimmt, lässt sich von der gemessenen Lichtmenge auf die Hirnaktivität schließen.

Auch die funktionelle Magnetresonanztomografie basiert auf einer Messung des Blutsauerstoffgehalts. Doch ist die NIRS-Technologie ungleich handlicher und kostengünstiger. Zudem wird die Messung nicht, wie das EEG, durch elektromagnetische Felder oder Muskelkontraktionen gestört. Damit wäre NIRS ein idealer Kandidat für den mobilen Einsatz, um dem menschlichen Gehirn nicht nur im Labor, sondern im wirklichen Alltag bei der Arbeit zuzusehen.

Am Bernstein Fokus Neurotechnologie Berlin arbeiten Wissenschaftler um Jens Steinbrink von der Charité und Klaus-Robert Müller von der Technischen Universität Berlin zusammen mit der Berliner Firma NIRx auf Hochtouren an der Umsetzung dieser Idee. In eine Stoffkappe haben sie 20 miniaturisierte Lichtquellen und Detektoren eingebaut. Das Licht wird direkt auf der Schädeloberfläche zur Verfügung gestellt und gemessen, was lange

und unhandliche Glasfasern überflüssig macht. Die Elektronik für die Datenaufnahme, bestehend aus einem Interface von der Größe eines dickeren Taschenbuchs und einem Laptop, sitzt in einem Rucksack, der mit der Kappe nur durch ein paar dünne Kabel verbunden ist.

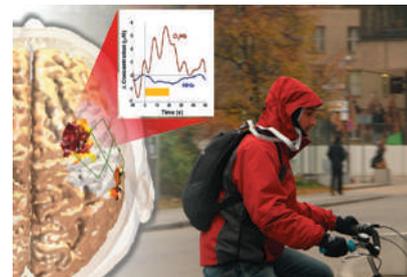
In ersten Tests haben die Forscher bereits gezeigt, dass ihr neues Mini-NIRS System tatsächlich alltagstauglich ist. Am Berliner Spreeufer ließen sie Probanden mit dem Fahrrad einen Parcours abfahren und auf Ton-Kommandos mit der Hand einen Hebel bedienen. Auch unter diesen erschwerten Bedingungen gelang es den Forschern, störungsfrei die Steuersignale für die Handbewegung im motorischen Zentrum der gegenüberliegenden Hirnhälfte zu extrahieren.

„Bei manchen Probanden konnten wir sogar einzelne Handbewegungen aus dem NIRS-Signal ablesen“, sagt Christoph Schmitz, Geschäftsführer von NIRx und Leiter der Studie – eine wichtige Voraussetzung für die spätere Verwendung der neuen Technik. Denn die Ambitionen der Forscher zielen nicht nur auf Grundlagenforschung, sondern auch auf ganz konkrete technische und medizinische Anwendungen ab.

Gehirn-Computerschnittstellen, mit denen z.B. gelähmte Patienten technische Hilfsmittel steuern, könnten mit Mini-NIRS alltagstauglicher und robuster werden. Auch gesunde Menschen könnten von der Technik profitieren. Mit NIRS könnte man z. B. auch Gehirnzustände wie Aufmerksamkeit in sicherheitskritischen Situationen überwachen, um bei abnehmender Aufmerksamkeit rechtzeitige Schritte einzuleiten.

In der Berliner Innenstadt mit mini-NIRS gemessene Aktivierung der motorischen Hirnrinde.

© NIRx





Bessere Prothesen für mehr Lebensqualität

Wie sehr gesunde Arme und Beine unsere Lebensqualität bestimmen, merken wir meist erst, wenn sie den Dienst versagen – etwa wenn wir nach einem Knochenbruch einen Gips tragen müssen. Viele Menschen müssen dauerhaft mit Bewegungseinschränkungen leben, beispielsweise bei Lähmungen oder nach Amputationen. Auch die modernsten Prothesen sind noch weit von der Perfektion der natürlichen Gliedmaßen entfernt, insbesondere was Funktionalität und Bedienungskomfort angeht.

Das Duderstädter Unternehmen Ottobock ist Weltmarktführer im Bereich Orthopädietechnik. In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern des Bernstein Fokus Neurotechnologie Göttingen hat es sich nun zum Ziel gesetzt, neueste Erkenntnisse der Neurowissenschaften für die Entwicklung intelligenterer und flexiblerer Hilfsmittel nutzbar zu machen. Dazu beteiligt sich die Firma auch an der Finanzierung des an den Bernstein Fokus Neurotechnologie und die Universitätsmedizin Göttingen berufenen Professors Dario Farina.

Für den Ausgleich von teilweisen Lähmungen, wie sie oft nach Schlaganfall zurückbleiben, werden Orthesen eingesetzt, die das Bein stützen. Die bisherigen Systeme waren jedoch oft starr, so dass es zwar möglich, aber sehr anstrengend und umständlich war, damit zu gehen. Kürzlich hat Ottobock erste Orthesen mit beweglichen Kniegelenken entwickelt. Das Prinzip ist von der Biologie inspiriert und wurde bereits erfolgreich in Beinprothe-

sen eingesetzt: Wird das Bein belastet, versteift sich das Knie, so dass das Bein nicht wegnicken kann. Wird es entlastet, so löst sich das Knie, und das Bein kann abgewinkelt nach unten schwingen. Noch ist das System aber nicht in der Lage, sich an veränderte Bedingungen wie z.B. Steigungen, unebene Untergründe oder schwankende Tagesform anzupassen. Das Erreichen dieser Adaptivität ist Ziel der Kooperation mit Florentin Wörgöter, der bereits erfolgreich biologisch inspirierte Mechanismen eingesetzt hat, um Laufroboter lernfähig zu machen.

Ein weiterer Schwerpunkt der Kooperation sind bessere Steuermechanismen für Handprothesen. Moderne Handprothesen erlauben bereits einfache Greifbewegungen. Der Patient steuert die Bewegungen über die Aktivierung von Muskeln im Stumpf, die von Elektroden in der Prothese gemessen wird. Die Zahl der so extrahierbaren Steuersignale ist jedoch klein, und die Steuerung selbst bleibt relativ simpel und wenig intuitiv. Außerdem kann in der Regel immer nur ein Freiheitsgrad (z.B. Schließen oder Rotieren der Hand) gleichzeitig kontrolliert werden, zwischen diesen Optionen muß der Patient umschalten. Eine gleichzeitige Nutzung mehrerer Bewegungsoptionen erfordert neue Steuermechanismen. Um komplexere und natürlichere Bewegungen zu ermöglichen, werden in Kooperation mit Dario Farina und Michael Herrmann optimierte Signalverarbeitung und Mustererkennungsalgorithmen eingesetzt.

Zudem soll nun die Muskelaktivität nicht mehr nur mit zwei (wie heute üblich), sondern mit vielen Elektroden gemessen werden. So erhofft man sich nicht nur mehr Steuersignale, sondern auch eine größere Robustheit gegenüber Elektrodenverschiebungen oder -ausfällen. Eine weitere, vielversprechende Erweiterung von Handprothesen wäre die Nutzung von sensorischem Feedback. Denn nur wenn der Nutzer spüren kann, wie viel Kraft seine Prothese beispielweise auf ein ergriffenes Ei ausübt, kann er die Kraft auch angemessen dosieren, so dass das Ei heil bleibt.





Cochlea-Implantate verbessern

Hören, was um uns vorgeht – für hochgradig Schwerhörige oder Gehörlose unmöglich. Moderne Cochlea-Implantate (CIs) können solchen Menschen ein Hörvermögen zurückgeben. Über ein Mikrophon und einen Audioprozessor, die wie ein Hörgerät hinter der Ohrmuschel liegen, wird der Schall aufgenommen und daraus die Stimulationsdaten errechnet. Diese werden dann drahtlos an das Implantat gesendet, das die in der Hörschnecke verbliebenen Hörnervenfasern elektrisch stimuliert. Je nach Tonhöhe werden – wie beim normalen Hören – verschiedene Abschnitte gereizt. Die im Hörnerven ausgelöste Aktivität wird an das Gehirn weitergeleitet und dort als Hörereignis interpretiert.

Doch so hilfreich die Implantate sind – bestimmte Situationen sind für ihre Träger immer noch eine Herausforderung. Wenn viele Menschen gleichzeitig reden fällt es schwer, einen bestimmten Sprecher herauszufiltern. Der Musikgenuss ist eingeschränkt, und auch bei der Schalllokalisation treten Probleme auf.

Die Gründe dafür sind vielschichtig. Ein Problem ist, dass man nicht weiß, mit welchen räumlichen und zeitlichen Reizmustern Sprache am besten kodiert wird. Um dieser Frage nachzugehen verfolgt Werner Hemmert vom Bernstein Zentrum und der TU München in Kooperation mit dem CI-Hersteller MED-EL eine typische Strategie der Computational Neuroscience: „virtuelle Experimente“ in einem theoretischen Modell. Dazu erstellten die Wissenschaftler in Hemmerts Arbeitsgruppe zunächst ein Modell, das die Aktivierung der Nervenzellen beim normalen Hören wiedergibt. Ein zweites Modell bildet die Aktivierung durch ein CI nach. Dann können die Forscher die Algorithmen, die im Audioprozessor des CI-Modells den Schall in Reizmuster übersetzen, systematisch so lange verändern, bis die neuronalen Aktivierungen der natürlichen am nächsten kommen. Die neuen Algorithmen könnten die CI-Technologie entscheidend verbessern.



Ein weiteres Problem ist, dass sich die elektrischen Reize im Gewebe in alle Richtungen ausbreiten. So kann bei der Reizung an einer Schneckenwindung auch die darüber oder darunter liegende Windung aktiviert werden. Dadurch verwischt der Höreindruck. Die neue Technik der Optogenetik brachte Tobias Moser vom Bernstein Zentrum, dem Bernstein Fokus Neurotechnologie und der Universitätsmedizin Göttingen auf die Idee, die elektrische Stimulation durch Licht zu ersetzen. Denn Licht kann im Gegensatz zu Strom fokussiert werden und so viel lokaler wirken.

Allerdings reagieren die Nervenzellen in unserem Ohr normalerweise nicht auf Licht. Hier kommt die Optogenetik ins Spiel. Sie verwendet Moleküle, die bei Lichteinfall ihre Eigenschaften verändern und so eine bestimmte Reaktion auslösen können. So gibt es z.B. Ionenkanäle, die sich bei Lichteinfall öffnen und dadurch eine Nervenzelle elektrisch aktivieren. Schleust man die Gene für diese Moleküle in die Zellen des Innenohrs ein, so könnte der Empfänger buchstäblich in die Lage versetzt werden, optische Stimuli statt wie bisher elektrische Stimuli über ein CI zu hören. In ersten Studien ist es Moser und Mitarbeitern bereits gelungen, die Nervenzellen der Hörschnecke von Versuchstieren mit solchen optogenetischen Methoden lichtsensitiv zu machen und den Hörnerv durch Licht zu aktivieren.

Der nächste Schritt wäre nun, Hörprothesen zu entwerfen, die statt elektrischer Pulse Lichtsignale abgeben. Mit der kürzlich entwickelten Mikro-LED-Technik ist es möglich, Leuchtdioden herzustellen, die klein genug für die Hörschnecke sind. Damit gelangen optische CIs in den Bereich des technisch Machbaren – eine faszinierende Idee, der die Forscher zusammen mit Ulrich Schwarz von der Universität Freiburg und dem Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperphysik nachgehen wollen.



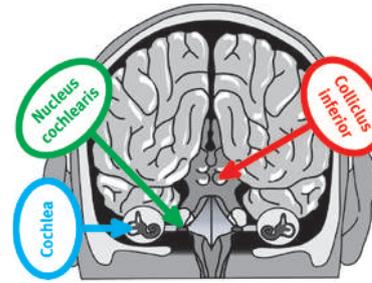
Neue Hörprothesen in der Mitte des Gehirns

Cochlea-Implantate (CI) sind die zur Zeit erfolgreichsten Neuroprothesen und haben vielen Menschen ein Hörvermögen zurückgegeben. Sie können aber nur zum Einsatz kommen, wenn der Hörnerv intakt ist. Für Menschen, bei denen dies nicht der Fall ist (z.B. wegen bestimmter Tumorerkrankungen) oder bei denen eine deformierte Cochlea das Einführen der CI-Elektrode verhindert, ist diese Therapie unmöglich.

Um auch diesen Patienten zu helfen, versuchen Wissenschaftler, mit den Neuroprothesen an anderen Stationen der Hörbahn anzusetzen. Die nächstmögliche Station wäre der Nucleus cochlearis im Hirnstamm. Das Hörvermögen, insbesondere das Sprachverständnis, das mit Hirnstamm-Implantaten bisher erreicht wurde, bleibt jedoch meist deutlich hinter dem von Cochlea-Implantat-Trägern zurück.

Im Bernstein Fokus Neurotechnologie Göttingen untersucht eine Kooperation zwischen Forschern der Medizinischen Hochschule Hannover um Thomas Lenarz mit der Firma Cochlear und Dominika Lyzwa aus der Gruppe von Michael Herrmann am Max-Planck Institut für Dynamik und Selbstorganisation Göttingen nun die Möglichkeit, die Neuroprothesen alternativ im Colliculus Inferior im Mittelhirn zu positionieren.

Der Colliculus ist, ähnlich einer Zwiebel, aus mehreren „Schalen“ aufgebaut, die jeweils einen bestimmten Frequenzbereich, also eine bestimmte Tonhöhe, repräsentieren. Daher kann grundsätzlich dieselbe Technologie wie bei den Cochlea-Implantaten verwendet werden: Ein Mikrofon hinter dem Ohr nimmt den Schall auf und ein Sprachprozessor analysiert ihn und spaltet ihn nach Frequenzen auf. Die Signale werden dann drahtlos an das Implantat gesendet, das Stimulationspulse erzeugt,



mit denen die Nervenzellen in den verschiedenen Schichten elektrisch stimuliert werden.

In ersten klinischen Versuchen konnten fünf Patienten mit dem neuen Implantat tatsächlich wieder hören. Noch ist jedoch auch hier das erreichte Hörvermögen nicht so gut wie beim Cochlea-Implantat. Im Tierversuch haben die Hannoveraner Forscher die möglichen Gründe hierfür untersucht. Zum einen wird mit dem einzelnen, geraden Elektrodenschaft immer nur ein kleiner Teil der jeweiligen „Zwiebelschale“ stimuliert, also nur ein Bruchteil aller für eine Frequenz zuständigen Nervenzellen erwischt. Zum anderen stellte sich heraus, dass die Nervenzellen im Colliculus leicht ermüden: sie antworten immer nur für kurze Zeit, und legen dann eine Pause ein, bevor sie wieder aktiv werden können.

Nun haben die Forscher einen Lösungsansatz gefunden, der beide Probleme angeht: sie benutzen nicht einen, sondern zwei Elektrodensäfte nebeneinander. Damit erreichen sie zum einen doppelt so viele Neurone in jeder Schicht. Wenn sie die beiden Elektroden abwechselnd stimulieren, können sie den Neuronen zum anderen auch die nötigen Pausen gönnen.

Im Tierversuch hat sich dieser Ansatz bereits bewährt. Nun wird die Technik für die Anwendung beim Menschen optimiert. Thomas Lenarz hat bereits die Operationstechnik für die sichere Implantation von zwei Elektrodensäften anpassen können. Jetzt muss die Stimulationstechnik noch optimal auf die spezifischen Eigenschaften des Colliculus und an die Stimulation mit einer Doppelelektrode angepasst werden. Aber bereits in absehbarer Zeit soll die neue Technik klinisch erprobt werden. So ist aufgrund dieser sehr erfolgreichen Zusammenarbeit eine neue Neuroprothese bereits in greifbarer Nähe gerückt.



Gute Verbindung? Mal Gehirn fragen!

Audiovisuelle Inhalte sind in der modernen Telekommunikation allgegenwärtig. Morgens das Business-Meeting per Telefonkonferenz, zwischendurch schnell ein Podcast mit den neuesten Nachrichten und am Abend gemütlich ein paar Videos aus dem Internet – das erscheint vielen von uns mittlerweile selbstverständlich. Erst wenn verminderte Ton- oder Bildqualität das Verfolgen der Inhalte erschwert, wird uns bewusst, wie wichtig eine gute Qualität bei der Datenübertragung ist.

Doch wie kann man messen, wie gut z.B. die Sprachqualität wirklich ist? Klassischerweise bittet man Versuchspersonen, diese Frage rückblickend mittels Fragebögen und Bewertungsskalen zu beantworten. Doch damit erfasst man nur von den Probanden bewusst wahrgenommene und benennbare Eigenschaften. Es ist aber bekannt, dass auch unbewusste Faktoren die gefühlte Qualität beeinflussen und längerfristig durchaus in Nutzungsentscheidungen einfließen können.

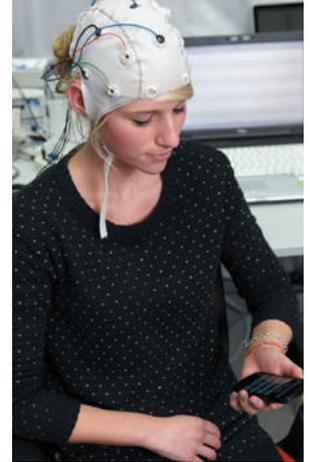
Forscher um Sebastian Möller, Jan-Niklas Antons und Robert Schleicher von den Telekom Innovation Laboratories der TU Berlin haben nun im Rahmen des Bernstein Fokus Neurotechnologie Berlin einen ganz neuen Ansatz gewählt, um dieses Problem zu lösen. Sie befragen nicht die Probanden, sondern direkt ihre Gehirne. Dazu messen sie das Elektroenzephalogramm (EEG) und vergleichen die Gehirnaktivitäten während die Probanden entweder Tonsequenzen optimaler Qualität oder solche mit verringerter Qualität (z.B. durch Kodierung mit geringerer Bitrate oder durch eingebaute Störungen wie Rauschen) anhören.

Das Projekt profitiert dabei von Forschern wie Gabriel Curio und Klaus-Robert Müller, die ihre langjährige Expertise im Bereich des EEG als Kooperationspartner einbringen. Aus der

Grundlagenforschung weiß man, dass das Gehirn bei unerwarteten oder außergewöhnlichen Inputs spezifische Muster wie die sogenannte Mismatch-Negativity oder die P300 (eine positive Auslenkung des EEGs nach ca. 300 Millisekunden) produziert. Diese können darauf hinweisen, dass das Gehirn eine Störung wahrgenommen hat. „Ganz besonders interessant ist dabei, dass wir diese Muster im Gehirn selbst dann finden können, wenn der Proband angibt, gar keinen Unterschied wahrgenommen zu haben“, so Jan-Niklas Antons. Das Gehirn scheint also mehr Störungen zu registrieren als sein Besitzer anschließend angibt. Damit haben die Forscher ein ganz neues Instrument in der Hand, um die Qualität von audiovisuellen Signalen quantitativ und objektiv zu bestimmen.

In der Tat haben die Forscher bereits zeigen können, dass sich ihre EEG-Methode zuverlässig zur Bewertung von Sprachqualität einsetzen lässt. Ein weiteres Ziel ist es nun, das Verfahren zu standardisieren und ein möglichst einfach zu bedienendes Setup zu entwickeln, das auch von Nicht-Hirnforschern, z.B. in Usability Labs, verwendet werden kann. So könnten die zusätzlichen Gehirn-Daten der wahrgenommenen Qualität bei der Optimierung von Produkten direkt mit einfließen.

Die Anwendungsmöglichkeiten für die Telekommunikationsindustrie – nicht nur für die Deutsche Telekom als Kooperationspartner – liegen auf der Hand. Mit Hilfe der neuen Methodik könnten die Entwickler demnächst kritische Eigenschaften in der Ton- und Bildkodierung identifizieren, die bislang nicht berücksichtigt wurden, weil ihr Einfluss auf die Wahrnehmung unbekannt war. Im Ergebnis dürften die Nutzer sich auf nochmals deutlich verbesserte Ton- und Bildqualitäten in ihrem Lieblingsmedium freuen.





MITTEILUNGEN UND TERMINE

Termine

Termin	Titel	Organisation	URL
3.-8. Dez. 2012, Frankfurt am Main	FIAS Winterschule: „Intrinsic Motivations: From Brains to Robots“	J. Triesch (BFNT Frankfurt)	www.im-clever.eu/announcements/events/fias-winter-school
9.-16. Dez. 2012, Oberurgl, Österreich	FENS-IBRO-Hertie Winterschule: „Brain Dynamics and Dynamics of Brain Disease“	A. Kumar, S. Rotter, A. Aertsen (alle BCF Freiburg), A. Saria	http://fenswinterschool.org/
18.-22. Feb. 2013, Berlin	BCCN Berlin Winterschule: „Ethics and Neuroscience“	J.-D. Haynes (BCCN und BFNT Berlin), F. BERPPOHL, V. Casagrande (BCCN Berlin)	www.bccn-berlin.de/ethics
19.-21. Feb. 2013, Göttingen	NWG-Kurs: „Transcranial Magnetic and Electrical Stimulation“	A. Antal, W. Paulus (BCCN und BFNT Göttingen, BCOL Transcranial Stimulation)	www.nncn.de/termine/kursgoettingen2013/
25. Feb. - 1. Mär. 2013, München	5. G-Node Winterkurs: „Neural Data Analysis“	C. Boucsein (BCF Freiburg), T. Wachtler (G-Node)	www.g-node.org/dataanalysis-course-2013
6.-10. Mär. 2013, Delmenhorst	1. Bernstein Sparks Workshop: „Cortical Neurointerfaces“	K. Pawelzik (BGCN Bremen, BFNL Sequence Learning), A. Kreiter (BGCN Bremen), S. Paul, W. Lang, A. Janssen, S. Cardoso de Oliveira, K. Schwarzwälder (beide BCOS), D. Poggel, M. Daniel	www.nncn.de/termine/corticalneurointerfaces/
13.-16. Mär. 2013, Göttingen	NWG Annual Meeting 2013 mit Beiträgen des Bernstein Netzwerks	Neurowissenschaftliche Gesellschaft	www.nncn.de/termine/nwg2013/
25.-29. Aug. 2013, Bremen	European Conference on Visual Perception (ECPV) 2013	U. Ernst (BPCN 2010, BGCN Bremen), C. Grimsen, D. Wegener, A. Janssen	www.ecvp.uni-bremen.de
25.-27. Sept. 2013, Tübingen	Bernstein Konferenz 2013	M. Bethge (BCCN Tübingen, BPCN 2006), J. Lam (BCCN Tübingen)	www.bernstein-conference.de
6.-11. Okt. 2013, Freiburg	BCF/NWG Kurs: „Analysis and Models in Neurophysiology“	S. Rotter, U. Egert, A. Aertsen, J. Kirsch (alle BCF Freiburg), S. Grün (D-J Collaboration, BCCN Berlin)	www.bcf.uni-freiburg.de/events/conferences-workshops/20131006-nwgcourse/

Das Bernstein Netzwerk

Sprecher des Bernstein Projektkomitees: Andreas Herz

Das Nationale Bernstein Netzwerk Computational Neuroscience (NNCN) ist eine Förderinitiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Es wurde im Jahr 2004 vom BMBF mit dem Ziel gegründet, die Kapazitäten im Bereich der neuen Forschungsdisziplin Computational Neuroscience zu bündeln, zu vernetzen und weiterzuentwickeln und besteht heute aus über 200 Arbeitsgruppen. Das Netzwerk ist benannt nach dem deutschen Physiologen Julius Bernstein (1835-1917).

Impressum

Herausgeber:

Koordinationsstelle des
Nationalen Bernstein Netzwerks Computational Neuroscience
www.nncn.de, info@bcos.uni-freiburg.de

Text, Layout:

Simone Cardoso de Oliveira

Gestaltung:

newmediamen, Berlin

Druck:

Elch Graphics, Berlin

Titelbild:

© Simone Cardoso de Oliveira, Bernstein Koordinationsstelle



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung