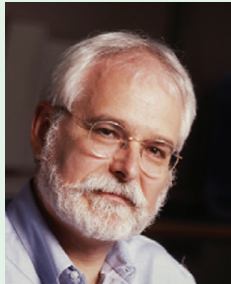


## Neurotechnologie: Verschmelzung von Geist und Maschine



*Von John P. Donoghue*

Wenn es uns gelingt, unser Wissen aus Neurowissenschaften, Technik, Mathematik und Informatik so zu nutzen, dass wir ein geschädigtes Nervensystem wiederherstellen können, werden wir ein neues Zeitalter der Neurotechnologie einläuten können. Mitte der 1990er-Jahre haben wir damit begonnen, eine Neu-

rotechnologie zu entwickeln, die es gelähmten Menschen ermöglichen soll, ihre Bewegungsfähigkeit wiederzuerlangen. Drei entscheidende Punkte ließen diese Möglichkeit realistisch erscheinen: Erstens war es uns gelungen, Armbewegungssignale aus dem Gehirn aufzuzeichnen. Eine Methode dafür, die Aktivität vieler Neuronen über einen langen Zeitraum hinweg nachzuvollziehen, stand uns damals noch nicht zur Verfügung. Glücklicherweise begegnete ich dem biomedizinischen Ingenieur Dick Normann, der eine Formation von 100 Mikroelektroden in der Größe einer Antibabypille erfunden hatte (Abb.). Gemeinsam mit dem Studenten Ed Maynard entwickelten wir die Formation zu einem nützlichen Langzeitsensor weiter. Zweitens konnten meine Kollegen Liam Paninski, Matt Fellows und Nicho Hatsopoulos eine große Menge an Zellaktivität aus dem primären Motorcortex (M1) aufzeichnen und in einfache Signale übersetzen, die Bewegungen der Hand im Raum spezifizierten. Drittens war es dank entscheidender Fortschritte in der Computertechnologie und Elektronik mög-

lich, diese Decodierung in Echtzeit durchzuführen – also fast so schnell, wie eine Hand für eine Bewegung braucht, nachdem der Cortex ihr den Befehl dazu erteilt hat.

Vor diesem Hintergrund führte einer meiner Studenten, Misha Serruya, 2002 ein bahnbrechendes Experiment durch. Misha zeigte, dass ein Affe ein Videospiel spielen konnte und dabei ausschließlich Nervensignale aus dem M1 verwendete, ohne die übliche Bahn über Rückenmark, Spinalnerven und Armmuskulatur zu Hilfe zu nehmen. Dieses Ergebnis nannten wir „Gedanken in Handlungen umsetzen“. Wir ließen den Affen ein Computerspiel namens „Pinball“ spielen und zeichneten dabei Informationen aus seinem M1 auf. Anschließend analysierten wir die Entladungsmuster der Nervenzellen und fanden eine Decodiermethode, mit deren Hilfe wir die Handbewegungen des Affen vorhersagen konnten. Daraufhin verwendeten wir ausschließlich die decodierte Aktivität aus dem Hirn des Affen, um den Cursor auf dem Bildschirm zu bewegen – und es funktionierte!

Nach diesem Experiment waren wir davon überzeugt, dass wir den gleichen Ansatz verwenden konnten, um bei gelähmten Menschen die Bewegungssignale wiederherzustellen. Allerdings ist es eine knifflige Aufgabe, Ergebnisse aus Laborversuchen mit Tieren auf klinische Versuche mit Menschen zu übertragen und schließlich die entsprechenden medizinischen Geräte zu finden. Bei Versuchen am Menschen müssen umfangreiche Tests stattfinden und zahlreiche Regeln beachtet werden, bevor die zuständigen Kontrollgremien grünes Licht geben. Im Jahre 2002 half ich beim Aufbau einer Firma, Cyberkinetics, die die Ergebnisse

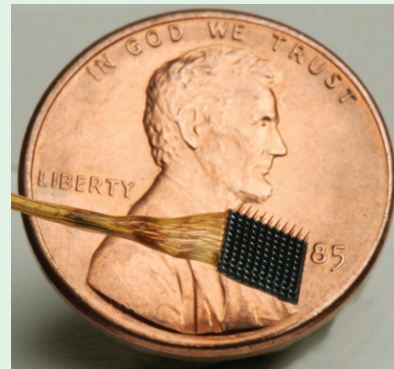
unserer Laborarbeit umsetzen und ein Gerät entwickeln sollte, gelähmte Menschen wieder in die Lage zu versetzen, mit ihrer Umwelt zu interagieren.

Im Laufe des nächsten Jahres entwickelte das Unternehmen „Brain-Gate“, eine für den Menschen bestimmte Version des Aufzeichnungs- und Decodiersystems, das wir in meinem Forschungslabor entwickelt hatten. Nachdem unser Forschungsprojekt die verschiedenen Genehmigungsinstanzen durchlaufen hatte, die bei Versuchen am Menschen erforderlich sind, konnten wir das Gerät erstmals bei Patienten mit Tetraplegie (einem Zustand, bei dem weder Hand- noch Beinbewegungen möglich sind) implantieren. Der erste Versuchsteilnehmer war ein Mann, der infolge einer Rückenmarksverletzung durch eine Stichwaffe tetraplegisch geworden war. Die Implantation des „Brain-Gate“ erfolgte im Juni 2004 am Rhode Island Hospital der Brown University durch den Neurochirurgen Gerhard Friehs. Nach einem Monat Genesungszeit zeichneten wir erstmals Signale aus dem Implantat des Patienten auf. Wir konnten sofort eine neuronale Aktivität beobachten, und die kortikalen Neuronen veränderten ihr Entladungsverhalten, sobald der Patient daran dachte, seine Hand nach links und rechts zu bewegen. Das waren wichtige Meilensteine: Drei Jahre, nachdem die Verletzung ihm jede Sinnesempfindung und Bewegungskontrolle der Extremitäten und des Körpers geraubt hatte, löste der bloße Gedanke an Bewegung noch immer eine Neuronenaktivität aus.

Ein Jahr lang untersuchten wir die Entladungsmuster der Neuronen des Patienten, um zu verstehen, wie wir die Aktivität der Neuronen nutzen und sie wieder in verlässliche Kontrollsignale umwandeln konnten. Unser Versuchsteilnehmer war in der Lage, einen Computercursor zu kontrollieren und einfache E-Mail- und Zeichenprogramme

zu verwenden. Er konnte „Pong“, eines der ersten Videospiele, spielen und ein Fernsehgerät betätigen. Außerdem war er in der Lage, eine Handprothese zu öffnen und zu schließen und einen einfachen Roboterarm zu steuern, mit dem er Objekte greifen und bewegen konnte. Das waren einfache, aber eindrucksvolle Darbietungen.

Es bedarf noch vieler technischer Entwicklungen, bevor Neuroprothesen zu alltäglichen Hilfsmitteln für gelähmte Menschen werden. Ein weiteres langfristiges Ziel besteht darin, die Verbindung zwischen Gehirn und Muskeln mithilfe eines elektrischen Stimulationssystems direkt wiederherzustellen, sodass die Extremitäten durch Gedanken bewegt werden können. Wir hoffen, dass diese Methode eines Tages so funktionieren wird, dass wir einen Menschen mit einer Rückenmarksverletzung nicht mehr von einem nicht-behinderten Menschen unterscheiden können.



**Die Größe einer Mikroelektrodenformation im Verhältnis zu einer Münze.**