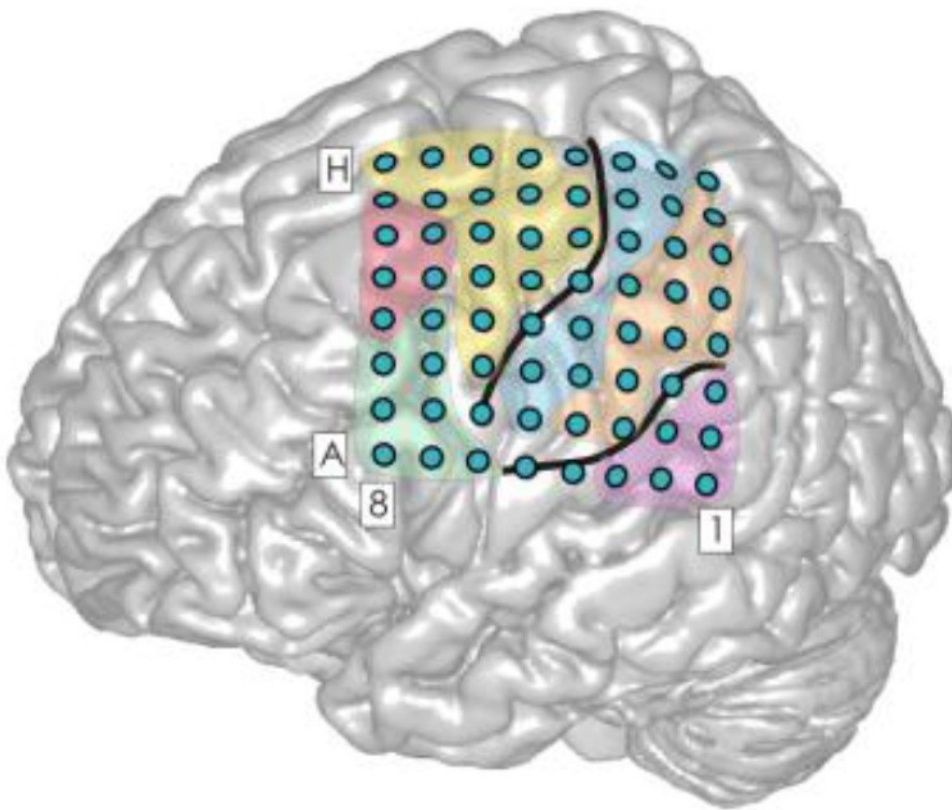


Brain mapping - Das Gehirn belauschen

Obwohl sich seit Jahrzehnten zahlreiche Wissenschaftler mit der Funktionsweise des Gehirns beschäftigen und vieles schon bekannt ist, gilt das Denkgorgan noch heute als eines der größten Rätsel der Forschung. Während strukturelle Gegebenheiten wie Zell- und Axonverteilung lediglich post mortem kartierbar sind, lassen sich funktionelle Eigenschaften wie Motorik oder Sensorik nur in vivo, also am lebenden Organismus erfassen. Dr. Tonio Ball und seine Kollegen vom Exzellenzcluster BrainLinks-BrainTools der Universität Freiburg sind der Bewegungssteuerung auf der Spur. Sie belauschen die Aktivität des Gehirns bei alltäglichen Bewegungen mithilfe von Elektroden auf der Hirnoberfläche.

Ein grundlegendes Ziel der Neurowissenschaften besteht schon seit Langem darin, weitreichende Informationen wie Entsprechungen und Lokalisationen aus dem Hirn zu erhalten. Ein Weg hierzu sind die elektrischen Impulse, die beispielsweise mittels Elektrokortikogramm (ECoG) direkt an den Nervenzellen ableitbar sind. Da häufig Funktion und Struktur, also der gewebliche Aufbau im Gehirn, in Beziehung stehen, ist das Ziel im "Brain Mapping", das Gehirn zu kartieren. „Sehr viel an detaillierter Bewegungsinformation ist in den Signalen an der Hirnoberfläche repräsentiert“, sagt Dr. Tonio Ball vom Bernstein Center und dem Exzellenzcluster BrainLinks-BrainTools der Universität Freiburg.

Komplexer Methodenmix



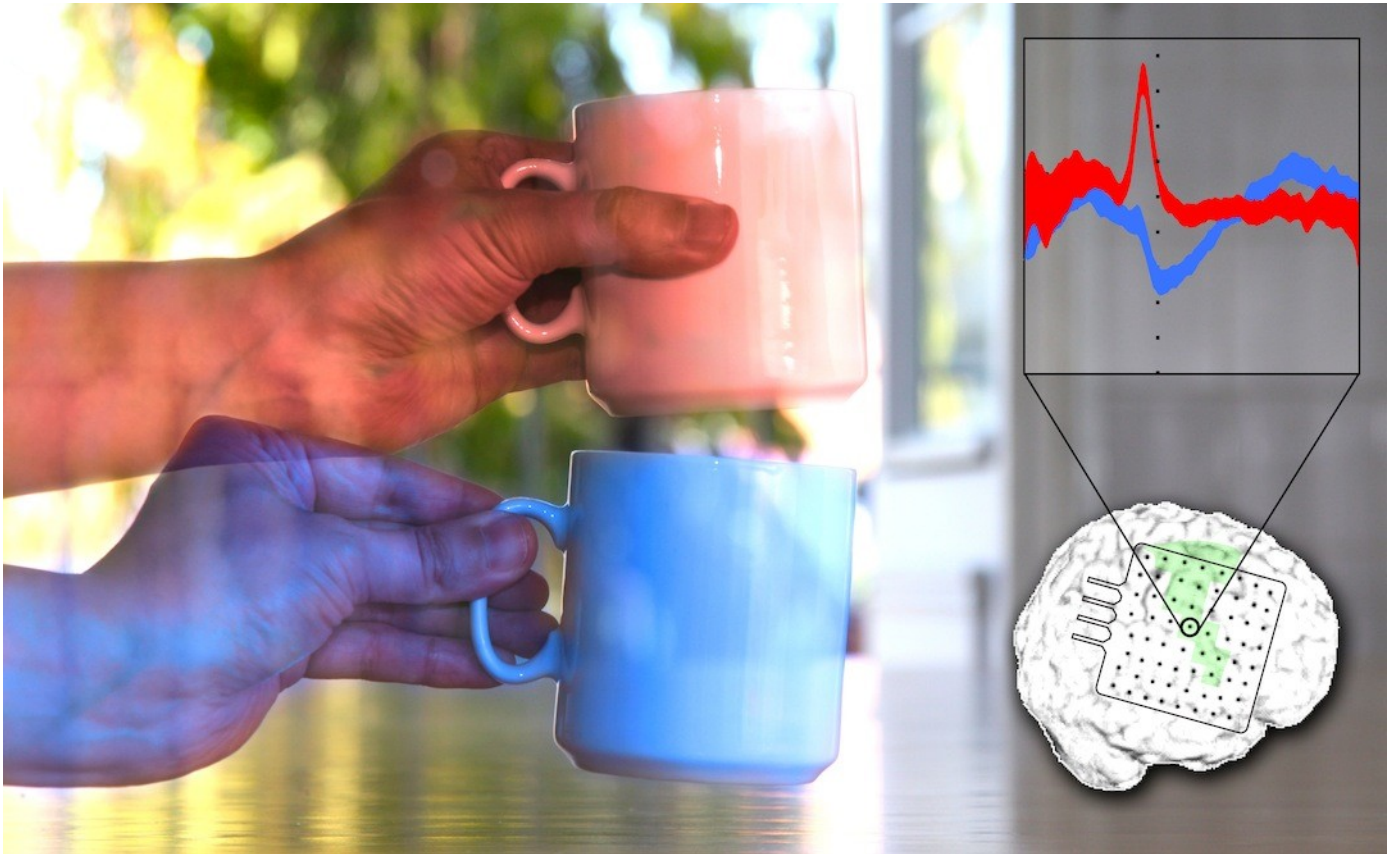
ECoG-Elektroden auf dem motorischen (gelb) und sensorischen (blau) Cortex
© Usai, Brain activity during turn-taking in natural conversations (2012)

Viele Funktionen jedoch sind nicht eindeutig lokalisierbar und entstehen erst im Zusammenspiel verschiedener Hirnregionen miteinander. Für sinnvolle Kartierungen sind daher komplexe Methodensynergien nötig. „Uns interessiert die Frage sehr, welche Aspekte von Bewegung wir aus den Signalen auslesen können“, erklärt Ball, „dabei stammt die meiste Information, die wir bisher bekommen haben, aus der Phase der Bewegungsausführung.“ Doch sei die sensorische Rückmeldung vom Muskel zurück zum Hirn stets untrennbar mit den Signalen verbunden, die das motorische Kommando zur Arm- und Beinlenkung aussenden.

Bis zu einem gewissen Grad lässt sich die räumliche Zuordnung zu definierten Hirnarealen tatsächlich exakt bestimmen, da es auf der einen Seite eine Prädominanz für motorische und auf der anderen Seite vorwiegend für sensorische Areale gibt. Allerdings ist die Trennung eben nicht absolut. Würde man nun die Planungsphase bei einer Bewegung mit einbeziehen, also nur die Idee, eine bestimmte Handlung auszuführen, ließe sich theoretisch das sensorische Feedback weitgehend ausschließen, das zum reinen Signal hinzukommt. Das ist es unter anderem, woran Ball und seine Kollegen forschen, um etwa gemeinsam mit der aus der Universität Freiburg ausgegründeten Firma CorTec GmbH Neuroprothesen zu entwickeln.

Die Messung von Signalen findet entweder als EEG (Elektroenzephalogramm) auf der Kopfoberfläche oder als ECoG auf der Gehirnoberfläche statt. Was die Genauigkeit der Daten angeht, liegen laut Ball offenbar Welten dazwischen, da im ECoG die Elektroden direkt auf dem Nervengewebe aufliegen und so viel präzisere Einblicke liefern können.

Eine geschenkte Informationsquelle



Unterschiedliche natürliche Griffarten führen zu differenzierbaren ECoG-Signalen im Motorcortex (rote vs. blaue Kurven), die eine Entschlüsselung aus einzelnen Versuchsdurchgängen ermöglichen.
© Gunnar Grah, Tobias Pistohl, Tonio Ball

Die Patienten der von Ball und seiner Arbeitsgruppe durchgeführten Studien sind bisher vorwiegend Epilepsiekranken. Diesen wurden im Rahmen einer prächirurgischen Diagnostik zur Bestimmung des Ursprungsortes der Anfälle bereits Elektroden implantiert. Bei den Patienten, die eine fokale Epilepsie aufweisen, wird so die Möglichkeit abgeklärt, den umschriebenen Bereich im Hirn, von dem ein Anfall ausgeht, operativ zu entfernen. Gleichzeitig werden zur permanenten Überwachung der neuronalen Eigenaktivität auch sämtliche normalen Alltagsbewegungen sowie deren Entsprechung im Gehirn mit aufgezeichnet. Eben diese natürlichen Bewegungen machen sich Ball und sein Team nun zunutze, um ökologisch valide Daten zu bekommen, das heißt, Ergebnisse, die auf Alltagsbedingungen übertragbar sind.

„Die Daten aus experimentellen Studien, in denen die Probanden unnatürliche Bewegungen viele Male wiederholen mussten, sahen manchmal seltsam aus“, so Ball, „wir hatten funktionelle Antworten in Bereichen, wo wir sie nicht erwartet hätten.“ Seine Vermutung: Die Aufgaben im Experiment, die Zehen anzuheben und zu senken, einen Finger zu strecken und zu beugen, waren zu abweichend von dem, was wir als alltägliche Bewegungen ausführen. Stattdessen sind die hier verwendeten Bewegungen solche, wie wir sie vielfach im richtigen Leben vollführen ohne darüber nachzudenken: Kaffeetasse greifen, mit dem Fuß die Bettdecke beiseiteschieben oder die Knie anwinkeln, um gemütlicher zu sitzen.

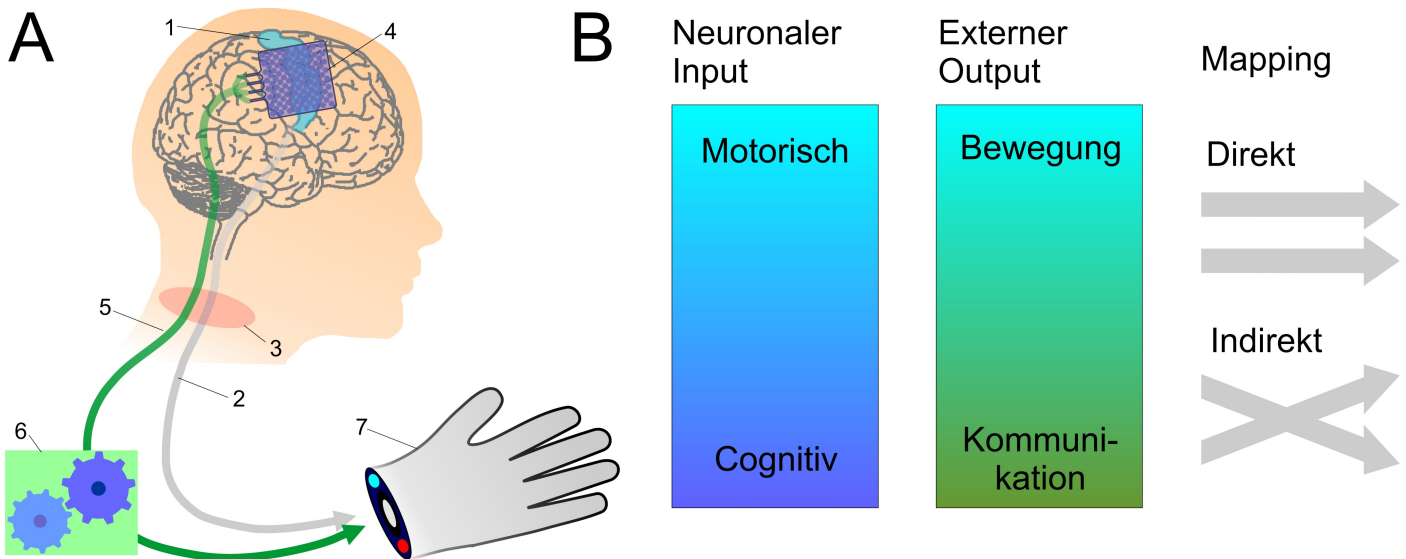
Höhere ökologische Validität

„Gehirnaktivitäten unter alltäglichen Bedingungen sind weitgehend ein weißer Fleck auf der Forschungskarte“, erläutert der Mediziner, „jedoch sind sie gar nicht so chaotisch wie bisher angenommen und sie entziehen sich auch nicht grundlegend der Untersuchung - im Gegenteil: bestimmte Effekte sind sogar unter natürlichen Bedingungen klarer zu erkennen als im Experiment.“ Darüber hinaus gibt es viele Patienten, etwa kleine Kinder, bei denen Experimente nicht gut durchführbar sind. Auch hier kommt Balls Ansatz ins Spiel. „Die spontane natürliche Bewegung liefert uns eine sehr gute Korrespondenz zu den erwarteten anatomischen Arealen“, sagt Ball, „die Daten sehen viel sinnvoller aus, weil die Bedingungen besser das widerspiegeln, wofür das Gehirn gebaut wurde.“

Zu vermuten ist, dass die neuen Erkenntnisse die Genauigkeit der prächirurgischen Diagnostik erhöhen können. Wichtig ist es, vor operativen Eingriffen im Gehirn beispielsweise das Sprachzentrum zu lokalisieren, um Aphasien oder andere Störungen zu vermeiden. Bei Arm- und Beinbewegungen ist die prächirurgische Diagnostik von Interesse, da Handlähmungen und Gehstörungen potenzielle postoperative Folgen darstellen können.

Brain-Machine-Interfaces

Der zentrale Fokus für Tonio Ball ist die Herausforderung, an besseren Elektroden, besseren Messmethoden, „also an besseren Ohren zu arbeiten, um das Gehirn zu belauschen“, wie er sagt. „Andererseits müssen wir dann aber die Signale, die wir messen, auch besser verstehen lernen“, weiß er, „und das auf der Ebene von Zellen, lokalen Netzwerken sowie globaler Organisation im Gehirn.“ Insgesamt ist der Mediziner der Meinung, dass es eine genaue und evidenzbasierte Kartierung des menschlichen Gehirns bereits gibt, diese jedoch durch die laufende Forschung immer weiter vervollständigt und verbessert werden muss.



Brain-Machine-Interface (BMI): (A) 1. Motorcortex, 2. Verbindung Neurone vom Motorcortex zum Rückenmark, 3. Läsion zwischen Gehirn und Muskel, 4. Implantierte Elektrode zur Messung der Gehirnaktivität, 5. System zur Signalübertragung, 6. Bestimmung von Bewegungsinformation aus neuronalen Daten, 7. Künstlicher Effektor. (B) Der „neuronal Input“ eines BMI kann aus einem motorischen oder einem kognitiven Signal bestehen. Darüber können Bewegungen sowie Kommunikation gesteuert werden.

© modifiziert von Tonio Ball aus dem frei zugänglichen Artikel Thines-Elker et al., Intention concepts and brain-machine interfacing research, Frontiers in Cognition (2012)

In der medizinischen Anwendung sind sogenannte Brain-Machine-Interfaces in der Entwicklung, die als Schnittstelle zwischen Gehirn und Computer zum Beispiel Schwerstgelähmten das Leben erleichtern sollen. Zusammen mit Prof. Wolfram Burgard, einem führenden Experten für autonome Roboter, arbeitet Tonio Ball im Rahmen des Freiburger Exzellenzclusters BrainLinks-BrainTools an sogenannten intelligenten Neuroprothesen. Diese Halbroboter haben das Ziel, jenen Patienten neue Möglichkeiten zur Bewegungs- und Kommunikationskontrolle bereitzustellen. Derzeit ist ein solches Implantat zwar noch in der Entwicklungs- und Zertifizierungsphase, aber Ball bekräftigt: „Da sind wir optimistisch, dass wir bald so weit sind.“