

KOGNITIONSFORSCHUNG Seit Langem wollen Forscher ergründen, wie das Bewusstsein entsteht. Steht die Lösung dieses Rätsels kurz bevor – oder sind unserer Erkenntnis prinzipielle Grenzen gesetzt?

Das Netz des Bewusstseins

VON ANDREAS K. ENGEL

Ignorabimus« – »Wir werden es nie wissen«. Mit dieser einfachen Feststellung schließt Emil du Bois-Reymond seine Rede – ein Ausspruch, der noch Folgen haben wird. Wir schreiben den 14. August 1872. Der Berliner Physiologe spricht vor der 45. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte über die Grenzen der naturwissenschaftlichen Erkenntnis, etwa wenn es darum geht, wie Hirnvorgänge und subjektives Erleben zusammenhängen. Seine Äußerungen haben Gewicht. Der 53-jährige Mediziner ist Rektor der Universität Berlin, Ständiger Sekretär der Preußischen Akademie der Wissenschaften und ein ebenso gefragter wie wortgewandter Redner.

Seine gesamte wissenschaftliche Arbeit zielt darauf ab, eine physikalische Erklärung für die elektrochemische Signalübertragung im Nervensystem zu entwickeln. Und nun sagt ausgerechnet er »Wir werden es nie wissen«?

— Wie das Bewusstsein entsteht, so argumentiert du Bois-Reymond, könne nie vollständig aus den materiellen Gegebenheiten heraus verstanden werden. Dabei appelliert er an die Intuition seiner Zuhörerschaft: Subjektive Erlebnisse wie das Fühlen eines Schmerzes, die Wahrnehmung eines bestimmten Geruchs oder unser Ich-Empfinden könnten unmöglich nur durch physikalische Vorgänge im Gehirn entstehen. Daher stoße man

1924

Dem Jenaer Psychiater Hans Berger gelingt die erste Aufzeichnung menschlicher Hirnströme per Elektroenzephalografie (EEG). Dadurch ist nun die elektrophysiologische Untersuchung unterschiedlicher Geisteszustände möglich.

1949

Der kanadische Psychologe Donald Hebb stellt seine Theorie der neuronalen »Assemblies« vor, also der Kopplung von Nervenzellen mit einer gemeinsamen Funktion. Sie gilt als wegweisend für die Erforschung neuronaler Netzwerke, die Gedächtnis und Wahrnehmung zu Grunde liegen.



1965

Die amerikanischen Neurowissenschaftler Michael Gazzaniga, Joseph Bogen und Roger Sperry veröffentlichten Untersuchungen an Epilepsiepatienten, bei denen das Faserbündel zwischen den Hirnhälften, der Balken, durchtrennt wurde. Dies führte zu einer Spaltung des bewussten Selbst.

1974

Der englische Psychologe Lawrence Weiskrantz und Kollegen beobachteten erstmals das so genannte »Blindsehen«. Dabei können Personen mit einer geschädigten Sehirinde auf visuelle Reize reagieren, nehmen diese jedoch nicht bewusst wahr.

Auf einen Blick: Eine Frage der Synchronisation

1 Bewusstsein entsteht nicht in einem einzelnen Hirnbereich, sondern durch das dynamische Zusammenwirken vieler Hirnregionen.

2 Eine zeitliche Übereinstimmung von Hirnwellen fördert offenbar die Kommunikation zwischen den beteiligten Arealen. Das ermöglicht eine gezielte Informationsübertragung auch über weit entfernte Hirnbereiche hinweg.

3 Die neuronalen Synchronisationsmuster verändern sich, wenn unser Bewusstseinsinhalt wechselt oder wenn wir in Bewusstlosigkeit abgleiten. Diese geht mit einer abnorm starken und globalen Synchronisation einher.

bei Fragen nach Bewusstsein und Subjektivität an eine prinzipielle Grenze wissenschaftlicher Erkenntnis.

Du Bois-Reymonds provozierende Rede, die Philosophen und Naturwissenschaftler entzweite, liegt bald 150 Jahre zurück. Ist das »Ignorabimus« heute nur noch eine historische Anekdote? Schließlich wissen wir mittlerweile doch so viel mehr über die organischen Grundlagen des Denkens und Fühlens.

Über viele Jahrzehnte hinweg war das Bewusstsein als Forschungsgegenstand unter Psychologen und Kognitionswissenschaftlern verpönt. Erst seit Anfang der 1990er Jahre erlebt dieses Thema – auch dank neuer Methoden wie der Neurobildgebung – einen Aufschwung. 1990 etwa forderte der prominente Molekularbiologe

und Nobelpreisträger Francis Crick (1916–2004) gemeinsam mit dem Neuroinformatiker Christof Koch, dass die naturwissenschaftliche Erforschung des Bewusstseins nun endlich vorangetrieben werden müsse. Der Neurobiologie komme dabei eine Schlüsselrolle zu – denn nur sie könne auf lange Sicht wirklich überzeugende Erklärungen liefern.

Die neueren Ansätze der Bewusstseinsforschung unterscheiden sich dabei grundlegend von den klassischen »mentalistischen« Anschauungen in der Philosophie, nach denen sich geistige Vorgänge nicht durch materielle Grundlagen erklären lassen. Stattdessen betrachten viele Wissenschaftler das Bewusstsein heute als einen Prozess, der im Lauf der Evolution entstanden ist und der für Organismen eine bestimmte Funktion hat. Mensch und Tier unterscheiden sich demnach nicht fundamental voneinander, es bestehen lediglich graduelle Unterschiede. Diese Sichtweise prägt ebenfalls die Forschung: Frühere Bewusstseinstheorien befassten sich noch vorrangig mit komplexen Formen des subjektiven Erlebens wie dem Selbstbewusstsein und seiner Beziehung zu Verstand und Vernunft. Heute dagegen untersuchen Wissenschaftler auch elementare Bewusstseinszustände, die der Mensch aller Wahrscheinlichkeit nach mit anderen Säugetieren teilt, etwa das bewusste Erleben einfacher Sinnesreize.

Eine sehr erfolgreiche Strategie der Forscher besteht darin, Bewusstsein in verschiedene Teilfunktionen zu



UNSER EXPERTE

Andreas K. Engel ist Professor für Neurophysiologie am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf und beschäftigt sich mit der Rolle von neuronalen Netzwerken für Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Bewusstsein. Er ist einer der beiden

Sprecher des DFG-geförderten Sonderforschungsbereichs »Multi-Site Communication in the Brain – Funktionelle Kopplung neuronaler Aktivität im Zentralnervensystem«, der sich der Funktion von Netzwerken im gesunden und kranken Gehirn widmet.

1982

Benjamin Libet, ein kalifornischer Neurowissenschaftler, zeigt in EEG-Untersuchungen, dass das Gehirn eine Entscheidung vorbereitet, bevor diese uns selbst bewusst wird.



MIT FRED. GLEN. PER. ARCHIVES AND SPECIAL COLLECTIONS, LIBRARY AND CENTER FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, SAN FRANCISCO

1988

Der US-amerikanische Psychologe Bernard Baars erklärt das Bewusstsein als »globalen Arbeitsraum«, der virtuell durch die Verschaltung zwischen unterschiedlichen Hirnarealen entsteht (»Global Workspace Theory«).

zerlegen. Das können zum einen basale physiologische Voraussetzungen sein wie Wachheit: Es ist wohl unstrittig, dass wir für bewusstes Erleben ein hinreichendes allgemeines Aktivierungsniveau aufweisen müssen und uns beispielsweise nicht im Tiefschlaf befinden dürfen. Zum anderen darf als gesichert gelten, dass es für das Bewusstsein strukturierende Hirnprozesse geben muss, welche die von den Sinnesorganen gelieferten Informationen ordnen und mit Bedeutung versehen. Ohne diese Integrationsleistung bliebe unsere Wahrnehmung eine Anhäufung bedeutungsloser Farbflecken, Geräusche und Gerüche – vielleicht dem vergleichbar, was man beim Blick in ein Kaleidoskop sieht.

Eine weitere wichtige Voraussetzung ist die Selektion. Um besonders relevante Daten gezielt verarbeiten zu können, muss das Gehirn diese erst in mehreren Stufen aus dem allgemeinen Bombardement von Sinnesinformationen herausfiltern. Dieser Prozess setzt beispielsweise ein, wann immer wir unsere Aufmerksamkeit auf etwas richten. Außerdem ist für Bewusstsein wahrscheinlich ein funktionierendes Arbeitsgedächtnis unabdingbar, denn dieses hilft uns dabei, eine Repräsentation der uns umgebenden Situation aufzubauen und unsere Handlungen über einige Sekunden hinweg zu planen. Und schließlich dürften auch Motivation und Emotionen entscheidend zum bewussten Erleben beitragen.

Schlagkräftige Neuronenverbände

Die Erforschung jeder dieser Teilfunktionen verzeichnete in den vergangenen Jahrzehnten außerordentliche wissenschaftliche Fortschritte. So kennen wir heute recht gut die Struktur und die Arbeitsweise der Hirnbereiche, die für Wachheit, sensorische Verarbeitung, Aufmerksamkeit, Gedächtnis und Emotionen zuständig sind. Weniger gut verstanden ist allerdings noch, wie all diese Teilfunktionen ineinandergreifen, so dass daraus letztlich Bewusstsein entsteht. Denn dafür müssen sich Nervenzellen in zum Teil weit voneinander entfernten

Die neue Gehirn&Geist-Serie »Kognitive Neurowissenschaft«

Welche Hirnfunktionen liegen mentalen Leistungen zu Grunde? In dieser Reihe stellen Experten die wichtigsten Fragestellungen der Disziplin vor. Im nächsten Heft schreibt Tobias Donner vom Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf über die Neurobiologie des Entscheidens.

Regionen des Gehirns zu effektiv kooperierenden Verbänden zusammenschließen, so genannten »Assemblies«. Die Koordination in solch weit verteilten Netzwerken bezeichnete der US-amerikanische Psychologe Bernhard Baars bereits vor mehr als 30 Jahren als »globalen Arbeitsraum«. Demnach würde Bewusstsein nicht in einem bestimmten Hirnareal erzeugt, sondern entstände – sozusagen virtuell – durch die Kommunikation der Hirnregionen untereinander.

Da sich der Inhalt unserer bewussten Erlebnisse allerdings ständig verändert, muss die Zusammensetzung dieser neuronalen Verbände sehr flexibel sein. Betrachten wir etwa ein Foto, so sind visuelle Areale der Hirnrinde beteiligt. Schließen wir die Augen, um einem Musikstück zu folgen, kommen auditorische Zentren ins Spiel. Zudem ist die Weiterverarbeitung der Informationen situationsabhängig. Je nachdem, wie aufmerksam wir sind und was wir gerade tun, können beispielsweise Hirnregionen für die Gedächtnisbildung oder die Handlungssteuerung stärker oder schwächer am Bewusstseinsnetzwerk beteiligt sein.

Wie also entstehen diese flexiblen Kopplungen über weit verstreute Hirnareale hinweg? Inzwischen wissen wir, dass die Synchronisation der Nervenzellaktivität dafür entscheidend ist. Die Arbeitsgruppe von Wolf Singer am Frankfurter Max-Planck-Institut für Hirnforschung entdeckte das bereits 1989 am Beispiel der Gamma-Oszillationen – das sind schnelle Hirnwellen

1989

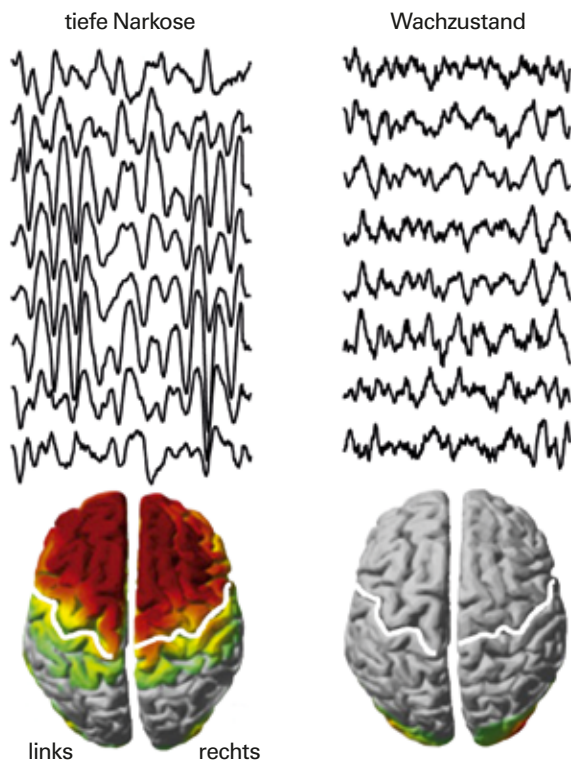
Am Frankfurter Max-Planck-Institut für Hirnforschung demonstrieren Wolf Singer und Kollegen erstmalig, dass die Synchronisation schneller Hirnwellen (so genannter Gamma-Oszillationen) wichtig ist, um visuelle Informationen zu einem ganzheitlichen Wahrnehmungseindruck zu integrieren.



ISTOCK / LATSALOMAO

1990

Der Nobelpreisträger Francis Crick und der Neurowissenschaftler Christof Koch vermuten, dass Gamma-Oszillationen einen Schlüsselmechanismus für die Entstehung von Bewusstsein darstellen.



Hirn im Gleichakt

Die Synchronisation zwischen Nervenzellen könnte entscheidend für die Entstehung von Bewusstsein sein – eine zu starke Kopplung hingegen blockiert offenbar die bewusste Verarbeitung von Reizen. Bei Probanden in Narkose zeigen sich im EEG abnorm starke und synchrone Hirnwellen (linke Spalte), die im bewussten Wachzustand nicht vorhanden sind (rechts). Dieser Anstieg der Synchronisation tritt vor allem im frontalen Bereich des Gehirns auf (in der Abbildung rot). Unter dieser Bedingung kommen sensorische Signale, etwa durch eine elektrische Reizung an der Hand, zwar im somatosensorischen Kortex an, werden aber von dort – im Gegensatz zum Wachzustand – nicht in andere Hirngebiete weitergeleitet.

mit Frequenzen von mehr als 30 Hertz. Eine Synchronisation jener Wellen ist wichtig, um einzelne visuelle Details zu einem ganzheitlichen Wahrnehmungseindruck zusammenzufügen. Mittlerweile existieren zahlreiche weitere Belege für diese Theorie. Durch die Synchronisation öffnen die Neurone gewissermaßen selektiv einen Kommunikationskanal – vergleichbar mit einer Telefonleitung für Ferngespräche –, der einen besonders effizienten Informationsaustausch ermöglicht.

Ein anderer Forschungsansatz besteht darin, geistige Zustände zu analysieren, in denen das Bewusstsein oder die Wachheit vermindert sind. Zahlreiche Studien haben sich damit beschäftigt, wie sich die Hirnaktivität im Schlaf oder unter Narkose verändert. In beiden Fällen zeigen sich klare Unterschiede zum bewussten Wachsein.

Dass sich etwa unsere Hirnwellen im Schlaf ändern, wissen Forscher schon lange. Die Entdeckung des EEG erlaubte es bereits vor fast 100 Jahren, die elektrischen Signale der Großhirnrinde im Schlaf und im wachen Zustand miteinander zu vergleichen. Die Frequenzen der Hirnwellen unterscheiden sich in den verschiedenen Schlafstadien stark voneinander: Im Tiefschlaf dominieren sehr langsame Wellen, bei leichterem Schlaf steigt die vorherrschende Frequenz, und am höchsten ist sie im Wachzustand. Hier zeigt das EEG Alpha- und Beta-Oszillationen mit Frequenzen von etwa 10 beziehungsweise etwa 20 Hertz. Sind wir dazu auch besonders aufmerksam, treten die noch schnelleren Gamma-Oszillationen auf. Interessanterweise sind diese hochfrequenten Hirnwellen auch in Schlafphasen zu beobachten, die durch schnelle Augenbewegungen gekennzeichnet sind und daher als REM-Schlaf (kurz für: rapid eye movement) bezeichnet werden. In diesen Schlafphasen träumen wir häufig – und haben somit bewusste Erlebnisse, die dem Wachzustand ähneln.

1993

Arbeiten einer finnischen Arbeitsgruppe um Hannu Tiitinen und Kollegen belegen erstmals, dass gesteigerte Aufmerksamkeit mit einer Verstärkung neuronaler Gamma-Oszillationen einhergeht.



ISTOCK / ZEYNEPOGAN

2001

Marcus Raichle und seine Kollegen von der Washington University in St. Louis weisen mittels Bildgebung nach, dass bei scheinbarem gedanklichem Nichtstun ein so genanntes Ruhenetzwerk (default mode network) im Gehirn aktiv ist. Dieses hat nach Ansicht von Forschern ebenfalls eine erhebliche Bedeutung für die Entstehung des Bewusstseins.

Es scheint daher, dass die im EEG messbaren Frequenzen mit unserem Bewusstseinsniveau in Verbindung stehen: Wachheit und bewusste Aufmerksamkeit brauchen demnach schnellere Hirnrhythmen. Doch nicht nur die Frequenzen sind wichtig, sondern auch die bereits erwähnte Synchronisation dieser Wellen zwischen verschiedenen Bereichen des Gehirns. Dies demonstrierten im Jahr 2004 Neurowissenschaftler um Marcello Massimini und Giulio Tononi an der University of Wisconsin-Madison. Sie zeichneten bei Versuchspersonen die Hirnströme im Schlaf und im Wachzustand auf. In beiden Fällen verabreichten sie ihren Probanden dann kurze, aktivierende Impulse mittels transkranieller Magnetstimulation und beobachteten gleichzeitig die Hirnaktivität. Wie zu erwarten, war am Ort der Stimulation eine Reaktion im Kortex messbar. Doch das Signal breitete sich auch in der Hirnrinde aus. Im Schlaf allerdings pflanzten sich die Wellen nur über geringe Entfernungen fort, während im Wachzustand komplexere Muster auftraten, die sich über größere Distanzen im Gehirn erstreckten. Das ist ein Hinweis darauf, dass Bewusstlosigkeit entstehen könnte, wenn Informationen in der Hirnrinde nicht mehr weitertransportiert werden. Aber woran könnte das liegen?

Alle Leitungen sind geöffnet – und das Netz ist blockiert

Dieser Frage gingen meine Kollegen Gernot Supp, Jörg Hipp, Markus Siegel und ich vor einigen Jahren nach. Wir untersuchten Personen, die eine Vollnarkose mit Propofol erhalten hatten, einem häufig verwendeten Narkosemittel. Die Ableitung der EEG-Signale zeigte, dass durch die Einnahme von Propofol abnorm synchrone Hirnwellen entstehen, vor allem in den Regionen des Frontallappens (siehe »Hirn im Gleichtakt«, links). Je tiefer die Narkose war, desto stärker war die Kopplung.

Diese Hyper-Synchronisation könnte dafür verantwortlich sein, dass uns von außen eintreffende Sinnesinformationen unter Narkose nicht bewusst werden.

Wir überprüfen dies, indem wir bei den bewusstlosen Probanden einen Hautnerv an der Handwurzel elektrisch reizen. Selbst unter tiefer Narkose war daraufhin ein Signal im somatosensorischen Kortex messbar – der ersten Empfangsstation in der Hirnrinde für diese Art von Reizen. Während solche Informationen aber im wachen Gehirn von dort aus in andere Areale weitergeleitet werden, geschieht dies unter Narkose nicht.

Offenbar führt also nur eine gezielte und nicht zu starke Synchronisation zwischen unterschiedlichen Nervenzellen zu bewusster Verarbeitung. Um beim oben erwähnten Bild zu bleiben: Während diese gemäßigte Synchronisation eine Telefonleitung zwischen ganz bestimmten Zellpopulationen öffnet, sind bei der extremen Synchronisation zu viele Leitungen gleichzeitig offen – und das Netz wird durch die ungezielte Nachrichtenflut blockiert! Daher ist kein sinnvoller Informationsaustausch mehr möglich.

Hängt die Synchronisation vielleicht nicht nur damit zusammen, dass überhaupt Bewusstsein entsteht, sondern auch mit der Art unseres bewussten Erlebens? Wie meine Arbeitsgruppe mit Hilfe der so genannten Magnetenzephalografie (MEG) nachweisen konnte, geht eine erhöhte Aufmerksamkeit mit synchronisierten Gamma-Oszillationen einher. Die Teilnehmer der Studie sollten ihr Augenmerk entweder auf die linke oder rechte Hälfte eines Bildschirms richten und auf die Bewegungsrichtung von Punkten achten, die dort zu sehen waren. Die Analyse der per MEG aufgezeichneten Hirnaktivität zeigte: Wann immer die Probanden ihre Aufmerksamkeit fokussierten, führte das zu insgesamt verstärkten Gamma-Oszillationen. Und in diesem Frequenzbereich nahm auch die Synchronisation zwischen der Sehrinde und weiteren Hirnregionen, die an der Handlungssteuerung beteiligt sind, deutlich zu.

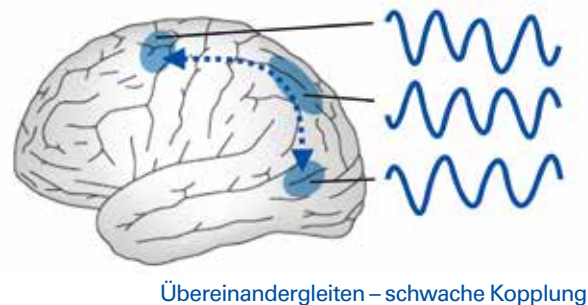
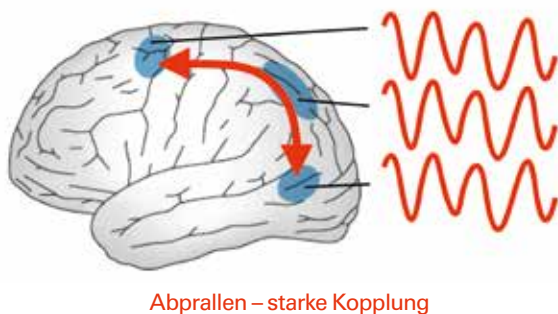
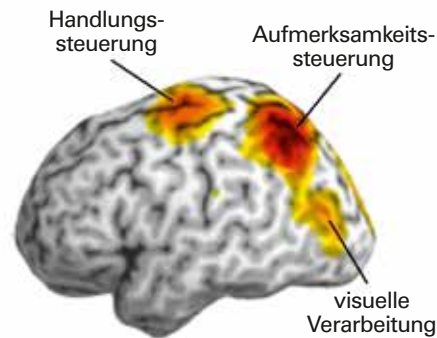
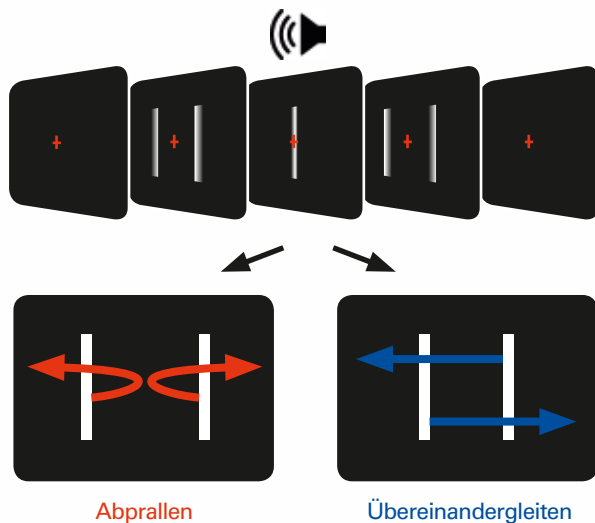
Mit Hilfe von EEG oder MEG kann man außerdem untersuchen, welche Rolle die neuronale Synchronisation bei der Veränderung des aktuellen Bewusstseinsinhalts spielt. Aufschlussreich hierfür sind Experimente

2004

Der amerikanische Neurowissenschaftler Giulio Tononi formuliert die »Integrated Information Theory«, der zufolge die Fähigkeit zur Integration komplexer Informationen für die Entstehung von Bewusstsein ausschlaggebend ist. Selbst künstliche Systeme könnten nach dieser Theorie Bewusstsein entwickeln, wenn sie eine hinreichende Integration von Informationen leisten.



ISTOCK / KIRILL SAWENKO



MIT FROLD-GEN, VON ANDREAS ENGEL

Verwirrspiel für das Bewusstsein

Die Kommunikation zwischen verschiedenen Hirnregionen bestimmt, was sich in unserem Bewusstsein abspielt. Das lässt sich mit einem mehrdeutigen Reiz untersuchen (links oben): Zwei Balken bewegen sich von beiden Seiten zur Mitte des Bildschirms und dann weiter zur gegenüberliegenden Seite. In dem Moment, in dem die Balken sich in der Mitte treffen, erklingt aus einem Lautsprecher ein klackendes Geräusch. Der

Betrachter gewinnt entweder den Eindruck, dass die Balken übereinandergleiten oder aber dass sie voneinander abprallen; unser Bewusstsein wechselt zwischen den beiden Wahrnehmungen hin und her. Dies spiegelt sich im Gehirn in einer mal stärkeren, mal schwächeren Synchronisation zwischen visuellen Hirnregionen und Zentren für die Aufmerksamkeits- und Handlungssteuerung wider.

Neuron 69, S. 387–396, 2011

mit mehrdeutigen Reizen. Das sind Muster, die zwei verschiedene Interpretationen zulassen, obwohl sie selbst gleich bleiben – wie etwa der berühmte »Necker-Würfel«, der zweidimensional gezeichnet ist, von uns aber als dreidimensional wahrgenommen wird. Trotz des gleich bleibenden Reizes »kippt« hier die Wahrnehmung des Würfels immer wieder; mal blickt man von oben, mal von unten darauf. Damit wechselt jedes Mal der aktuelle Bewusstseinsinhalt.

Zusammen mit meinen Kollegen Jörg Hipp und Markus Siegel gelang es mir 2011 zu ermitteln, wie sich die neuronale Synchronisation bei solchen Reizen ändert. Wir verwendeten einen mehrdeutigen Reiz mit zwei sich bewegenden Balken, die man entweder als

übereinandergleitend oder aneinander abprallend wahrnehmen kann (siehe »Verwirrspiel für das Bewusstsein«, oben). Bei wiederholtem Ansehen wechselt die bewusste Wahrnehmung zwischen den beiden Eindrücken hin und her. Gleichzeitig veränderten sich im Gehirn der Probanden die Synchronisationsmuster zwischen visuellen Regionen und Zentren, die für Aufmerksamkeits- und Handlungssteuerung zuständig sind. Wir vermuten deshalb, dass diesem Netzwerk eine allgemeinere Bedeutung bei der Auswahl von Bewusstseinsinhalten zukommt.

Im Unterschied zu unserem oben beschriebenen Aufmerksamkeitsexperiment waren an der Synchronisation hier aber nicht Gamma-Oszillationen beteiligt,

sondern die etwas langsameren Beta-Oszillationen – sie besitzen demnach offenbar ebenfalls eine Bedeutung für die Selektion von Informationen. Nach diesen Ergebnissen prägt vor allem die komplexe innere Dynamik der neuronalen Netzwerke jene Synchronisationsprozesse, die für Bewusstsein und Aufmerksamkeit relevant sind. Diese kann sich auch unabhängig von äußeren Reizen verändern und so zu einem Wechsel des Bewusstseinsinhalts beitragen.

Mit Neurostimulation das Bewusstsein ändern

Um die Funktion solcher spezifischen Synchronisationsmuster besser zu verstehen, versuchen Forscher neuerdings, sie direkt zu beeinflussen. Dies gelingt beispielsweise durch Neurostimulation mit Elektroden, die auf der Kopfhaut angebracht sind und dort elektrische Wechselfelder erzeugen. In Zusammenarbeit mit der Gruppe um Christoph Herrmann von der Universität Oldenburg verfolgten wir diesen Ansatz im Jahr 2014. Wir verwendeten erneut einen mehrdeutigen Reiz, bei dem sich zwei unterschiedliche Bewegungsrichtungen erkennen lassen. Durch die elektrische Stimulation der Hirnrinde konnten wir die Synchronisationsmuster im Kortex verändern und so die Versuchspersonen tatsächlich dazu bringen, entweder die eine oder die andere Bewegungsrichtung im Reizmuster wahrzunehmen.

Am stärksten wirkte eine elektrische Stimulation, die besonders die Gamma-Oszillationen beeinflusste. Solche Manipulationsversuche stecken noch in den Kinderschuhen und bedürfen erheblicher Verfeinerung. Dennoch liefern sie erste direkte Hinweise darauf, dass die neuronale Kopplung unsere bewusste Wahrnehmung zumindest mitverursacht.

Mittlerweile wissen wir also schon einiges darüber, wie sich Nervenzellen aus verschiedenen Hirnbereichen in komplexen Netzwerken organisieren und so vermutlich das Bewusstsein hervorbringen. Zeitlich aufeinander abgestimmte Schwingungen lassen im Gehirn einen »globalen Arbeitsraum« entstehen, in dem Informatio-

nen spezifisch miteinander verknüpft und weitergeleitet werden. Fällt diese Synchronisation allerdings abnorm stark oder zu unspezifisch aus, stürzt der Arbeitsraum in sich zusammen und das Bewusstsein schwindet – wie im Tiefschlaf oder unter Narkose.

Vor diesem Hintergrund lehnen die meisten Hirnforscher das du-bois-reymondsche »Ignorabimus« mittlerweile ab: Eine wissenschaftliche Erklärung des Bewusstseins scheint vielen heute prinzipiell möglich. Dennoch gibt es noch eine ganze Reihe von Hürden zu meistern, beispielsweise das Kontext-Problem: Selbst bei Kenntnis sämtlicher Hirnzustände einer Person könnte man allein daraus nicht ableiten, was die Person gerade denkt oder fühlt. Denn diese Zustände sind nur definierbar, wenn man gleichzeitig den zugehörigen Körper mit einbezieht sowie die Umgebung und die Situation, in der sich die Person befindet. Daraus folgt, dass mentale Prozesse wie Bewusstsein niemals rein »internalistisch« erklärt werden können, also nicht ausschließlich anhand der Aktivitätsmuster im Gehirn.

Möglicherweise steht dem Versuch, das Bewusstsein naturwissenschaftlich zu erklären, auch das immer noch ungelöste Problem des subjektiven Erlebens im Weg, bekannt als Qualia-Problem: Selbst wenn man die Hirnzustände, die zum Beispiel bei Schmerz auftreten, und sogar den Kontext bis ins letzte Detail kennt, könnte man vielleicht immer noch nicht sagen, wie sich dieser Schmerz tatsächlich anfühlt. Es könnte daher weiterhin Aspekte der Subjektivität geben, die sich nur schwer oder gar nicht mit einer naturwissenschaftlichen Bewusstseinstheorie erfassen lassen.

Die bisher erzielten Fortschritte lassen jedoch darauf hoffen, dass sich die Erklärungslücke zwischen dem Mentalen und dem Physischen zumindest noch erheblich verkleinern lässt. Nach allem, was wir bisher wissen, liegt dem Bewusstsein nichts Ungreifbar-Metaphysisches zu Grunde, sondern eher eine Sammlung empirisch erforschbarer Phänomene. Und damit wäre die Wissenschaft zumindest auf dem richtigen Weg, um dieses große Rätsel endlich zu lösen. ★

QUELLEN

Engel, A. K. et al.: Intrinsic Coupling Modes: Multiscale Interactions in Ongoing Brain Activity. *In: Neuron* 80, S. 867–886, 2013

Helfrich, R. F. et al.: Selective Modulation of Interhemispheric Functional Connectivity by HD-tACS Shapes Perception. *In: PloS Biology* 12, e1002031, 2014

Supp, G. et al.: Cortical Hypersynchrony Predicts Breakdown of Sensory Processing during Loss of Consciousness. *In: Current Biology* 21, S. 1988–1993, 2011

Weitere Quellen im Internet: www.spektrum.de/artikel/1432030

WEBTIPP

Übersicht über die Projekte und Veranstaltungen des Sonderforschungsbereichs 936 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (englischsprachig): www.sfb936.net