

11. Berliner Kolloquium der Gottlieb Daimler- und Karl Benz-Stiftung  
in Zusammenarbeit

mit dem Bernstein Center for Computational Neuroscience Berlin  
und dem Universitätsklinikum Charité Berlin

am 9. Mai 2007 in der Akademie der Konrad-Adenauer-Stiftung, Berlin

# Gedankenforscher

## Was unser Gehirn über unsere Gedanken verrät

Leitung: Prof. Dr. John-Dylan Haynes und Prof. Dr. Gabriel Curio

### Einführung

*Kristina Vaillant, Berlin*

Verstand, Gefühl und Bewusstsein, Gedächtnis, Sprache, Wahrnehmen, Erkennen, Lernen und Entscheiden – alle diese geistigen Prozesse und Erlebnisse spielen sich in der grauen Masse ab, den Milliarden Nervenzellen, aus denen unser Gehirn besteht. Wie die Informationsverarbeitung, die Steuerung von Bewusstseinsprozessen und Verhalten im Einzelnen vor sich gehen und wie unsere Gedanken durch diese Hirnprozesse realisiert werden, darüber gibt es noch keine Gewissheit. Was die Hirnforschung aber schon jetzt nachweisen kann, ist, dass bestimmte Aktivierungsmuster im Gehirn zuverlässig mit bestimmten Gedanken korrelieren. Diese Erkenntnisse beruhen einerseits auf Messungen mit nicht-invasiven, also außen am Schädel ansetzenden Untersuchungsmethoden wie der Elektroenzephalographie (EEG) und der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT), sowie andererseits auf Messungen direkt am Hirn (invasive Methode). Da die moderne Gehirn-Bildgebungstechnologie es erlaubt, dem Gehirn sozusagen „live“ bei der Arbeit zuzuschauen, haben Hirnforscher in jüngster Zeit begonnen Techniken zu entwickeln, mit denen die Gedanken und Gefühle ihrer Testpersonen aus der Hirnaktivität abgelesen und vorhergesagt werden können – bisweilen sogar noch bevor sie dem Probanden selbst bewusst werden. Damit werden Fragen aufgeworfen, die unser Selbstverständnis radikal verändern könnten: Wenn man immer besser voraussagen und kontrollieren kann, was Menschen fühlen und denken, ist dann unser Menschenbild, die Grundlage unseres Denkens und Handelns in Frage gestellt?

### **Das Gehirn als Untersuchungsobjekt: vom Schädel bis zu den Neuronen**

Die ersten experimentellen Untersuchungen des Gehirns stellte der römische Arzt Galen im 2. Jahrhundert n. Chr. an. In den folgenden Jahrhunderten, insbesondere aber seit Beginn der Renaissance, haben Wissenschaftler immer mehr einzelne Teile des Gehirns beschrieben und benannt. So prägte beispielsweise der Anatom Julius Caesar Aranzi im 16. Jahrhundert den Begriff Hippocampus für den Teil des Gehirns, der bei der Erinnerung und der räumlichen Orientierung eine wichtige Rolle spielt und dessen geschwungene Form der eines Seepferdchens ähnelt. Den Beweis dafür, dass es im Gehirn tatsächlich spezialisierte Regionen gibt, wurde erst 1861 von dem französischen Neurologen und Anthropologen Paul Broca mit der Entdeckung des Sprachzentrums in der unteren Stirnhirnwindung erbracht. Diese Entdeckung machte Broca, als er bei einem Patienten nach der Ursache für dessen Sprachstörungen fahndete, die nach einer Verletzung dieser Hirnregion aufgetreten waren.

Von den äußerlich unterscheidbaren Gehirnstrukturen dringt die Forschung heute mittels neuer Messtechniken immer weiter bis zu den kleinsten Einheiten des Gehirns vor. So beschäftigt sich der Neurobiologe Christof Koch (California Institute of Technology) seit zwei Jahrzehnten mit der Frage, auf welchen molekularen und neuronalen Prozessen die Informationsverarbeitung im Gehirn basiert und ist auf der Suche nach einer besonderen Gruppe von Nervenzellen im Gehirn, die dem Phänomen des Bewusstseins zugrunde liegen. Das Ergebnis dieser Suche wäre – analog zur Entschlüsselung der Gene – die Entschlüsselung des Bewusstseins.

### **Computerberechnete Bilder: Technologien für das „Gedankenlesen“**

Seit der Entdeckung des Sprachzentrums durch Broca ist die Liste der im Gehirn identifizierten Areale oder Strukturen, die mit bestimmten geistigen Fähigkeiten korrelieren, mit jedem Experiment länger und länger geworden. Es war aber erst die von dem deutschen Neurologen und Psychiater Hans Berger erfundene Elektroenzephalographie (EEG), die den Traum vom „Gedankenlesen“ greifbar machte. Hans Berger hatte 1924 erstmals die elektrische Hirnaktivität eines Patienten gemessen. Die an der Kopfhaut aufgesetzten Elektroden leiteten die Spannungsschwankungen an der Kopfoberfläche ab und wurden im Elektroenzephalogramm als Zickzacklinien dargestellt. Es dauerte einige Jahre bis die Tragweite seiner Entdeckung erkannt wurde, heute gehört die Elektroenzephalographie zu den Standardverfahren der medizinischen Diagnostik. Bei Patienten, die unter epileptischen Anfällen leiden, implantieren Ärzte einzelne Elektroden unter der Schädeldecke oder sogar tief im Gehirn, um die Hirnregion ausfindig zu machen, von der die Anfälle ausgehen. Mit diesen tief sitzenden Elektroden lassen sich dann mit den entsprechenden Verfahren sogar die Aktionspotenziale oder das „Feuern“ einzelner Nervenzellen messen.

Neben dem EEG ist die wichtigste nicht-invasive Methode zur Untersuchung der Aktivität des Gehirns die funktionelle Magnetresonanztomographie

(fMRT). So wie man sich mit dem EEG die elektrischen Effekte aktiver Nervenzellen im Gehirn zunutze machte, um die Hirnaktivität abzubilden, beruht die fMRT auf Erkenntnissen der Kern- und Biophysik und nutzt die magnetischen Eigenschaften des Blutes.

Die funktionelle Magnetresonanztomographie ist eine Weiterentwicklung der MRT-Technologie und macht nicht nur Aufbau und Struktur des Gehirns sichtbar, sondern misst und lokalisiert auch seine Funktionen (daher das Attribut „funktionell“). Der Proband oder Patient liegt in einer Röhre, in der ein extrem starkes Magnetfeld in Kombination mit Radiowellen Signale erzeugt. Diese Signale bilden die neuronale Aktivität indirekt ab, und zwar mittels eines physiologischen Effektes, des so genannten BOLD-Kontrasts (BOLD steht für blood-oxygenation-level-dependent). Direkt gemessen werden also Stoffwechselprozesse im Gehirn, genauer gesagt Veränderungen des Sauerstoffgehaltes im Blut, die durch den Energiebedarf aktiver Nervenzellen hervorgerufen werden und durch die sich die magnetischen Eigenschaften des Blutes verändern. Bei dieser Untersuchungsmethode – auch als Gehirnscan bezeichnet – ist die hohe räumliche Genauigkeit der Messungen von Vorteil. Ein Gehirnsan macht Strukturen von 1 bis 3 Millimeter Größe sichtbar, die zeitliche Auflösung liegt allerdings unter der Leistungsfähigkeit eines EEG.

Die Messgeräte liefern riesige Datenmengen, aus denen leistungsfähige Computerprogramme Bilder berechnen. Die generierten Hirnbilder sind daher keine ‚fotografischen‘ Aufnahmen des Gehirns, sondern zeigen Aktivierungsmuster des Gehirns auf der Grundlage physikalischer Messwerte, die vom Computer ausgewertet und anhand festgelegter Algorithmen ‚verrechnet‘ werden. Noch genauere Messungen der Hirnaktivität verspricht sich die Forschung von einem kombinierten Verfahren: Das so genannte „multimodale Imaging“, die Kombination der hohen zeitlichen Auflösung der EEG-Technologie mit der hohen räumlichen Auflösung der fMRT, könnte Abbildungen der Gehirnaktivität in Zukunft weiter präzisieren.

### **Den Gedanken auf der Spur**

Die rapide Verbesserung von EEG und bildgebenden Verfahren seit den 1990er Jahren und die enorme Entwicklung der Rechenkraft von Computern hat zusammen mit neuen mathematischen Auswertungstechniken einen Boom auf dem Gebiet der Hirnforschung ausgelöst. Vor einigen Jahren begnügte sich die Hirnforschung noch damit festzustellen, welche großräumigen Gehirnregionen zum Beispiel mit dem Sehen und nicht mit dem Hören oder Fühlen beschäftigt sind. Erst in den letzten Jahren kamen Ansätze auf, die es erlaubten, die spezifischen Inhalte der Gedanken einer Person aus der Hirnaktivität herauszulesen. So konnte beispielsweise anhand von Hirnbildern mit großer Genauigkeit bestimmt werden, ob sich Probanden im Moment des Hirnscans ein Gebäude oder ein Gesicht vorgestellt hatten. Dabei machen sich Wissenschaftler die Tatsache zunutze, dass jeder Gedanke mit einem charakteristischen Aktivierungsmuster im Gehirn einhergeht. In Analogie zu Fingerabdrücken kann man sich solch ein Muster als einen einzigartigen, unverwechselbaren „Abdruck“ eines

Gedankens im Gehirn vorstellen. Um diese typischen Muster zu erkennen werden seit einiger Zeit komplexe Computerprogramme verwendet – ähnlich denen die in Polizeicomputern zum Einsatz kommen, um Fingerabdrücke zu erkennen. Dabei war ein wesentlicher Erkenntnisfortschritt, dass die feinen Details unserer Gedanken und Erlebnisse, also beispielsweise welches Bild oder welche verborgene Absicht sich ein Mensch vorstellt, in den feinkörnigen Aktivitätsmustern einzelner Hirnareale gespeichert sind.

Neueste Experimente weisen darauf hin, dass sogar noch unbewusste Gedanken an diesen Verteilungsmustern der Hirnaktivität abgelesen werden können. Anfang 2007 hat der Hirnforscher und Psychologe John-Dylan Haynes (Bernstein Center for Computational Neuroscience Berlin) in einem Versuch nachgewiesen, dass verborgene Absichten abgelesen werden können, noch bevor Probanden eine Entscheidung, in diesem Falle zwei Zahlen entweder zu addieren oder zu subtrahieren, bewusst getroffen und ausgeführt hatten. Damit wurde demonstriert, dass sich diese Untersuchungsmethoden auch auf komplexe mentale Situationen, wie das Kopfrechnen anwenden lassen.

### **Gedanken lesen, mit Gedanken bewegen**

Der an einer umfassenden Theorie des Bewusstseins auf neuronaler Ebene arbeitende Wissenschaftler Christof Koch stellt sich als mögliches Resultat seiner Forschung eine Art „Bewusstseinsmessgerät“ („conscious-ometer“) vor, das das Vorhandensein von Bewusstsein zum Beispiel bei Frühgeborenen oder hirngeschädigten Patienten misst. Versuche, die in diese Richtung weisen, unternimmt bereits der Neurologe Adrian M. Owen (MRC Cognition & Brain Sciences Unit, Cambridge). Mit Hilfe der funktionellen Bildgebung ist es ihm gelungen verbliebene kognitive Fähigkeiten und darüber hinaus sogar subjektiv erfahrenes Bewusstsein bei einigen Wachkoma-Patienten nachzuweisen. Diese Restfunktionen des Gehirns könnten für Wachkoma-Patienten oder Patienten, die unter dem Locked-in-Syndrom leiden (vollständig erhaltenes Bewusstsein, aber nahezu unfähig, sich sprachlich oder durch Bewegungen mitzuteilen), neue Möglichkeiten der Kommunikation eröffnen: Sie könnten ihre verbliebenen kognitiven Fähigkeiten nutzen, um ihre Gedanken mitzuteilen. Um diese Hirnaktivität herauszulesen und in Signale zur Steuerung von Hilfsmitteln wie eine „Gehirnschreibmaschine“ umzuwandeln, werden so genannte Gehirn-Computer Schnittstellen (brain-computer interfaces, BCIs) entwickelt. Die verbliebenen Gehirnströme der Patienten werden in einen Computer eingespeist, der „gelernt“ hat diese Signale als „Gehirnabdruck“ eines bestimmten Gedankens zu erkennen und so weiterzuverarbeiten, dass nicht nur Computer-Cursor gesteuert und „mentale Schreibmaschinen“ bedient, sondern auch virtuelle Prothesen oder Computerspiele kontrolliert werden können.

Eine besondere Schwierigkeit stellt das „Training“ der Gehirn-Computer-Schnittstelle selbst dar, aber auch der Nutzer muss erst lernen, seine Gehirnströme nach einem festgelegten Parameter zu „dirigieren“. Um den Nutzern das Lernen zu erleichtern, wird ihnen einerseits ihre eigene Hirnaktivität auf dem Bildschirm „vorgespielt“, und andererseits nehmen sie die mit ihrer Hirn-

aktivität ausgelöste Bewegung – zum Beispiel die eines Computer-Cursors oder eines Roboterarms – wahr und können darauf reagieren. Auf diese Art und Weise entsteht eine Art Kreislauf oder Biofeedback-Mechanismus. Wie der Kognitionspsychologe Rainer Goebel in einem Experiment demonstriert hat, können mit Hilfe dieses Kreislaufs sogar zwei Versuchspersonen über die Gehirn-Computer-Schnittstelle miteinander interagieren. In seinem Experiment spielten zwei in einem MRT liegende, räumlich voneinander getrennte Probanden auf dem Computerbildschirm miteinander ein Pingpong-Spiel. Miguel A. L. Nicolelis, Professor für Neurowissenschaften (Duke University Medical Center, Durham), hat Versuche mit solchen BCIs vor allem mit Affen realisiert und geht davon aus, dass das Wahrnehmen der eigenen Hirnaktivität und deren Übersetzung, beispielsweise in die Bewegung eines Roboterarms, auf bestimmte Areale des Gehirns zurückwirkt und die physiologischen Eigenschaften der Neuronen in den Arealen der Großhirnrinde verändert, die der Bewegung und der Wahrnehmung zuzuordnen sind. Diese Kommunikation zwischen Mensch und Maschine wiederum, so Nicolelis, könnte ein Hinweis darauf sein, dass sich Neuroprothesen als „Werkzeuge“ so in die Arbeitsstrukturen des Gehirns integrieren lassen, dass sie wie eine dem Körper eigene „Verlängerung“ der Gliedmaßen funktionieren.

### **Grenzen und Grenzüberschreitungen**

Bis die Technik des „Gedankenlesens“ für eine Anwendung außerhalb der Forschung ausgereift ist, werden noch ein paar Jahrzehnte vergehen. Davon ist John-Dylan Haynes überzeugt: „Viele wesentliche Fragen sind noch ungelöst. Zum Beispiel sind wir noch nicht in der Lage einzelne Gedankeninhalte isoliert von ihrem Gesamtzusammenhang zu identifizieren. Auch die Tatsache, dass es unendlich viele mögliche Gedanken gibt, die Zeit sie einem Computer ‚anzutrainieren‘ aber begrenzt ist, stellt im Moment noch eine unüberwindliche Hürde dar“. Allerdings, darauf macht der Neurologe und Psychiater Gabriel Curio von der Neurologischen Klinik der Charité in Berlin aufmerksam, „werden sich diese Konzepte mit rasender Geschwindigkeit weiterentwickeln.“ Und dabei geht das Erkenntnis- und Anwendungspotenzial der Gedankenforschung weit über die oben genannten Beispiele hinaus. Es reicht von der Erforschung und Therapie neuro- und psychopathologischer Erkrankungen über die Kontrolle und Manipulation menschlichen Verhaltens, beispielsweise durch Neuropharmaka, bis zur Entwicklung von Hightech-Lügendetektoren. Für den Philosophen und Neuroethik-Experten Thomas Metzinger verändert aber allein schon dieses Potenzial, das die Hirnforschung bietet, in dramatischer Weise unser Menschenbild. Philosophen und Neurowissenschaftler sind sich deshalb einig, dass „wir schon jetzt darüber reden müssen, welchen Nutzen die Menschen aus diesen Anwendungen ziehen können und welche Gefahren sie möglicherweise mit sich bringen“, so Haynes.

Aus philosophischer Sicht ist umstritten, ob man mit naturwissenschaftlichen Methoden überhaupt Gedanken „lesen“ kann oder ob die Gedankenforscher

nicht vielleicht doch nur auf der Ebene des „Mediums“, der „Gedankenträger“ bleiben und die Gedankeninhalte selbst niemals zu Gesicht bekommen. Dies ist aber eine Frage, die sich nicht nur der Philosoph Metzinger stellt. Auch der Neurobiologe Koch fragt sich, ob die Wissenschaft überhaupt mehr leisten kann, als nur die Korrelationen zwischen physischen und mentalen Ereignissen zu beobachten.