

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT

DAS RÄTSEL BEWUSST- SEIN

Hirnaktivität

Der Bewusstseinsdetektor

Das Unbewusste

Autopilot im Kopf

Subjektives Erleben

Das schwierigste Problem





Michaela Maya-Mrschtik
E-Mail: Michaela.Maya-Mrschtik@spektrum.de

Liebe Leserin, lieber Leser,
ein warmer Sonnenstrahl auf der Haut, das herzhafte Lachen der Kollegin und der süße Duft von frischem Apfelkuchen in der Luft – täglich prasseln Millionen an Sinneseindrücken auf uns ein. Nur einen Bruchteil davon nehmen wir auch bewusst wahr. Was dabei in unserem Gehirn passiert, ist wohl eine der großen noch unbeantworteten Fragen. Sowohl Philosophen als auch Neurowissenschaftler entwerfen Theorien und Experimente, die dem Bewusstsein auf die Spur kommen sollen. In diesem Kompakt stellen wir einige von ihnen vor.

Eine anregende Lektüre wünscht Ihnen

Michaela Maya-Mrschtik

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 02.12.2019

Folgen Sie uns:



CHEFREDAKTEUR: Dr. Daniel Lingenhöhl (v.i.S.d.P.)

ART DIRECTOR DIGITAL: Marc Grove

LAYOUT: Oliver Gabriel, Marina Männle

SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.),

Sigrid Spies, Katharina Werle

BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL: Antje Findelee,

Dr. Michaela Maya-Mrschtik

VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,

Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600,

Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,

UStd-Id-Nr. DE229038528

GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle

MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.),

Michaela Knappe (Digital)

LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser,

Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

BEZUGSPREIS: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer

ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an service@spektrum.de.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2019 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

SEITE
04

NEUROPHILOSOPHIE
Des Rätsels Kern

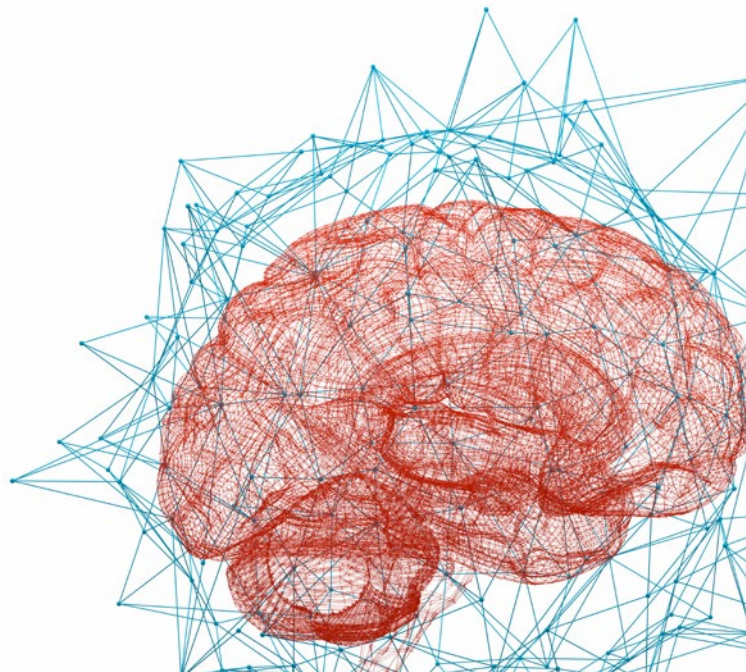


UNSPLASH / JURICA KOLETIC

- 04 NEUROPHILOSOPHIE
Des Rätsels Kern
- 13 KOGNITIONSFORSCHUNG
Das Netz des Bewusstseins
- 23 HIRNAKTIVITÄT
Der Bewusstseinsdetektor
- 32 SUBJEKTIVES ERLEBEN
Das schwierigste Problem
- 40 DAS UNBEWUSSTE
Der Autopilot im Kopf
- 48 ILLUSION DER UNMITTELBARKEIT
»Es gibt kein bewusstes Denken«
- 53 EMBODIMENT-THESE
Nur eine Kopfgeburt?

SEITE
13

KOGNITIONSFORSCHUNG
Das Netz des Bewusstseins



AKINOSTANCI / GETTY IMAGES / ISTOCK

BLACKJACK3D / GETTY IMAGES / ISTOCK

DAS UNBEWUSSTE
Der Autopilot im Kopf

SEITE
40



ILLUSION DER UNMITTELBARKEIT
»Es gibt kein
bewusstes Denken«

SEITE
48



V. ALEX / GETTY IMAGES / ISTOCK

NEUROPHILOSOPHIE

DES RÄTSELS KERN

von Tobias Schlicht

Hirnforscher wollen herausfinden, wie unser subjektives Erleben aus neuronalen Prozessen hervorgeht. Ist das nur eine Frage der empirischen Details?



Das Gehirn ist die Basis all unserer geistigen Fähigkeiten. Aber nicht alles, was darin vor sich geht, hat mit bewusstem Erleben zu tun.

Das Kleinhirn zum Beispiel enthält gut dreimal so viele Neurone wie die Großhirnrinde; doch selbst wenn es schwer geschädigt ist, bleibt das Bewusstsein der Betroffenen weitgehend erhalten. Eine zentrale Aufgabe der Neurowissenschaft ist daher die Suche nach dem neuronalen Korrelat von Bewusstsein, kurz NCC (von englisch: neural correlate of consciousness).

Damit ist die kleinste Einheit neuronaler Ereignisse gemeint, die für eine bestimmte bewusste Wahrnehmung hinreichend ist. So jedenfalls definiert es der deutsche Hirnforscher Christof Koch, der am Allen Institute for Brain Science in Seattle (USA) arbeitet. Welche Schaltkreise oder Prozesse ermöglichen es zum Beispiel, dass ich jetzt gerade Sätze auf einem

Computerbildschirm erblicke – und nicht stattdessen Zahnschmerzen habe?

Forscher setzen bei ihrer Suche nach dem NCC voraus, dass die für ein spezifisches Erlebnis verantwortliche neuronale Aktivität stets eingebettet ist in ein umfassenderes Korrelat des Bewusstseins, an dem auch solche Hirnregionen mitwirken, die für Wachheit und Aufmerksamkeit notwendig sind. Diese verschiedenen Ebenen voneinander zu trennen, mag schwierig sein, ist aber nicht unmöglich, wie klinische Studien zeigen.

Manche Philosophen bezweifeln hingegen, dass das Rätsel Bewusstsein jemals mit empirisch-naturwissenschaftlichen Mitteln aufgeklärt werden kann. Thomas Nagel von der New York University beschrieb in seinem berühmten Aufsatz »Wie ist es, eine Fledermaus zu sein?« von 1974 den subjektiven Charakter als entscheidenden Aspekt des Bewusstseins. Es fühlt sich für mich eben stets auf bestimmte Weise an, etwas zu sehen oder Schmerzen zu haben. So unterschiedlich meine bewussten Erlebnisse sein mögen, sie sind mir alle unmittelbar als meine präsent. Wenn ich Hunger habe, muss ich mich nicht fragen, wessen Hunger das ist; diese Frage ergibt nicht einmal

AUF EINEN BLICK

Vom Gehirn zum Geist

- 1 Als eine Hauptaufgabe der Neurowissenschaft gilt die Entschlüsselung jener Hirnmechanismen, die Bewusstsein hervorbringen oder damit einhergehen.
- 2 Die jahrzehntelange Suche nach dem neuronalen Korrelat von Bewusstsein erbrachte bislang zahlreiche Hypothesen. Doch eine Lösung ist noch nicht in Sicht.
- 3 Experimentelle Forschungen laufen Gefahr, die neuronale Grundlage des Bewusstseins mit derjenigen des Denkens und des Unbewussten zu verwechseln.

Tobias Schlicht ist Lichtenberg-Professor für Philosophie des Bewusstseins und der Kognition an der Ruhr-Universität Bochum. Seine Forschungen werden von der VolkswagenStiftung bezahlt – er verkauft allerdings keine Autos.

Sinn. Offenkundig ist Bewusstsein also immer an eine konkrete, subjektive Erlebnisperspektive gebunden. Sie, liebe Leserin oder lieber Leser, können sich zwar über meinen Hunger Gedanken machen, spüren aber kann ihn nur ich, so wie Sie Ihren.

Nagel bezweifelte, dass wir uns dem subjektiven Charakter bewusster Erlebnisse mit den objektiven Methoden der Naturwissenschaften nähern können. Denn diese verzichten ja gerade auf die subjektive Perspektive: Bei der Erforschung der Wärme kümmern sich Physiker nicht darum, wie Sie oder ich diese empfinden, ob Sie oder ich schwitzen. Beim Bewusstsein jedoch, so Nagel, geht es uns eben um genau diese Erlebnisperspektive, so dass jeder Schritt hin zu größerer Objektivität vom Gegenstand eher wegführe.

Skeptische Denker, optimistische Forscher

Andere Philosophen und vor allem Hirnforscher sind weitaus optimistischer als Nagel. So erklärten in »Gehirn&Geist« elf führende deutsche Neurowissenschaftler im Jahr 2004, dass es »in den nächsten 20 bis 30 Jahren« gelingen werde, »den Zusammenhang zwischen neuroelektrischen

und neurochemischen Prozessen einerseits und perzeptiven, kognitiven, psychischen und motorischen Leistungen andererseits« aufzuklären. Die berüchtigte Erklärungslücke zwischen objektiv messbaren Vorgängen und subjektivem Erleben klafft aber bis heute, wie der Hirnforscher Andreas Engel 2017 ebenfalls in »Gehirn&Geist« konstatierte.

Sein Pariser Kollege Stanislas Dehaene erklärte in seinem Buch »Denken« von 2014 wiederum, das Problem des Bewusstseins habe »seinen spekulativen Status verloren« und sei »in ein Laborphänomen verwandelt« worden. Es bedürfe nur noch weiterer empirischer Details, um das Rätsel zu lösen. Ein genauerer Blick auf die Methoden, mit denen sich Forscher dem Bewusstsein und seinen neuronalen Korrelaten nähern, offenbart jedoch ein Dilemma, das die Suche nach dem NCC schwierig bis unmöglich macht.

Laut der von Dehaene favorisierten »Theorie des globalen Arbeitsraums« entsteht Bewusstsein, wenn Sinnesinformationen in der Großhirnrinde für Handeln, Sprache, Gedächtnis und andere kognitive Funktionen verfügbar werden. Dafür sei ein komplexes, über fast den gesamten

Manche Philosophen
bezweifeln, dass das
Rätsel Bewusstsein
jemals mit den Mitteln
der empirischen
Wissenschaft aufgeklärt
werden kann

Kortex verteiltes Netzwerk verantwortlich. Seine Aktivität beschreibe »die einfache Tatsache, dass gewöhnlich alles, worauf wir im wachen Zustand unsere Aufmerksamkeit richten, bewusst werden kann«.

Bewusstes Erleben wird somit zur kognitiven Verfügbarkeit von Informationen. Sobald wir anderen von unseren Wahrnehmungen und Empfindungen berichten können, sei dieser bewusste Zugang gegeben, andernfalls eben nicht, selbst wenn das Gehirn unbewusst Informationen verarbeitet und diese unser Handeln beeinflussen. Der Hauptvorteil einer solchen Definition des Bewusstseins liegt darin, dass sie die Untersuchung im Labor erleichtert. Die Versuchspersonen geben zum Beispiel mündlich oder per Tastendruck Auskunft darüber, was sie wahrnehmen – und die Forscher korrelieren diese Berichte mit der gleichzeitig gemessenen Hirnaktivität.

Doch ist es gerechtfertigt, die Aufmerksamkeit zur notwendigen Bedingung für bewusstes Erleben zu machen? Fast jeder, der sich für die Bewusstseinsforschung interessiert, kennt mittlerweile die kleine Filmsequenz, in der zwei Teams in weißen und schwarzen T-Shirts Basketball spielen. Konzentriert man sich als Zuschauer dar-

auf mitzuzählen, wie oft sich das Team in Weiß den Ball zuspielt, übersieht man leicht, dass eine Person in einem schwarzen Gorillakostüm mitten durchs Bild spazierte. Solche Experimente zur Veränderungsblindheit zeigen, dass uns vieles selbst direkt vor uns entgeht. Dehaene und andere werten dies als Beleg dafür, dass wir nur das bewusst wahrnehmen, was wir aufmerksam betrachten. Aufmerksamkeit sei entscheidend dafür, welche Inhalte in den globalen Arbeitsraum gelangen und welche nicht. Wir sehen also nur das, von dem wir wissen. Aber ist uns wirklich nur das bewusst, was wir kognitiv verarbeiten und wovon wir berichten können? Sind Wissen und Bewusstsein also gleichzusetzen?

Der Philosoph Ned Block stellt dem das »phänomenale Bewusstsein« gegenüber, ein bewusstes Erleben ohne kognitiven Zugang. Die Veränderungsblindheit zeige lediglich, so Block, dass unser kognitiver Zugang von Aufmerksamkeit abhängt und durch diese beschränkt sei. Die Kapazität des Bewusstseins sei jedoch größer. Jeder, der schon einmal in Gedanken versunken auf der Autobahn fuhr und trotzdem heil zu Hause ankam, wird sich Blocks Einschätzung anschließen, dass Wahrnehmungsin-

halte, die außerhalb der Aufmerksamkeitsspanne liegen, nicht völlig unbewusst sein müssen, wie es Dehaene voraussetzt. Wäre dies der Fall, würden solche Fahrten schnell zu einem jähen Ende führen. Wir sehen die vorbeiziehenden Autos, Bäume und Häuser nur nicht mit derselben inhaltlichen Klarheit und Genauigkeit, wenn unsere Aufmerksamkeit auf anderes gerichtet ist.

Block verweist zudem auf Experimente des Psychologen George Sperling aus den 1960er Jahren. Sperling präsentierte Versuchspersonen für nur 50 Millisekunden Muster von zwölf Buchstaben (jeweils vier in drei Reihen), gefolgt von einem leeren Bildschirm. Die Probanden sollten so viele Elemente wie möglich benennen. So gut wie alle meinten, alle oder fast alle Buchstaben gesehen zu haben, konnten aber nur vier bis fünf konkret wiedergeben, also weniger als die Hälfte!

Um herauszufinden, ob sich die Probanden irrten, ersann Sperling eine pfiffige Methode: Statt jeweils nach allen Buchstaben zu fragen, forderte er lediglich Teilberichte ein. Die Probanden sollten zum Beispiel nur eine der drei Reihen von Buchstaben nennen. Zuvor signalisierte kurz nach der Präsentation entweder ein hoher, mitt-

Wenn zwei sich streiten, schwankt das Bewusstsein

parallele Präsentation,
Proband sieht Gesicht



parallele Präsentation,
Proband sieht Haus



einfache Präsentation,
(Gesicht/Haus auf beiden Augen)



Betrachten wir gleichzeitig etwa ein Gesicht auf dem einen Auge und ein Haus auf dem anderen, so springt unsere Wahrnehmung hin und her. Sehen Probanden in einem bestimmten Moment die Person statt des Gebäudes, messen Forscher eine erhöhte Aktivität im Gyrus fusiformis, einem wichtigen Areal der Gesichtserkennung im Schläfenlappen des Gehirns (links).

Bei Patienten, die unter »visuell-räumlicher Auslöschung« leiden, tritt dieses Erregungsmuster aber auch dann auf, wenn sie angeben, das Gesicht nicht mehr zu sehen. Unterschwellig scheint es bei ihnen ebenfalls verarbeitet zu werden. Ob die Aktivierung des fusiformen Gesichtsareals also ein bewusstes Erleben des Reizes anzeigt oder nicht, bleibt vorerst umstritten (rechts).

Neuropsychol. 50, S. 522–529, 2012

HSIEH, P.-J. ET AL.: PRE-STIMULUS PATTERN OF ACTIVITY IN THE FUSIFORM FACE AREA PREDICTS FACE PERCEPTS DURING BINOCULAR RIVALRY. NEUROPSYCHOLOGIA 50, 2012, FIG. 1; NUTZUNG GENEHMIGT VON ELSEVIER / CCC

lerer oder ein tiefer Ton, um welche der drei Reihen es ging. Verblüffenderweise konnten die Probanden nun jede beliebige Reihe nahezu vollständig wiedergeben – ohne dass sie vorher wussten, welche abgefragt werden würde. Das Wahrnehmungsbild des Ursprungsmusters musste offen-

bar noch im Gehirn verfügbar gewesen sein, so dass die Probanden mit Hilfe des Tons ihre Aufmerksamkeit darauf lenken und die Buchstaben »ablesen« konnten. Sperling bezeichnete die Kapazität von bis zu zwölf Elementen als Spanne des ikonischen Gedächtnisses.

Ist Aufmerksamkeit notwendig oder nicht?

Ned Block argumentiert, dieses Wahrnehmungsbild müsse den Probanden phänomenal bewusst sein, auch ohne dass sie jeden Buchstaben identifizieren können. Die Kapazität unserer Aufmerksamkeit und des

Arbeitsgedächtnisses beschränke zwar den kognitiven Zugang auf vier bis fünf Elemente. Darüber hinaus, so Block, verfügten wir aber über ein detailreiches Wahrnehmungsbewusstsein. Die Probanden unterlagen also keiner Illusion, als sie glaubten, alle Buchstaben gesehen zu haben. Die Resultate von Sperlings altem Experiment wurden vom Team des Hirnforschers Victor Lamme in Amsterdam in zahlreichen Variationen bestätigt. Die Aufgabe gelingt, selbst wenn die Verzögerung zwischen Präsentation und Ton mehrere Sekunden beträgt.

Welche Auffassung über unser bewusstes Erleben trifft nun zu? Ist Aufmerksamkeit notwendig für Bewusstsein oder nicht? Ohne das hier entscheiden zu wollen, kommt es mir auf die Kontroverse selbst an: Sie zeigt, dass die empirische Entdeckung vermeintlicher neuronaler Grundlagen des Bewusstseins von begrifflichen Vorentscheidungen abhängt. Bestimmt man das Verhältnis von subjektivem Erleben, Aufmerksamkeit und bewusstem Zugang anders, als Dehaene dies tut, erscheinen die empirischen Befunde in neuem Licht.

Dehaenes Definition setzt voraus, dass wir alles, was wir bewusst erleben, auch kognitiv verarbeiten und davon berichten

können. Falls die Kapazität des Bewusstseins aber die Kapazität des kognitiven Zugangs übersteigt, erfasst dieses Modell nur jenen Teil des Bewusstseins, der kognitiv verarbeitet wird. Es würde somit Gefahr laufen, das vermeintliche NCC mit den neuronalen Korrelaten von Aufmerksamkeitsprozessen und Gedanken zu verwechseln.

Neurowissenschaftler stehen folglich vor einem Problem: Jeder Bericht setzt kognitiven Zugang voraus. Wie sollen sie entscheiden, ob eine Person, die bestreitet, diesen oder jenen Reiz zu sehen, wirklich kein Bewusstsein davon hat oder ob ihr der Reiz zwar bewusst, aber nicht kognitiv zugänglich ist? Dies kann man am Beispiel eines Patienten illustrieren, der auf Grund einer Hirnverletzung unter einem Syndrom namens visuell-räumliche Auslöschung (visuo-spatial extinction) leidet. Wird dem Betroffenen nur auf der linken oder nur auf der rechten Seite des Gesichtsfelds ein Reiz präsentiert, kann er ihn benennen. Sobald auf beiden Seiten zugleich Signale erscheinen, kann der Patient bloß den Reiz auf der rechten Seite erkennen und behauptet, auf der linken Seite nichts (mehr) zu sehen.

Bei Untersuchungen zur binokularen Rivalität präsentiert man dem linken Auge

ebenfalls einen anderen Reiz als dem rechten. Hierbei entsteht kein kombinierter Seheindruck, der beide Reize überlagert, sondern unsere Wahrnehmung springt zwischen den beiden Reizen hin und her. Nancy Kanwishers Team vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Boston zeigte gesunden Versuchspersonen auf diese Weise links ein Gesicht und rechts ein Haus und nahm dabei die Hirnaktivität mit Hilfe funktioneller Bildgebung auf (siehe »Wenn zwei sich streiten, schwankt das Bewusstsein«).

Dabei stellte das Forscherteam stabile Korrelationen zwischen dem bewussten Wahrnehmen von Gesichtern und der erhöhten Aktivität eines Teils des Gyrus fusiformis fest, der auch als Gesichtsareal (fusiform face area) bezeichnet wird. Sah der Proband stattdessen das Haus, ging diese Aktivierung stark zurück. Und ist die Region geschädigt, leidet darunter die Fähigkeit, Gesichter zu erkennen. Solche Befunde legen den Schluss nahe, dass im fusiformen Gesichtsareal das NCC der Gesichtserkennung zu finden ist.

Geraint Rees vom University College London führte nun einen ähnlichen Versuch mit einem Patienten durch, der an vi-

suell-räumlicher Auslöschung litt – und prompt angab, das links präsentierte Gesicht wahrzunehmen, wenn kein konkurrierender Reiz rechts vorhanden war. Zudem korrelierte diese bewusste Wahrnehmung mit der erwarteten Aktivierung des fusiformen Gesichtsareals. Wurde aber rechts zugleich ein Haus gezeigt, gab der Patient zwar an, das Gesicht nicht mehr zu sehen. Allerdings nahm dabei die Aktivierung des fusiformen Areals kaum ab!

Was bedeutet das? Ist ein stärker aktiviertes fusiformes Gesichtsareal doch nicht das NCC der Gesichtswahrnehmung? Oder sind bei dem Patienten andere neuronale Grundlagen des Bewusstseins geschädigt? Ned Block favorisiert eine dritte Möglichkeit: Vielleicht ist die Erregung des fusiformen Gesichtsareals ja das NCC der Gesichtswahrnehmung, und der Patient hat auch ein visuelles Bewusstsein des Gesichtsreizes, kann aber darauf nicht kognitiv zugreifen. Wäre dem so, hätte das die paradox klingende Konsequenz, dass wir bewusste Erlebnisse haben können, von denen wir nichts wissen.

Nicht nur das Unbewusste, auch ein Teil unseres Bewusstseins bliebe uns dann verschlossen. Ein solches Bewusstsein ist nur

Bewusstsein ohne Bericht

Bei Experimenten zur binokularen Rivalität präsentiert man Probanden zwei verschiedene Bilder gleichzeitig: Das eine Auge sieht zum Beispiel ein Streifenmuster, das nach links läuft, das andere eines, das in die Gegenrichtung wandert. Die Wahrnehmung des Betrachters springt dann in einem relativ festen Rhythmus hin und her. Sollen die Versuchspersonen nun berichten, was sie in einem bestimmten Moment sehen, zeigt sich im Magnetresonanztomografen eine weitflächige Hirnaktivierung. Lässt man die Betreffenden hingegen einfach nur schauen, ohne dass sie berichten sollen, fallen die Aktivierungen im Stirn- und im Scheitellappen sehr viel schwächer aus. Diese sind also womöglich der mentalen Fokussierung auf das eigene Erleben geschuldet und nicht diesem Erleben selbst. Denn auch ohne Bericht haben die Probanden ja einen bewussten Seheindruck.

J. Neurosci. 34, S. 1738–1747, 2014

sehr schwer nachzuweisen, denn die Berichte von Probanden geben keinen Aufschluss darüber, ob es sich um eine unbewusste Reizverarbeitung handelt oder um einen Fall kognitiv unzugänglichen Bewusstseins. Um daher das reine, nicht schon durch andere kognitive Funktionen kontaminierte Korrelat des Bewusstseins zu bestimmen, müssten Forscher solche Berichte umgehen. Nur wie?

Victor Lamme und Ned Block empfehlen, Bewusstsein nicht an Verhaltenskriterien einer verbalen Auskunft festzumachen,

sondern ihm ein neuronales Kennzeichen zu Grunde zu legen: Basierend auf Lammes Forschungen schlagen sie als NCC einen Prozess vor, der »rückläufige Verarbeitung« (recurrent processing) genannt wird. Für ein bewusstes Sehen reiche es nicht, so Lamme, dass Informationen linear von der Netzhaut über den seitlichen Kniehöcker in den visuellen Kortex geleitet werden. Damit Seheindrücke bewusst werden, müssten diese höheren Areale zusätzlich mit vorgeschalteten Verarbeitungsstufen über rückläufige Verbindungen interagieren.

Akzeptiert man Lammes Vorschlag, menschliches Bewusstsein auf diese Weise neuronal zu definieren, so könnten Forscher über objektive Messungen »von außen« entscheiden, ob Bewusstsein vorliegt oder nicht. Denn selbst wenn die betreffende Person abstreitet, etwa das präsentierte Gesicht zu sehen, wäre ein bewusstes Erleben, von dem derjenige nichts weiß, nachweisbar, solange das NCC vorliegt. Die Messung des Gehirnprozesses übertrumpft den Bericht und macht ihn daher verzichtbar.

Wenn der subjektive Erfahrungsbericht nicht mehr zählt

Allerdings wäre dieser Schluss zurzeit noch voreilig. Erstens sind die rückläufigen Verarbeitungen keinesfalls der einzige Kandidat für die neuronale Signatur des Bewusstseins. Es gibt durchaus eine Reihe alternativer Vorschläge, die man erst einmal ausschließen müsste. Und zweitens tragen diese Prozesse in keiner Weise zur Erklärung des subjektiven Charakters von Bewusstsein bei. Warum gerade dieser oder jener Reiz subjektiv erlebt wird, bliebe weiterhin völlig unklar; Bewusstsein ließe sich überhaupt nicht mehr über seinen subjektiven Charakter bestimmen.

Glossar

NCC | Neuronales Korrelat von Bewusstsein; laut Forschern die kleinste Einheit hirnpysiologischer Ereignisse, die für subjektives Erleben hinreichend ist

GLOBALER ARBEITSRAUM | Unter Neurowissenschaftlern beliebte Theorie, wonach uns nur das bewusst wird, was Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis zur kognitiven Verarbeitung verfügbar machen

FUSIFORMES GESICHTSAREAL | Im Schläfenlappen gelegene Hirnregion, die am Erkennen von Gesichtern beteiligt ist

VISUELL-RÄUMLICHE AUSLÖSCHUNG | Nach Hirnverletzungen auftretende Aufmerksamkeitsstörung: Der Patient sieht bei gleichzeitiger Präsentation zweier verschiedener Bilder auf jedem Auge nur eines bewusst.

BINOKULARE RIVALITÄT | Experimentelles Paradigma, bei dem jedem Auge des Probanden ein anderes Bild gezeigt wird. In der subjektiven Wahrnehmung verschmelzen die beiden Reize nicht, sondern der Seheindruck springt hin und her.

OPTOKINETISCHER NYSTAGMUS | Motorischer Augenreflex, der eng an bestimmte Seheindrücke gekoppelt ist und so als indirekter Hinweis auf bewusste Wahrnehmung dienen kann, ohne dass der Proband Auskunft geben muss

Man sollte sich folglich nicht vorschnell auf rückläufige Verarbeitungen als Korrelat von Bewusstsein festlegen. Denn diese Definition hinterlässt wie andere Vorschläge auch eine Erklärungslücke zwischen objektiv messbaren, neuronalen Vorgängen

und dem subjektiven Erleben des Menschen.

Aber es gibt noch eine weitere Möglichkeit, wie man an das NCC herankommen könnte: Der in Melbourne forschende Naotsugu Tsuchiya sowie Melanie Wilke

und Stefan Frässle entwickelten Versuchsanordnungen, die ebenfalls ohne Probandenberichte auskommen. Die Forscher machten sich dabei zu Nutze, dass ein Augenreflex namens optokinetischer Nystagmus eng mit dem jeweils dominierenden Reiz bei der binokularen Rivalität korreliert.

Das testeten die Forscher zunächst anhand der verbalen Auskünfte von Probanden. In weiteren Versuchsreihen schlossen sie aus diesem Reflex, dass die Teilnehmer offenbar weiterhin den sprunghaften Wechsel der Wahrnehmungsbilder erlebten, verlangten jetzt jedoch keinen Bericht. Das neuronale Aktivierungsmuster war ähnlich. Allerdings blieb die Aktivierung im präfrontalen Kortex aus, die beim Berichten des eigenen Seheindrucks auftritt und somit wohl den kognitiven Zugang zu diesem Bewusstseinsinhalt anzeigt.

Allein die Augenreflexe offenbarten den Forschern also den aktuellen Seheindruck der Versuchspersonen. Sie korrelierten sie mit der Gehirnaktivität, um das »reine« NCC zu bestimmen. Das Team zeigte zudem, dass auch die Pupillenweite ähnliche Hinweise liefert. Diese Befunde sprechen für Blocks These: Eine präfrontale Hirnak-

tivierung geht zwar mit dem kognitiven Zugang, nicht aber mit bewusstem Erleben an sich einher.

So wichtig und originell solche Methoden sein mögen, für die Bestimmung des neuronalen Korrelats von Bewusstsein bergen sie weiterhin die Gefahr von Verwechslungen – zwar nicht mit Korrelaten höherer kognitiver Funktionen, wohl aber mit neuronalen Aktivierungen, die mit unbewussten, motorischen Augenreflexen korrelieren. Veränderungen der Pupillenweite lassen sich auch bei besonders schwierigen Aufgaben beobachten, ein Indiz für die damit verbundene gedankliche Arbeitslast. Selbst wenn die Probanden nichts berichten, ist nicht ausgeschlossen, dass sie automatisch über ihre Wahrnehmungen nachdenken.

Das Dilemma bleibt also. Ohne der Fantasie der Forscher vorzugreifen, scheint die Hauptschwierigkeit darin zu bestehen, ein neuronales Korrelat bewussten Erlebens zu isolieren, das vor einer Kontamination mit unbewussten Vorgängen einerseits und kognitiven Akten wie Aufmerksamkeit oder Denken andererseits gefeit ist. Es zeigt sich, dass die Schließung der Erklärungslücke nicht allein eine Frage empiri-

scher Details ist. Sie erfordert vielmehr eine begriffliche – philosophische – Klärung des Verhältnisses von Bewusstsein, Aufmerksamkeit und Denken. ↩

(Gehirn&Geist, 7/2017)

Block, N.: Rich Conscious Perception outside Focal Attention. In: Trends in Cognitive Sciences 18, S. 445–447, 2014

Dehaene, S.: Denken. Wie das Gehirn Bewusstsein schafft. Knaus, München 2014

Tsuchiya, N. et al.: No-Report Paradigms: Extracting the True Neural Correlates of Consciousness. In: Trends in Cognitive Sciences 19, S. 757–770, 2015

Weitere Quellen im Internet: www.spektrum.de/artikel/1457417



KOGNITIONSFORSCHUNG

DAS NETZ DES BEWUSSTSEINS

von Andreas K. Engel

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

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 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 Neurobild-

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.

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.

gebung – 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 entstan-

den 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 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

1924

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

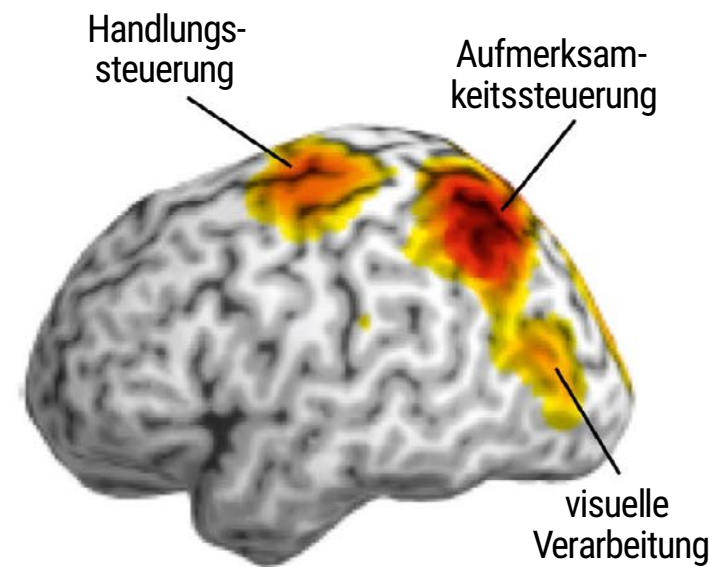
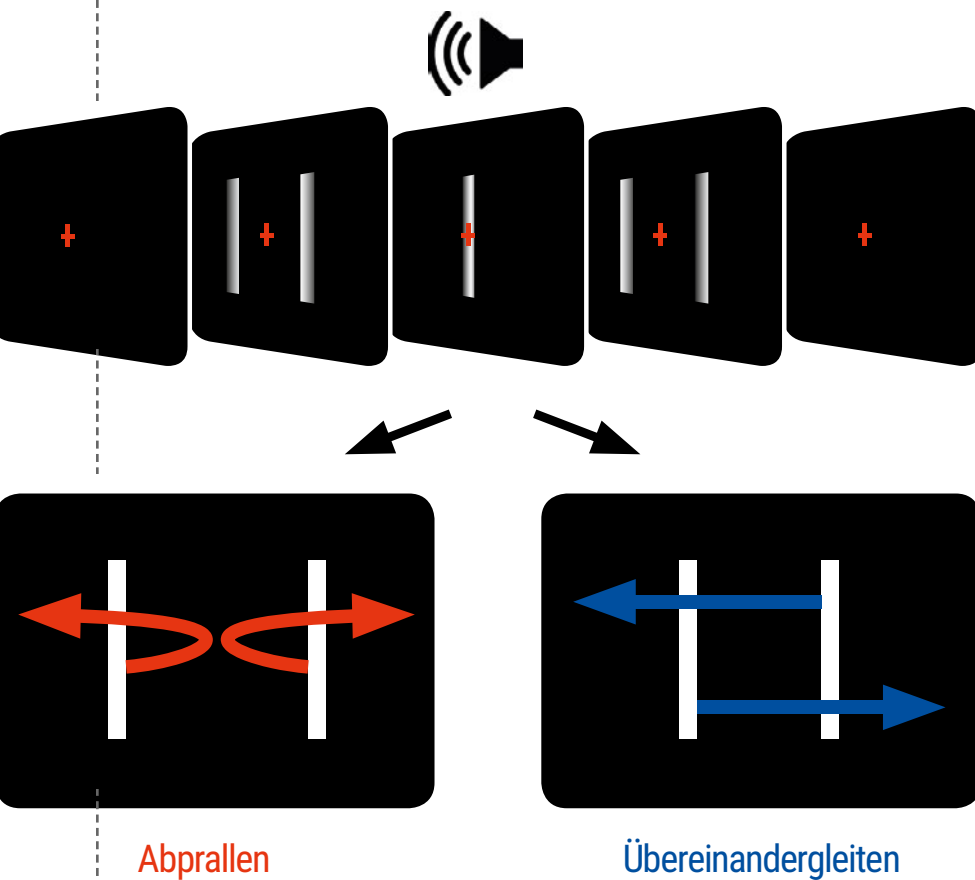
1949

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.

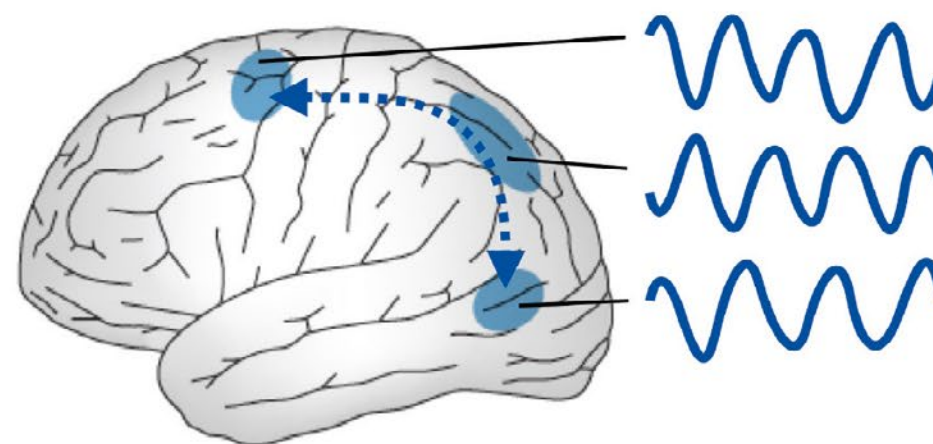
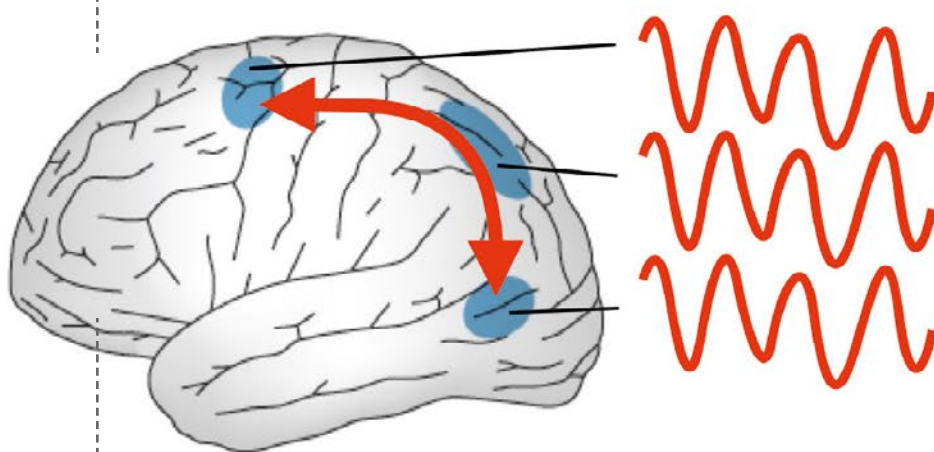
1965

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

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

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 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 entstünde – 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

1974

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

1982

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



MARYNA IEVDOKIMOVA / GETTY IMAGES / ISTOCK

von Wolf Singer am Frankfurter Max-Planck-Institut für Hirnforschung entdeckte das bereits 1989 am Beispiel der Gamma-Oszillationen – das sind schnelle Hirnwellen 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 auf-

merksam, 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.

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

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«).



LATSALOMAO / GETTY IMAGES / ISTOCK

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.

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 Hirn-

rinde 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. 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

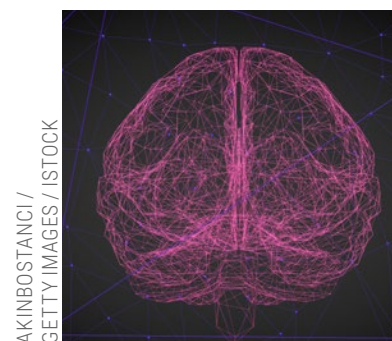
überprüften dies, indem wir bei den bewusstlosen Probanden einen Hautnerv an der Handwurzel elektrisch reizten. Selbst unter tiefer Narkose war daraufhin ein Signal im somatosensorischen Kortex messbar – der ersten Empfangsstation in der Hirnrinde für diese Art von Reizen. Während solche Informationen 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 gleich-

1990

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

1993



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

zeitig 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 Aufmerk-

samkeit 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 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«). 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 Handlungssteue-

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.

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.

rung 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 Schwin-

gungen lassen im Gehirn einen »globalen Arbeitsraum« entstehen, in dem Informationen 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. ↩

(Gehirn und Geist, Februar 2017)

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

Spektrum
der Wissenschaft

In Zusammenarbeit mit brandeins

KOMPAKT

FÜR NUR
€ 4,99

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ

Der Weg in die Anwendung

Algorithmen | Entscheiden

kann nur der Mensch

Krebsdiagnostik | Bessere

Früherkennung

Chemie | Suche nach neuen Stoffen

HIER DOWNLOADEN

HIRNAKTIVITÄT

DER

von Christof Koch

BEWUSSTSEINSDETEKTOR

Immer wieder stehen Ärzte vor der schwierigen Frage, ob ein Patient, der völlig teilnahmslos daliegt, nicht doch noch Gedanken und Gefühle hegt. Ein neues Verfahren erlaubt es, den Grad des Bewusstseins erstaunlich zuverlässig zu messen.



Ich bin schon viele Male gestorben. Jeden Abend, wenn ich mich zur Ruhe lege, erlischt mein Bewusstsein. Ich erlebe und fühle nichts, bis die bunten Bilder meiner Träume erscheinen. Erst morgens, wenn ich aufwache, nehme ich wieder Kontakt zur Außenwelt auf.

Neben den allnächtlichen Ausflügen in die Traumwelt erleben die meisten von uns irgendwann einmal im Leben Situationen, in denen sie das Bewusstsein verlieren. Ich wurde zum Beispiel als Kind am Blinddarm operiert. Die Ärzte haben mich narkotisiert, so dass ich nichts von dem Eingriff mitbekam. Ich erinnere mich auch noch dunkel daran, wie ich als Teenager auf dem Rücksitz eines Renault eine Allee in Nordafrika entlangfuhr. Plötzlich veränderte sich die Situation: Ich befand mich auf derselben Straße, sah die Szene jedoch von unten. Der Wagen war an einen Baum geprallt, ich war auf das Pflaster geschleudert worden und hatte für kurze Zeit das Bewusstsein verloren.

Der deutschstämmige Neurowissenschaftler **Christof Koch** ist wissenschaftlicher Direktor und Präsident des Allen Institute of Brain Science in Seattle.

Bei manchen Menschen dauert dieser Zustand Tage, Monate oder sogar für immer an, weil ihr Gehirn etwa durch einen Unfall, einen Herzinfarkt oder einen Schlaganfall stark geschädigt wurde. Für Ärzte ist es gar nicht so einfach herauszufinden, ob ein Patient, der mit offenen Augen reglos daliegt, einfach nur tief schläft, unter Drogen steht oder einen schweren Hirnschaden erlitten hat. Gerade für die Angehörigen ist es aber wichtig zu wissen, was in seinem Kopf vorgeht: Nimmt er noch etwas wahr, hat er Gefühle?

Um das zu beantworten, bräuchten wir ein Gerät, das den Grad des Bewusstseins zuverlässig misst. Auf den ersten Blick mag die Vorstellung absurd erscheinen, jemandem eine Art Blutdruckmanschette umzulegen, auf deren Anzeige abzulesen ist, wie »bewusst« die Person gerade ist. Doch Forscher haben in den letzten Jahren erste Detektoren entwickelt, die diesem Ziel schon recht nahekommen.

Die Hirnaktivität, die unserem mentalen Leben zu Grunde liegt, schwankt binnen Sekundenbruchteilen. Ein »Bewusstseinsmessgerät« muss diese Signale ähnlich schnell mitverfolgen. Die beste Methode, das rasche Auf und Ab zu erfassen

AUF EINEN BLICK

Ein Maß für Bewusstsein

- 1 Trotz moderner bildgebender Verfahren kann es für Mediziner schwierig sein zu entscheiden, ob ein Patient mit schwerem Hirnschaden seine Umwelt noch bewusst wahrnimmt und Gefühle empfindet.
- 2 Deshalb haben Forscher eine neue Methode entwickelt, um den Grad des Bewusstseins zu bestimmen: Dazu erhält das Gehirn einen kurzen elektromagnetischen Impuls, und ein Elektroenzephalograf (EEG) zeichnet die resultierende Hirnaktivität auf.
- 3 Ein Computerprogramm berechnet anschließend aus dem EEG-Signal den sogenannten »perturbational complexity index« – ein Maß für die Komplexität der Hirnaktivität. Diese ist eng mit dem Bewusstseinszustand verknüpft.

sen, ist nach wie vor die Elektroenzephalografie (EEG).

Deren Erfinder, der deutsche Psychiater Hans Berger (1873–1941), suchte zeit seines Lebens nach Zusammenhängen zwischen objektiv messbarer Hirnaktivität und subjektivem Erleben. Bereits 1924 zeichnete er erstmals elektrische Hirnströme eines Patienten auf, veröffentlichte sie aber erst fünf Jahre später, weil er selbst an den Ergebnissen zweifelte. Dennoch avancierte die Elektroenzephalografie zum Standardinstrument der klinischen Neuropsychiatrie. Obwohl Berger mehrmals für den Nobelpreis nominiert worden war, erfuhr er im Nazi-Deutschland keine nennenswerte Anerkennung für seine Leistungen und nahm sich 1941 schließlich das Leben.

Signatur des Denkens

Das EEG erfasst die Summe der winzigen Spannungsschwankungen (von etwa 10 bis 100 Mikrovolt) an der Schädeloberfläche, welche die Nervenzellen der Großhirnrinde bei ihrer Aktivität erzeugen. Der auch Kortex genannte Teil des Gehirns ermöglicht es uns nicht nur, zu laufen und zu greifen, sondern ebenfalls, Dinge wahrzunehmen, uns Erlebnisse einzuprägen und

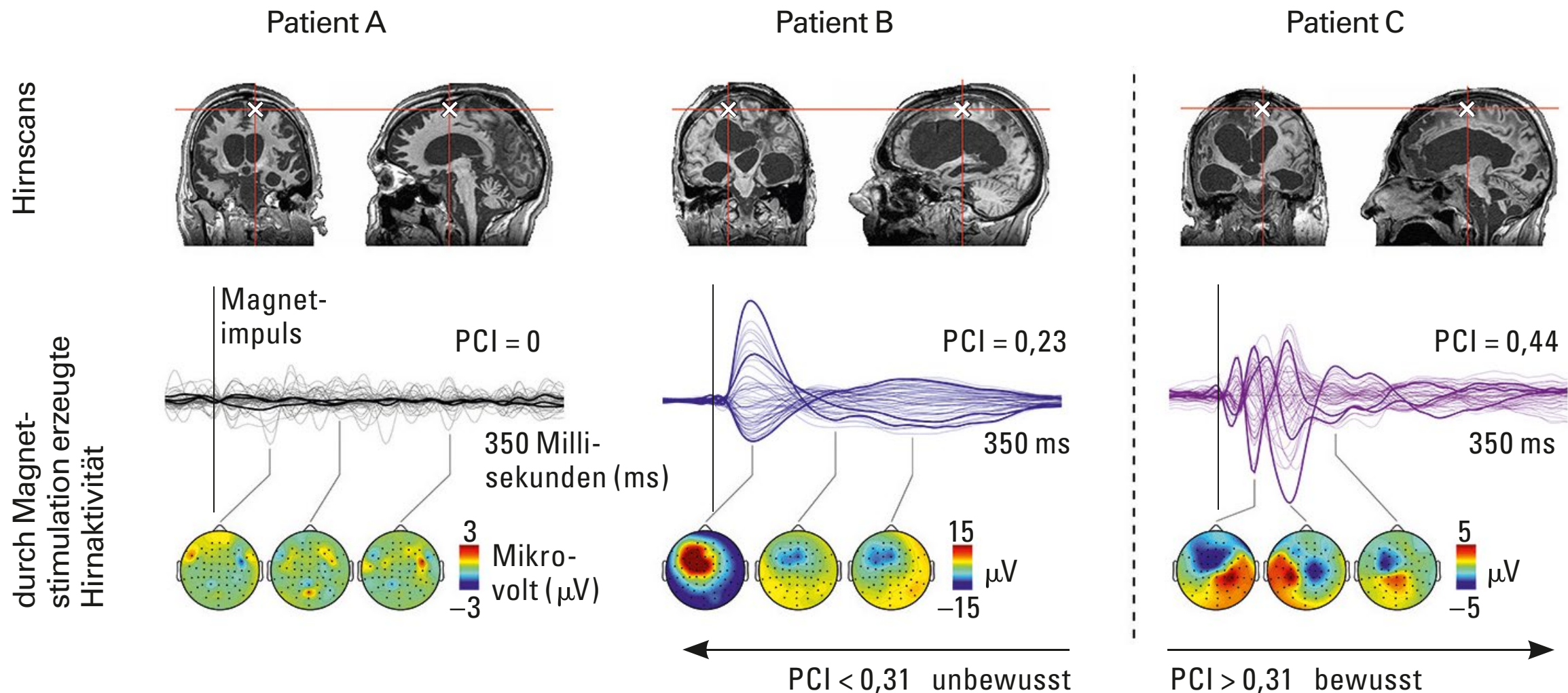
darüber nachzudenken. Das EEG-Signal geht vor allem auf das gemeinsame Feuern der Pyramidenzellen im Kortex zurück, die nach der Form ihrer Zellkörper benannt sind. Auf die Aktivität tiefer gelegener Strukturen, etwa des Thalamus, lässt sich nur indirekt schließen, da sie wiederum die Zellen der Hirnrinde beeinflussen.

Vor einer EEG-Aufnahme befestigt der Versuchsleiter kleine Elektroden an der Kopfhaut des Probanden. Bei hochauflösenden EEGs können das bis zu 256 Stück sein. Die Elektroden – wie lange üblich – mit leitfähigem Gel an der gereinigten Kopfhaut anzubringen, ist jedoch eine mühselige Prozedur, die zudem sehr fehleranfällig ist. Stundenlange Aufzeichnungen auch außerhalb von Krankenhaus und Arztpraxis sind daher erst möglich, seitdem es Hauben mit hochempfindlichen Trockenelektroden gibt.

Neben diesem schon lange etablierten Verfahren existieren noch andere Möglichkeiten, die Hirnaktivität zu beobachten. Die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) etwa misst die neuronale Aktivität nur indirekt, indem sie die Durchblutung des Hirngewebes erfasst. Die Magnetoenzephalografie (MEG) dagegen

Die Abwesenheit eines Beweises ist nicht zwingend ein Beweis für Abwesenheit

Echo aus dem Gehirn



Ein Team um die am Human Brain Project beteiligte Forscherin Silvia Casarotto von der Universität Mailand entwickelte ein Verfahren namens »Zap-and-Zip«, das den Bewusstseinsgrad von nicht ansprechbaren Patienten messen soll. Zuerst wird ein bestimmter Bereich des Gehirns durch einen elektromagnetischen Impuls stimuliert (siehe weißes Kreuz in den Hirnscans oben) und dann die neuronale Reaktion per Elektroenzephalografie (EEG) aufgezeichnet (Hirnwellen darunter). Anschließend berechnet ein Computerprogramm den so genannten

PCI (perturbational complexity index) – ein Maß für die Komplexität des EEG-Signals. Dieser Wert soll Aufschluss darüber geben, wie »bewusst« die Person ist. Bei Patienten ohne Bewusstsein bleibt die EEG-Kurve nach dem Impuls flach (Patient A) oder weist nur eine geringe Komplexität auf (Patient B). Komplexere EEG-Kurven mit einem PCI von über 0,31 deuten dagegen auf Bewusstsein hin (Patient C). Von den drei hirngeschädigten Patienten A bis C bescheinigt das »Zap-and-Zip«-Verfahren also lediglich Patient C Bewusstsein.

zeichnet die Veränderungen des Magnetfelds an der Schädeloberfläche auf, das die elektrischen Nervensignale erzeugen. Doch aus verschiedenen Gründen sind diese Verfahren und auch neuere Techniken wie die Nahinfrarotspektroskopie im klinischen Alltag nur schwer routinemäßig einzusetzen.

Seit den 1940er Jahren gilt die Aufzeichnung eines »aktivierten« EEG-Musters als sicherstes Zeichen für Bewusstsein. Dieser Zustand erzeugt hochfrequente EEG-Wellen mit relativ geringem Ausschlag, die zudem räumlich desynchronisiert sind, also nicht über die gesamte Hirnoberfläche im Gleichtakt schwingen. Verschiebt sich das EEG-Muster hin zu niedrigeren Frequenzen, ist ein bewusster Zustand weniger wahrscheinlich. Leider gibt es zu viele Ausnahmen von der Regel, als dass sie ohne Probleme anwendbar wäre. Daher suchten Wissenschaftler nach einem verlässlicheren Zeichen.

Bei zwei Gruppen von Patienten ist Ärzten besonders viel daran gelegen, den Bewusstseinszustand messen zu können (Kinder sind ein Spezialfall, den wir hier nicht betrachten). Zum einen handelt es sich um Erwachsene, deren Bewusstsein

auf Grund von Verletzungen oder Infektionen des Hirngewebes beziehungsweise der Hirnhäute, durch einen Schlaganfall oder auf Grund einer Vergiftung gestört ist. Wenn sie den akuten Auslöser überleben, sind diese Patienten oft schwerstbehindert, bettlägerig und unfähig, ihre Empfindungen, Bedürfnisse und Absichten zu äußern. Werden sie gut gepflegt, so dass sie sich nicht wund liegen und keine Infektionen bekommen, können sie in dem Zustand jahrelang überleben.

In dieser ersten Kategorie unterscheiden die Ärzte mehrere Untergruppen: Patienten im vegetativen Zustand, der im Volksmund auch »Wachkoma« oder von Medizinern »Syndrom reaktionsloser Wachheit« genannt wird, weisen eindeutige Schlaf-wach-Zyklen auf. Versuche, mit ihnen zu kommunizieren (zum Beispiel durch die Aufforderung: »Wenn Sie mich hören, drücken Sie meine Hand oder bewegen Sie Ihre Augen«), bleiben jedoch stets erfolglos. Wachkomapatienten schlucken, gähnen, öffnen ihre Augen und bewegen sie auch – allerdings offenbar unwillkürlich. Jegliche willentlich gesteuerte Aktivität ist erloschen, übrig sind lediglich Hirnstammreflexe. Diese steuern grundlegende lebenserhaltende Prozesse

wie Atmung, Schlaf-wach-Zyklen, Herzfrequenz sowie Augenbewegungen und Pupillenreflexe.

Vermutlich erinnern sich einige von Ihnen an den Namen Terri Schiavo. Die in Florida lebende Amerikanerin wurde nach einem Herzstillstand reanimiert und überlebte 15 Jahre im Wachkoma bis zu ihrem medizinisch herbeigeführten Tod im Jahr 2005. Das Wachkoma ist ein Phänomen der modernen Medizin. Die Patienten überleben nur auf Grund einer hoch entwickelten medizinischen Infrastruktur mit Notrufzentralen, Rettungshubschraubern sowie fortschrittlicher ärztlicher und pflegerischer Versorgung. Allein in den USA leben zurzeit mehr als 10 000 Wachkomapatienten in Hospizen, Pflegeheimen oder in häuslicher Pflege.

Während verhaltensbiologische Indizien dafür sprechen, dass diese Patienten keinerlei bewusste Erfahrungen mehr machen, sollten wir uns dennoch eine erkenntnistheoretische Weisheit vor Augen halten: Die Abwesenheit eines Beweises ist nicht zwangsläufig ein Beweis für Abwesenheit. Wir können daher nicht ausschließen, dass Wachkomapatienten über irgendeine Form von Bewusstsein verfügen.



Schwelle zum Bewusstsein

Mit Hilfe des »Zap-and-Zip«-Verfahrens berechnen Mediziner den so genannten PCI (perturbational complexity index), der Aufschluss über den Bewusstseinsgrad einer Person geben soll. Um damit den Zustand von nicht ansprechbaren Patienten zu beurteilen, ermittelten Forscher in einer Studie den Schwellenwert, ab dem eine Person bei Bewusstsein ist. Dazu wendeten sie »Zap-and-Zip« an 102 gesunden Probanden in verschiedenen Bewusstseinszuständen an – von Narkose über REM-Schlaf bis Wachheit – sowie an 48 Patienten mit Hirnschäden. Dieser Test ergab einen kritischen PCI von 0,31. Das heißt, alle Probanden, die höhere Werte aufwiesen, waren bei Bewusstsein.

Bei einer anderen Untergruppe von Patienten ist die Situation etwas klarer: Menschen im Zustand minimalen Bewusstseins (MCS für »minimal conscious state«) können zwar nicht sprechen, teilen sich jedoch in reduzierter Art und Weise mit. Sie lächeln und weinen bei entsprechenden emotionalen Ereignissen, äußern gelegentlich Laute, machen Gesten oder verfolgen auffällige Objekte mit ihren Augen. Es ist also anzunehmen, dass diese Patienten ihre Umwelt zumindest zeitweise mehr oder weniger bewusst erleben.

Diagnostische Grauzone

Wachkomapatienten hingegen fallen in eine diagnostische Grauzone. Ist ihr geschädigtes Gehirn in der Lage, Schmerz, Einsamkeit oder Angst zu empfinden oder gar einen Gedankenfluss zu unterhalten? Schätzungen zufolge verfügt etwa jeder fünfte Wachkomapatient in Wirklichkeit über Bewusstsein – demnach sind 20 Prozent der Diagnosen falsch. Solche Annahmen basieren auf Studien, bei denen Forscher zum Beispiel beobachten, wie sich die Pupillengröße von Betroffenen in bestimmten Situationen verändert. Für Angehörige und Freunde, die den Patienten teils über Jahre

pflegen, wäre es natürlich äußerst wichtig zu wissen, ob er noch über irgendeine Form von Bewusstsein verfügt.

Die zweite, viel größere Patientengruppe, für die ein »Bewusstseinsmesser« nützlich wäre, sind Menschen, die sich einem operativen Eingriff unterziehen. Die Vollnarkose eliminiert über Stunden den Schmerz und jegliche andere bewusste Erinnerung an die Situation, verhindert störende Bewegungen und stabilisiert das autonome Nervensystem, das die Atmung und andere grundlegende Körperfunktionen steuert.

Leitet der Anästhesist die Narkose ein, tritt der Patient in der festen Erwartung weg, dass er während der Operation nicht aufwachen und bewusst erleben wird, was gerade mit ihm geschieht. Leider passiert das dennoch immer wieder. Statistisch erwacht bei etwa jedem 1000. Eingriff ein Patient aus der Vollnarkose. Bei rund zehn Millionen Vollnarkosen im Jahr sind das immerhin 10 000 Patienten in Deutschland. Da keines der verfügbaren Narkosemittel bei allen Patienten gleich wirkt – vom Neugeborenen bis zum Greis –, bräuchten wir ein Verfahren, das zuverlässig den Bewusstseinsgrad des Patienten bestimmen kann.

Wenn wir ein solches Messgerät konstruieren wollen, müssen wir zwei grundlegende Dinge beachten: Zum einen ist jedes Erlebnis einzigartig, denn es kann exakt so zu keiner anderen Zeit an keinem anderen Ort stattfinden. Es ist verbunden mit unzähligen Sinneseindrücken – man denke etwa an die atemberaubende Aussicht bei einer Wanderung in den Rocky Mountains, an die Geräusche, Gerüche und die damit verbundenen Gefühle und Erinnerungen. Zum anderen bilden die einzelnen Eindrücke zusammen immer ein Gesamtbild, das sich kaum mehr in seine Einzelteile zerlegen lässt.

Das aktuell vielversprechendste Bewusstseinskonzept, das diese beiden Aspekte umfasst, ist die Integrierte Informationstheorie (IIT) des Psychiaters und Neurowissenschaftlers Giulio Tononi von der University of Wisconsin-Madison. Ihr zufolge müssen die neuronalen Mechanismen, die im Neokortex eine bewusste Erfahrung auslösen, ebenfalls sowohl einzelne Eindrücke differenzieren als auch integrieren, sprich zu einem Gesamtbild zusammenfügen können. Um herauszufinden, wie gut sie das tatsächlich vermögen, entwickelte Tononis Arbeitsgruppe

Anfang der 2000er Jahre ein Messverfahren auf Basis des EEG.

Bei einem ersten Test an sechs gesunden Probanden gelang es den Forschern, allein anhand der EEG-Daten korrekt anzugeben, wann die Teilnehmer wach, aber mit geschlossenen Augen dalagen und wann sie fest schliefen, also bewusstlos waren.

Es mag trivial erscheinen, die Hirnaktivität einer ruhenden, wachen Person von der einer schlafenden zu unterscheiden. Doch Tononis Methode bildet die Grundlage für ein weitaus empfindlicheres »Bewusstseinsmessgerät«, das weniger distinkte Zustände des Gehirns auseinanderhalten kann. Tononi selbst und 18 weitere Ärzte und Hirnforscher haben jahrelang daran getüftelt, bis sie es schließlich Ende 2016 der Öffentlichkeit vorstellten.

Das Prinzip dahinter: Eine an die Kopfhaut gehaltene Spule stimuliert das Gehirn mit einem starken magnetischen Impuls. Das als transkranielle Magnetstimulation (TMS) bekannte Verfahren erzeugt einen vorübergehenden elektrischen Stromfluss in Nervenzellen der Hirnrinde, die dann ihrerseits andere Neurone aktivieren. Diese

Kaskade elektrischer Aktivität hallt für den Bruchteil einer Sekunde im Gehirn nach und wird im EEG-Muster sichtbar. Stellt man sich das Gehirn als große Kirchenglocke vor, trifft der Klöppel (der TMS-Impuls) mit voller Wucht auf das Metall, das nun für geraume Zeit mit einer bestimmten Frequenz nachschwingt. Dasselbe geschieht mit der Hirnaktivität nach dem TMS-Impuls. Ein Auswertungsalgorithmus mittelt das EEG-Signal, verfolgt seinen Verlauf über 200 aufeinander folgende TMS-Pulse und stellt das Ergebnis schließlich in einer Art Videosequenz dar.

Im gesunden, wachen Gehirn entsteht so ein hochkomplexes Aktivitätsmuster, das sich über weite Teile der Hirnrinde erstreckt und weder eindeutig vorhersagbar noch völlig zufällig ist. Die Forscher schätzen dann mit einem mathematischen Verfahren den Grad der Komplexität, das heißt das Ausmaß, in dem das Signal in verschiedenen Kortexregionen über die Beobachtungszeit hinweg variiert. Dabei bedienen sie sich einer bekannten Methode aus der Computertechnik, dem ZIP-Algorithmus. Dieser komprimiert große Dateien, etwa Bilder oder Filme, und reduziert so deren Speicherbedarf.

Erst Zap, dann Zip

Das Verfahren berechnet aus der durch die Magnetstimulation erzeugten Hirnaktivität den so genannten »perturbational complexity index« (PCI). Reagiert ein Gehirn gar nicht auf die TMS, bleibt also die EEG-Kurve wie im tiefen Koma völlig flach oder zeigt sie nur minimale Wellen, liegt der PCI bei null oder knapp darüber. Je komplexer die Reaktion des Gehirns auf die Magnetstimulation ausfällt, desto höher ist der PCI, wobei der Maximalwert eins beträgt. Wegen des verwendeten Algorithmus gaben die Forscher ihrem Bewusstseinsmesser den Namen »Zap (einen elektrischen Schlag bekommen) und Zip (Komplexität berechnen)«.

Wie zuverlässig dieser ist, testeten Tononi und Co. an verschiedenen Probanden in belgischen und italienischen Kliniken, die auf Komapatienten spezialisiert sind. In einem ersten Schritt wendeten sie »Zap-and-Zip« an Personen an, die sicher über Bewusstsein verfügten. Das waren zum einen 102 gesunde Teilnehmer in verschiedenen Zuständen von Wachheit und Bewusstlosigkeit: mit geschlossenen Augen ruhend, im REM-Schlaf träumend (was als

»bewusstes Erleben« galt, wenn die Probanden nach dem Wecken angaben, unmittelbar zuvor geträumt zu haben) sowie in ketamininduzierter Narkose. Ketamin dissoziiert die mentalen Vorgänge im Gehirn von der Außenwelt, löscht jedoch das Bewusstsein nicht aus. In geringeren Dosen dient die Substanz unter der Bezeichnung »Vitamin K« daher auch als Halluzinogen in der Drogenszene.

Zum anderen ermittelten die Forscher den PCI von 48 Patienten mit Hirnschäden, die ansprechbar und wach waren. Die eindeutig bewusstlosen Probanden befanden sich während der Messung entweder im Tiefschlaf oder in Narkose durch Anästhetika, die auch für gängige Operationen verwendet werden, wie Midazolam, Xenon oder Propofol.

Anhand der ermittelten PCI-Werte legten die Forscher einen Schwellenwert fest, oberhalb dessen ein bewusstes Erleben sehr wahrscheinlich ist. Dieser lag bei 0,31; folglich war bei allen der insgesamt 540 Messungen ein Patient immer dann bewusstlos, wenn sein PCI unter 0,31 lag (siehe »Schwelle zum Bewusstsein«).

In der Studie klassifizierten die Forscher auf diese Weise den Bewusstseinszustand

aller Teilnehmer korrekt – der gesunden Probanden wie der Patienten mit Hirnschäden. Das ist schon beachtenswert, wenn man bedenkt, wie sehr diese sich in Bezug auf Alter, Geschlecht, Ort der TMS-Stimulation und Art der Schädigung unterscheiden.

Schließlich wendete das Team »Zap-and-Zip« bei Patienten an, bei denen Ärzte zuvor auf Grund von Standardtests entweder »Wachkoma« oder »Zustand minimalen Bewusstseins« (MCS) diagnostiziert hatten. Letztere wiesen noch rudimentäre Verhaltensreaktionen auf, die über reine Reflexe hinausgingen. Bei 36 der 38 MCS-Patienten erkannte das Verfahren korrekt die Existenz von Bewusstsein. Von den 43 Wachkomapatienten, bei denen jegliche Kommunikationsversuche erfolglos geblieben waren, erhielten 34 von »Zap-and-Zip« die Diagnose »ohne Bewusstsein«, da der PCI-Wert unter 0,31 lag. Beunruhigend waren die Ergebnisse für die anderen neun Patienten. Deren neuronale Reaktion auf den Magnetimpuls wies eine Komplexität auf, die oberhalb des Schwellenwerts lag. Womöglich verfügen sie über Bewusstsein, sind aber unfähig, mit anderen zu kommunizieren.

Wie jedes erfolgreiche Experiment wirft auch dieses neue Fragen auf: Wie lässt sich

»Zap-and-Zip« so optimieren, dass es bei MCS-Patienten zu 100 Prozent korrekt Bewusstsein erkennt? Eignet sich die Methode ebenso für Patienten mit fortgeschrittener Demenz oder für Säuglinge und Kleinkinder? Und nicht zuletzt wäre es natürlich wunderbar, wenn Ärzte mit dem Verfahren vorhersagen könnten, ob ein Wachkomapatient wieder aufwachen wird. Auch wenn einige dieser Fragen so schnell nicht beantwortet werden, dürfen wir uns jetzt schon über einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zur Lösung des uralten Leib-Seele-Problems freuen. ↩

(Gehirn&Geist, 3/2018)

Casali, A. G. et al.: A Theoretically Based Index of Consciousness Independent of Sensor Processing and Behavior. In: Science Translational Medicine 5, 198ra105, 2013

Casarotto, S. et al.: Stratification of Unresponsive Patients by an Independently Validated Index of Brain Complexity. In: Annals of Neurology 80, S. 718–729, 2016

Massimini, M. et al.: Breakdown of Cortical Effective Connectivity during Sleep. In Science 309, S. 2228–2232, 2005
Weitere Quellen im Internet: www.spektrum.de/artikel/1531593

SUBJEKTIVES ERLEBEN

DAS SCHWIERIGSTE **PROBLEM**

von Susan Blackmore

Wie können physikalische Prozesse im Gehirn subjektives Empfinden hervorbringen? Die Entschlüsselung des menschlichen Bewusstseins erweist sich noch immer als äußerst harte Nuss.



Sind wir Menschen auf unserem Planeten die einzigen Wesen, die sich durch ein echtes Bewusstsein auszeichnen? Reagieren Libellen und Löwen, Fische und Fledermäuse lediglich als Automaten ohne jede Spur eines bewussten Erlebens auf ihre Umwelt? Der griechische Gelehrte Aristoteles (384–311 v. Chr.) war davon überzeugt: Menschen besäßen eine rationale Seele, alle Tiere dagegen nur die notwendigen Instinkte zum Überleben. Das christliche Mittelalter siedelte den Menschen ebenfalls in der »großen Seinskette« oberhalb der seelenlosen Tiere an – über ihm gab es nur noch Gott und die Engel. Und auch der französische Philosoph René Descartes (1596–1650) vertrat im 17. Jahrhundert die Ansicht, Tiere verhielten sich ausschließlich reflexhaft.

Aber je mehr biologische Kenntnisse wir gewinnen, desto offensichtlicher wird es, dass wir nicht nur Anatomie, Physiologie

und Genetik mit anderen Tieren teilen, sondern auch neuronale Systeme für Sehen, Hören, Gedächtnis und Emotionen. Kann es wirklich sein, dass nur wir allein zusätzlich dieses ganz besondere Etwas besitzen – diese wundersame Innenwelt des subjektiven Erlebens?

Die Frage lässt sich nur schwer beantworten. Unser eigenes Bewusstsein mag als das Natürlichste der Welt erscheinen, aber sein Wesen zu untersuchen, gehört wohl zu den größten Herausforderungen überhaupt. Wir verfügen noch nicht einmal über eine eindeutige Definition, sondern können lediglich auf eine berühmte Frage des US-amerikanischen Philosophen Thomas Nagel aus dem Jahr 1974 zurückgreifen: Wie ist es, eine Fledermaus zu sein?

Nagel wählte die Flattertiere als Beispiel, weil sie so ganz anders leben als wir. Wir können uns vielleicht ausmalen, wie es sein mag, über Kopf hängend zu schlafen oder sich in der Welt mit Ultraschall zurechtzufinden – aber fühlt sich das irgendwie an? Der springende Punkt dabei: Wenn es sich überhaupt nicht anfühlt, eine Fledermaus zu sein, können wir sagen, sie habe kein Bewusstsein. Wenn aber das Tier

AUF EINEN BLICK

Das Rätsel des menschlichen Bewusstseins

- 1 Beobachtungen aus Verhaltensforschung und Physiologie lassen darauf schließen, dass auch Tiere Schmerzen empfinden. Ob sie diese bewusst erleben, ist allerdings umstritten.
- 2 Ebenfalls unklar ist, woher das Bewusstsein des Menschen rührt und wie es in der Evolution entsteht.
- 3 Manche Forscher gehen davon aus, dass es gar kein Bewusstsein gibt, sondern nur eine Illusion des Gehirns für ein Ich-Empfinden.

Susan Blackmore ist Psychologin und Gastprofessorin an der britischen University of Plymouth. Als Wissenschaftsautorin hat sie zahlreiche Bücher über Bewusstsein und scheinbar übersinnliche Erfahrungen geschrieben.

irgendwie empfindet, wie es ist, eine Fledermaus zu sein, hat es eins. Was trifft zu?

Mit Fledermäusen haben wir vieles gemein: Auch wir besitzen Ohren, und wir können uns unsere Arme durchaus als Flügel vorstellen. Aber nehmen Sie einmal an, Sie wären ein Tintenfisch! Sie hätten acht gewundene, glibberige, empfindsame Arme, mit denen sie sich fortbewegen und Beute ergreifen. Sie besäßen jedoch kein Skelett und könnten sich deshalb durch winzige Hohlräume quetschen. Nur ein Drittel Ihrer Neurone lägen in einem zentralen Gehirn; die anderen gehörten zu Nervensträngen in jedem der acht Arme. Was meinen Sie? Fühlt es sich irgendwie an, ein ganzer Tintenfisch oder sein zentrales Gehirn oder ein einzelner Arm zu sein? Die Bewusstseinsforschung bietet keinen einfachen Weg, so etwas herauszufinden.

Der Knackpunkt des Dualismus

Noch schlimmer sieht es mit dem »schwierigen Problem« der Bewusstseinsforschung aus, das der australische Philosoph David Chalmers herausstellte: Wie erwächst subjektives Erleben aus objektiver Hirnaktivität? Wie können physikalisch arbeitende Neurone mit ihrer chemischen

und elektrischen Kommunikation das Gefühl für Schmerz, für das herrliche Rot eines Sonnenuntergangs oder für den Geschmack eines edlen Rotweins hervorbringen? Hier liegt der Knackpunkt des Dualismus: Wie kann Geist aus Materie entstehen? Tut er das überhaupt?

Die Antwort auf diese Frage teilt die Bewusstseinsforschung in zwei Lager. Auf der einen Seite steht »Typ B«, wie es der Philosoph Daniel Dennett einmal in einer hitzigen Debatte formulierte. Die Mitglieder dieser Gruppe zerbrechen sich den Kopf über das schwierige Problem und postulieren einen »philosophischen Zombie«: ein hypothetisches Wesen, das sich von außen nicht von einem Menschen unterscheiden lässt, aber kein Bewusstsein besitzt. Das bedeutet, dass andere Tiere zwar wohl sehen, hören, fressen und sich paaren – das aber »in völliger Dunkelheit«, ohne jegliches subjektives Erleben. Wenn das stimmt, muss Bewusstsein eine besondere, zusätzliche Eigenschaft sein, die wir hätten entwickeln können oder eben auch nicht, und wo wir, jedenfalls nach Ansicht der meisten, von Glück sagen können, dass wir sie besitzen.

Das A-Team auf der anderen Seite lehnt die Vorstellung von Zombies ab und sieht

wie die kanadische Philosophin Patricia Churchland in Chalmers' »schwierigem Problem« nur eine Scheindebatte, die vom Thema ablenkt. Bewusstsein ist entweder schlicht die Aktivität von Körper und Gehirn, oder es gehört zwangsläufig zu allem, was wir so offensichtlich mit anderen Tieren gemeinsam haben. Nach Ansicht dieser Wissenschaftler ist die Frage, warum das »eigentliche Bewusstsein« in der Evolution entstanden ist oder worin seine Funktion besteht, einfach deshalb witzlos, weil ein »eigentliches Bewusstsein« nicht existiert.

Warum ist das wichtig? Ein Grund ist das Leiden. Wenn ich meiner Katze versehentlich auf den Schwanz trete und sie kreischend aus dem Zimmer rast, weiß ich, dass ich ihr weh getan habe. Aber Verhalten kann auch in die Irre führen. Wir könnten ohne Weiteres im Schwanz einer Roboterkatze Drucksensoren einbauen und damit einen Schrei auslösen, sobald jemand drauftritt – und doch würden wir nicht davon ausgehen, dass der Apparat dabei Schmerzen erleidet.

Viele Menschen sind Vegetarier, weil Nutztiere schlecht behandelt werden – aber sehnen sich die armen Schweine und Kühe



BEWUSSTSEINSFORSCHUNG

»Wie ist es, eine Fledermaus zu sein?«, fragte der Philosoph Thomas Nagel. Wenn das Tier – in diesem Fall Geoffroys Schwanzlose Fledermaus (*Anoura geoffroyi*) – das irgendwie fühlt, dann hat es wohl ein Bewusstsein.

dass sie leiden. Noch augenfälliger erscheint das Verhalten verletzter Garnelen, die hinken und ihre Wunden reiben – und damit aufhören, sobald man ihnen die auch beim Menschen wirkenden Schmerzmittel gibt.

Fische reagieren auf schädliche Reize – aber »leiden« sie wirklich darunter?

Das Gleiche gilt für Fische: Regenbogenforellen, denen Essigsäure in die Lippen gespritzt worden war, schwankten hin und her und scheuerten sich das Maul an den Aquarienwänden wie auch am Kies. Gab man ihnen Morphin, stellten sie dieses Verhalten ein. Zebrabärblinge, welche die Wahl zwischen einem Aquarium mit Steinen und Pflanzen und einem kahlen Wasserbecken hatten, entschieden sich für die interessantere Umgebung. Injizierte man ihnen allerdings Säure, und der leere Tank

wirklich nach der großen Freiheit? Leiden Batteriehennen in ihren winzigen Käfigen tatsächlich furchtbar? Wie Verhaltensexperimente zeigen, scharren Hühner zwar gern im Sand, und sie entscheiden sich für einen Käfig mit Streu, sofern er leicht zugänglich ist; sie sparen sich aber die Mühe, einen schweren Vorhang beiseitezuschieben, um dorthin zu gelangen. Macht es ihnen also vielleicht nichts aus? Hummer ge-

ben ein entsetzliches Kreischen von sich, wenn sie bei lebendigem Leib gekocht werden – aber liegt das womöglich nur an der Luft, die dabei aus dem Panzer gepresst wird?

Wenn man Krebse verletzt, sie aus dem Wasser nimmt oder ihnen eine Schere abtrennt, schütten sie kortisolähnliche Stresshormone aus. Auf Grund dieser physiologischen Reaktion sollte man annehmen,

enthielt ein Schmerzmittel, schwammen sie dorthin. Das Leiden von Fischen mag einfacher gestrickt sein und sich von dem unsrigen unterscheiden, aber die geschilderten Experimente legen die Vermutung nahe, dass sie tatsächlich Schmerzen empfinden.

Manche Fachleute sind davon dennoch nicht überzeugt. Nach Ansicht des australischen Biologen Brian Key reagieren Fische vielleicht so, als ob sie Schmerzen hätten, aber diese Beobachtung beweise nicht, dass sie bewusst irgendetwas empfinden. Schädliche Reize, behauptet er, »fühlen sich für einen Fisch wie gar nichts an«. Das menschliche Bewusstsein, so seine Argumentation, basiere auf Signalverstärkung und umfassender Integration; Fischen jedoch fehle die neuronale Architektur, die solche Verknüpfungen ermöglichen. Letztlich lehnt Key alle Indizien aus Verhaltensforschung und Physiologie ab und stützt sich ausschließlich auf die Anatomie, um damit die Einzigartigkeit des Menschen zu verteidigen.

Wenn uns solche Studien nicht weiterbringen, hilft vielleicht der Vergleich verschiedener Gehirne. Ist sich der Mensch auf Grund seines großen Denkapparats auf

einzigartige Weise bewusst? Laut der britischen Pharmakologin Susan Greenfield nimmt das Bewusstsein quer durch das Tierreich mit der Hirngröße zu. Aber dann besäßen Elefanten oder Braunbären mehr Bewusstsein als wir, und Doggen oder Bernhardiner lebten bewusster als Dackel oder Pekinesen – was wenig plausibel klingt.

Wichtiger als die Größe des Gehirns dürften Aspekte seiner Organisation und Funktion sein, die nach Ansicht vieler Wissenschaftler auf ein Bewusstsein hindeuten. Nahezu alle Säuger und auch die meisten anderen Tiere, wie Fische, Reptilien und manche Insekten, wechseln zwischen Schlaf und Wachzustand oder verfügen zumindest über einen ausgeprägten tageszeitabhängigen Aktivitätsrhythmus. Gesteuert werden diese Zustände von bestimmten Hirnarealen wie dem unteren Hirnstamm bei Säugern. Im Sinn von Wachsein sind sich also die meisten Tiere ihrer selbst bewusst. Das beantwortet aber nicht die Frage nach dem Inhalt des Bewusstseins – wir wissen nicht, wie es ist, eine wache Schnecke oder Eidechse zu sein.

Etliche Forscher, darunter der Nobelpreisträger Francis Crick (1916–2004) sowie der britische Neurowissenschaftler

Anil Seth, vertraten die Ansicht, das Bewusstsein des Menschen entspringe aus weit verstreuten, relativ schnellen Interaktionen niedriger Amplitude zwischen zwei Hirnregionen: dem Thalamus, einer sensorischen Relaisstation im Hirninneren, und dem Kortex, der Großhirnrinde an der Hirnoberfläche. Solche »thalamokortikalen Schleifen« tragen nach dieser Vorstellung dazu bei, die Information aus verschiedenen Hirnteilen zu integrieren, und bilden damit die Grundlage des Bewusstseins. Falls das zutrifft, sollte das Aufspüren derartiger Phänomene bei weiteren Spezies auf ein bewusstes Erleben hindeuten. Da auch andere Säugetiere ähnliche Strukturen besitzen, argumentiert Seth, sollten sie ein Bewusstsein haben. Vielen Tieren wie etwa Krebsen fehlt allerdings eine Großhirnrinde samt thalamokortikaler Schleifen. Vielleicht brauchen wir genauere Theorien des Bewusstseins, um die entscheidenden Merkmale auszumachen.

Denkansätze für eine Theorie des Bewusstseins mit widersprüchlichen Aussagen

Eine der verbreitetsten Theorien hierzu ist die vom globalen Arbeitsraum (Global Workspace Theory), die ursprünglich der

US-amerikanische Kognitionswissenschaftler Bernard Baars formulierte. Sie geht davon aus, das menschliche Gehirn sei rund um einen »Arbeitsraum« aufgebaut, der dem Arbeitsgedächtnis ähnelt. Jeder mentale Inhalt, der den Weg in diesen Arbeitsraum findet – der sozusagen auf der hell erleuchteten »Bühne« im Theater des Geistes erscheint –, wird dann an das übrige, unbewusste Gehirn weitergeleitet. Diese globale Weiterleitung verleiht dem Individuum Bewusstsein.

Demnach würden Tiere ohne Gehirn, wie Seesterne, Seeigel oder Quallen, auch über kein Bewusstsein verfügen. Das Gleiche gilt für Lebewesen, die zwar ein Gehirn besitzen, denen aber die notwendige Architektur des globalen Arbeitsraums fehlt – wie Fische, Kraken und viele andere. Jedoch sprechen zahlreiche Indizien aus der Verhaltensforschung dafür, dass Letztere trotzdem ein Bewusstsein besitzen.

Die alternative Theorie der integrierten Information (Integrated Information Theory) schlug ursprünglich der italienische Psychiater Giulio Tononi vor. Sie definiert eine Größe Φ (Phi) als Maß dafür, in welchem Umfang Information in einem System verarbeitet wird – genauer gesagt, in

Teile zerlegt wie auch zu einem Ganzen vereinheitlicht wird. Verschiedene Messmethoden führen zu dem Schluss, dass sich ein großes, komplexes Gehirn wie das menschliche auf Grund des hohen Grads an Verstärkung und Integration der neuronalen Aktivität durch ein hohes Φ auszeichnet. Dagegen liegt bei einfacheren Systemen Φ niedriger, wie sich auch aus den unterschiedlichen Komplexitätsstufen der biologischen Arten ergibt. Im Gegensatz zur Theorie des globalen Arbeitsraums lässt die Theorie der integrierten Information ein Bewusstsein in einfacher Form auch bei niederen Lebewesen zu – genauso wie bei entsprechend organisierten Maschinen mit hohem Φ .

Beide Denkansätze gelten als Anwärter für eine echte Theorie des Bewusstseins. Aber wenn es um das Bewusstsein von Tieren geht, widersprechen sich ihre Aussagen. Und auch die Studien aus Verhaltensforschung, Physiologie und Anatomie liefern widersprüchliche Ergebnisse. Hilft es vielleicht, wenn man herausfindet, wie, warum und wann Bewusstsein in der Evolution entstand?

Wieder stoßen wir hier auf die Kluft zwischen den beiden wissenschaftlichen La-

gern. Die Forscher von Team B argumentieren, da wir offensichtlich ein Bewusstsein besäßen, müsse es eine Funktion haben und beispielsweise unser Verhalten steuern oder uns vor natürlichen Feinden schützen. Doch wenn es um die Frage geht, wann das Bewusstsein entstanden ist, denken einige Wissenschaftler an Jahrmillarden, während andere dieses Ereignis erst in historischen Zeiten ansiedeln.

So vertreten der Neurologe Todd Feinberg und der Biologe Jon Mallatt ohne überzeugende Belege eine etwas undurchsichtige Theorie, in der »eingebettete und nicht eingebettete« neuronale Architekturen sowie besondere Typen mentaler Bilder eine Rolle spielen. Diese, so behaupten sie, träten erstmals bei Tieren aus der Zeit von vor 560 bis vor 520 Millionen Jahren auf. Bernard Baars, der Urheber der Theorie des globalen Arbeitsraums, verknüpft das Auftauchen des Bewusstseins dagegen mit der Entstehung des Säugetiergehirns vor rund 200 Millionen Jahren. Der britische Archäologe Steven Mithen weist wiederum auf die kulturelle Explosion hin, die vor 60 000 Jahren einsetzte, als seiner Ansicht nach verschiedene Fähigkeiten im Gehirn zusammenflossen. Und der Psychologe Ju-

lian Jaynes (1920–1997) ging zwar ebenfalls davon aus, dass ein zuvor aufgeteiltes Gehirn sich vereinheitlichte, behauptete aber, dies sei viel später geschehen. Da in dem griechischen Epos »Ilias« keine Wörter für das Bewusstsein auftauchen, folgerte er, die alten Griechen wären sich ihrer eigenen Gedanken nicht auf die gleiche Weise bewusst gewesen wie wir heutzutage und hätten stattdessen ihre inneren Stimmen den Göttern zugeschrieben. Demnach, so Jaynes' Argument, kannten die Menschen bis vor 3000 Jahren kein subjektives Erleben.

Alles nur eine Illusion?

Was ist dran an solchen Ideen? Sie sind alle falsch, sagen die Vertreter des A-Teams, weil das Bewusstsein weder eine unabhängige Funktion noch einen unabhängigen Ursprung besäße. Zu ihnen gehören »eliminative Materialisten« wie Patricia und Paul Churchland. Ihrer Ansicht nach ist das Bewusstsein schlicht und einfach die Impulstätigkeit der Neurone, und eines Tages würden wir diese Erkenntnis ebenso anerkennen wie die Tatsache, dass Licht elektromagnetische Strahlung ist. Auch die Theorie der integrierten Information verneint

eine eigenständige Funktion des Bewusstseins, weil jedes System mit einem ausreichend hohen Φ automatisch ein Bewusstsein besitzen muss. Keine dieser Theorien macht das Bewusstsein des Menschen zu etwas Einzigartigem.

Ein letzter Ansatz dreht sich um die allgemein bekannte, aber vielfach missverstandene Behauptung, Bewusstsein sei eine Illusion. Diese Idee leugnet nicht die Existenz von subjektivem Erleben, postuliert aber, weder das Bewusstsein noch das Selbst seien das, was sie zu sein scheinen. Zu den Vertretern dieser These gehört der britische Psychologe Nicholas Humphrey, nach dem sich in unserem Kopf eine »Magical Mystery Show« abspiele. Das Gehirn, so postuliert er, braut sich aus den ständig auf uns einprasselnden Eindrücken eine Geschichte zusammen, die einem evolutionären Zweck dient: uns einen Grund zum Leben zu liefern. Und nach der Theorie des Aufmerksamkeitsschemas, formuliert von dem Neurowissenschaftler Michael Graziano, konstruiert das Gehirn ein vereinfachtes Modell dafür, wie und worauf es seine Aufmerksamkeit richtet. In Kombination mit einem Ich-Modell kann demnach das Gehirn – oder auch jede Maschi-

ne – sich selbst so beschreiben, als würde es bewusst etwas erleben.

Als einer der bekanntesten illusionistischen Hypothesen gilt Daniel Dennetts »Theorie der mehrfachen Entwürfe«: Demnach funktioniert das Gehirn als extrem parallel arbeitendes System, das kein zentrales Theater braucht, in dem ein Ich sitzt und von hier aus die Welt betrachtet und steuert. Vielmehr prozessiert es ständig mehrere Entwürfe von Wahrnehmungen und Gedanken, von denen keiner bewusst oder unbewusst ist, bis das System eine Reaktion auslöst. Erst dann erleben wir den Gedanken oder die Handlung als bewusst – Bewusstsein ist also eine Zuschreibung, die wir im Nachhinein vornehmen.

Dennett verbindet diese Vorstellung mit der Memtheorie. In Analogie zum Gen gilt ein Mem als eine Informationseinheit, die von Mensch zu Mensch weitergegeben wird, wie etwa Wörter, Geschichten, Gebräuche oder Technologien. Da der Mensch zu einer verallgemeinernden Nachahmung in der Lage ist, kann er Meme kopieren, abwandeln und zwischen ihnen auswählen, woraus wiederum Sprache und Kultur entsteht. »Das menschliche Bewusstsein *selbst* ist ein ungeheurer Kom-

plex von Memen«, schrieb Dennett in seinem Buch »Philosophie des menschlichen Bewusstseins«, und das Selbst sei eine »harmlose Illusion des Benutzers«.

Dieses illusorische Selbst, diesen Komplex aus Memen, bezeichne ich als Selfplex. Es handelt sich um die Illusion, wir seien ein machtvolles Selbst, das über Bewusstsein und freien Willen verfüge – mit nicht ganz so harmlosen Folgen. Denn vielleicht verstärkt unsere einzigartige Fähigkeit für Sprache, autobiografisches Gedächtnis sowie für das trügerische Gefühl, ein dauerhaftes Selbst zu sein, unsere Leidensfähigkeit. Andere Arten mögen Schmerzen empfinden; sie können die Sache aber nicht noch zusätzlich verschärfen, indem sie schreien: »Wie lange wird es weh tun? Wird es schlimmer? Warum gerade ich? Warum gerade jetzt?«

In diesem Sinn dürfte unser Leiden einzigartig sein. Für einen Illusionisten wie mich liegt die Lösung des »schwierigen Problems« des Bewusstseins auf der Hand: Wir Menschen sind einzigartig, weil nur wir allein so klug sind, dass wir uns täuschen lassen und glauben, es gebe ein bewusstes Ich.



(Spektrum der Wissenschaft, Februar 2019)

Blackmore, S., Troscianko, E. T.: Consciousness. An Introduction. Third Edition. Routledge, Abingdon 2018

Chalmers, D. J.: The Character of Consciousness. Oxford University Press, Oxford 2010

Dehaene, S.: Denken. Wie das Gehirn Bewusstsein schafft. Knaus, München 2014

Dennett, D. C.: Von den Bakterien zu Bach – und zurück. Die Evolution des Geistes. Suhrkamp, Berlin 2018

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT

HALLUZI- NOGENE

Drogen, die die Wahrnehmung verändern

FÜR NUR
€ 4,99

Legal Highs | Tödliche Kräutermixturen
Rausch | Was Psychedelika
über das Bewusstsein verraten
Depression | Partydroge als Lebensretter

HIER DOWNLOADEN

DAS UNBEWUSSTE

DER AUTOPILOT



IM KOPF von Steve Ayan

Einer neuen Theorie zufolge entsteht Bewusstsein nur dann, wenn die Prognosen unseres Gehirns versagen. Denn dessen oberste Maxime lautet: bloß keine Überraschungen!

In Worcester bei Boston an der Ostküste der USA trafen im September 1909 fünf Männer ein, um die Neue Welt mit einer Idee zu erobern. Kopf der Truppe war ein gewisser Doktor Freud aus Wien. Zehn Jahre zuvor hatte dieser Nervenarzt in seinem Buch »Die Traumdeutung« eine neuartige Behandlung der Hysterie vorgestellt. Das Werk enthielt zugleich eine skandalträchtige Sicht auf die menschliche Psyche: Laut Freud rumort es unter der Oberfläche des Bewusstseins gewaltig. Tief verwurzelte Triebe, vor allem die sexuelle Energie oder Libido, würden von den erlernten Prinzipien der Moral mühsam in Schach gehalten und suchten sich ein Ventil in Versprechern, Träumen und Neurosen. Diese seien Verkleidungen – Sublimierungen, wie Freud es nannte – des Unbewussten.

Auf Einladung des berühmten Psychologen Stanley Hall (1846–1924) hielt Freud fünf Vorträge an der Clark University in Worcester. Unter seinen Zuhörern war auch der Philosoph William James (1842–1910), der eigens aus Harvard angereist war, um

Freud zu treffen. Nach einem gemeinsamen Spaziergang auf dem Campus habe James, so wird kolportiert, dem Analytiker Großes verheißen: »Die Zukunft der Psychologie gehört Ihrem Werk«, soll er gesagt haben. Und James behielt damit Recht.

Das Bild vom Menschen als einem von dunklen Seelenmächten Getriebenen, der nicht Herr im eigenen Haus sei, ist heute Allgemeingut. In uns tobt demnach ein ständiger Kampf zwischen den Ansprüchen des Bewusstseins auf der einen Seite und den geheimen Wünschen des Unbewussten auf der anderen. Diese Sichtweise hat allerdings einen Haken: Bewusstes und Unbewusstes arbeiten meist gar nicht gegeneinander! Sie sind keine Konkurrenten, die um die Vorherrschaft über unsere Psyche ringen. Ja, sie stellen nicht einmal getrennten Sphären dar, wie es Freuds Einteilung in »Ich«, »Es« und »Über-Ich« suggeriert. Es gibt vielmehr nur *einen* Geist, in dem bewusste und unbewusste Anteile eng miteinander verwoben sind.

Wie tief die Idee vom dunklen Unbewussten in der Populärkultur wurzelt, zeigt die Darstellung in dem Pixar-Film »Alles steht Kopf«. Hier ist das Unbewusste ein geheimnisvoller, verschlossener Raum in der Kon-

AUF EINEN BLICK

Zurück in die Zukunft

- 1 Wie die Erforschung des Unbewussten gezeigt hat, fällt unser Geist schnell und automatisch Urteile und Entscheidungen. Das Gehirn stellt dabei permanent Prognosen über zukünftige Ereignisse an.
- 2 Laut der Theorie des »predictive mind« entsteht Bewusstsein, wenn die impliziten Erwartungen des Gehirns versagen. Danach gilt es, den energieschonenden Automatikmodus rasch wiederherzustellen.
- 3 Höhere kognitive Verarbeitungsstufen der Großhirnrinde kommen ohne Bewusstsein aus. Nicht der Kortex, sondern niedere, für Gefühle und Motive zuständige Regionen speisen die bewusste Aufmerksamkeit.

trollzentrale im Kopf. Unrealistischer könnte das Bild kaum sein: Das Unbewusste ist alles andere als eine Kammer, in die wir unerwünschte Gedanken oder Impulse abschieben. Wir stellen es uns gern so vor, weil allein das bewusste Denken unser Handeln leiten soll. Nur dann, so scheint es, hätten wir unser Leben in der Hand. Doch wie die moderne Forschung beweist, regieren vor allem automatische Reaktionsmuster unser Denken und Handeln.

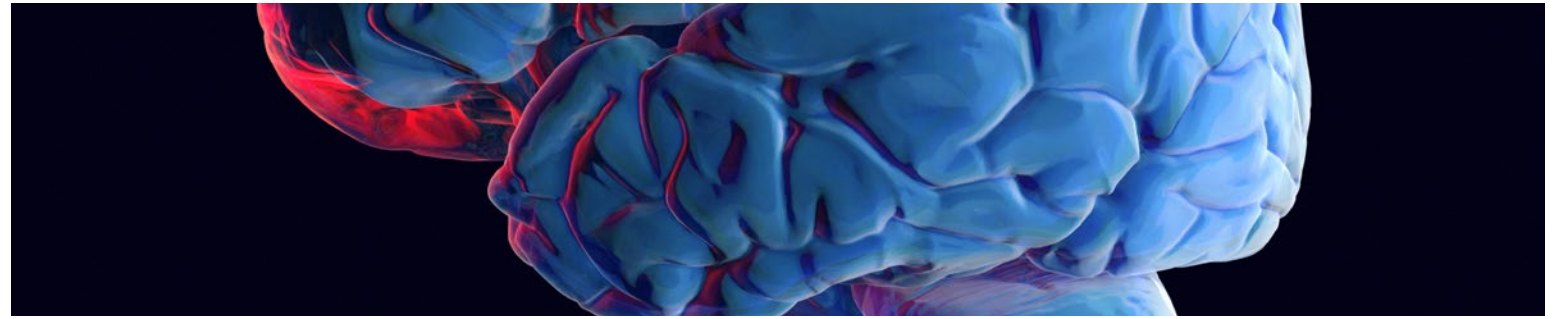
Vorhersagen treffen und stetig verbessern ist das Metier des Geistes

Ein Gegenmodell zum freudschen Tiefenzauber, das in den letzten Jahren immer mehr Zulauf bekam, firmiert unter dem Schlagwort »predictive mind«, zu Deutsch: »Vorhersagen treffender Geist« (gefettete Begriffe siehe »Kurz erklärt«). Diese revolutionäre Theorie weist der Automatik des Geistes eine zentrale Rolle zu: Sie diene dazu, künftige Ereignisse schnell und sicher vorherzusagen. Lernen, Erfahrung und auch Bewusstsein haben letztlich den Zweck, die impliziten Prognosen immer weiter zu verbessern.

Die Anfänge dieser Sichtweise wurzeln dabei ebenfalls im 19. Jahrhundert. Der

KURZ ERKLÄRT

FIRSTSIGNAL / GETTY IMAGES / ISTOCK



ARBEITSGEDÄCHTNIS | Beinhaltet all jene Wahrnehmungen, Erinnerungen, Pläne und so weiter, die wir im Moment geistig präsent haben. Viele Forscher halten den aktuellen Inhalt des Arbeitsgedächtnisses für identisch mit dem Bewusstsein.

FREIE ENERGIE (FREE ENERGY) | Vom britischen Hirnforscher Karl Friston vorgeschlagener Name für den neuronalen Zustand, der durch fehlerhafte Prognosen entsteht. Hirnprozesse sind darauf gerichtet, freie Energie zu vermeiden.

HOMÖOSTASE | (von griechisch *homoioistásis* = Gleichgewicht) bezeichnet den Erhalt jener inneren Balance, die für das Überleben des Organismus unverzichtbar ist. Die Homöostase des Stoffwechsels zu kontrollieren, ist eine der Hauptaufgaben des Gehirns.

PREDICTIVE MIND | Neurowissenschaftliches Modell, wonach unser Geist laufend Vorhersagen über zukünftige Ereignisse anstellt. Bewusstsein ist demnach gleichbedeutend mit Vorhersagefehlern – sprich: Überraschung.

PRIMING | Beliebtes Versuchsparadigma zur Erforschung von unbewussten psychischen Prozessen: Unterschwellige (da kurz präsentierte) oder verdeckte Stimuli beeinflussen das Denken, Fühlen und Handeln der Probanden.

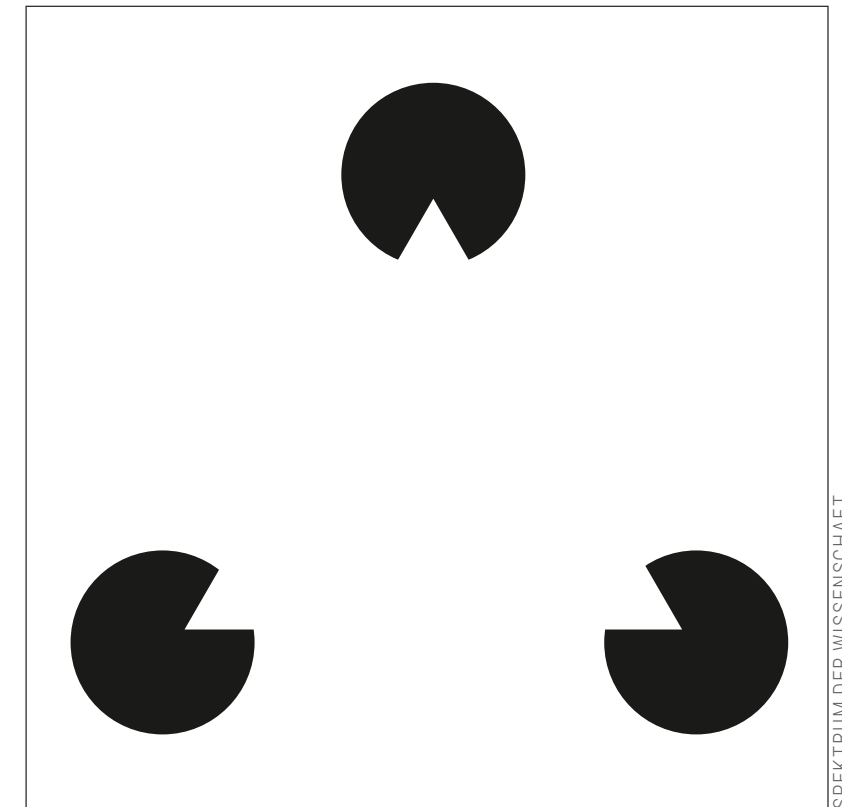
REAFFERENZ-PRINZIP | Jeder Befehl, den das Gehirn an die Muskeln schickt (auch Afferenz genannt), gelangt als Kopie in die für die Sinnesverarbeitung zuständigen Hirnareale. So lässt sich die Wirkung der eigenen Aktionen aus dem sensorischen Input herausfiltern.

Physiker und Physiologe Hermann von Helmholtz (1821–1894) stellte als Erster die Hypothese auf, wonach implizite Schlüsse in unserer Wahrnehmung verankert sind. Ein Muster wie etwa die durch ein imaginäres Dreieck teils verdeckten Kreise ergänzt unser Sehsystem vollautomatisch. Solche nützlichen Illusionen belegen laut Helmholtz, dass voreingestellte Mechanismen unser Bild der Welt prägen, ohne dass wir irgendetwas dazutun. Wie man inzwischen weiß, betrifft das jedoch nicht nur die Sinneswahrnehmung, sondern alle geistigen Prozesse, von der Urteilsbildung über Entscheidungen bis hin zur Handlungssteuerung.

Ein grundlegendes Arbeitsprinzip des Gehirns besteht darin, die Wirkung seines eigenen Tuns zu berücksichtigen. Es rechnet beispielsweise Bewegungen des Körpers aus den Seheindrücken heraus, weshalb wir, wenn wir den Kopf schütteln, nicht das Gefühl bekommen, die Welt wackele hin und her. Aus dem gleichen Grund können wir uns nicht selbst kitzeln: Die für das Tastempfinden zuständigen Hirnareale sind bereits darüber informiert, dass die Eigenbewegung der Finger für den Sinnesreiz verantwortlich ist.

Dieses so genannte Reafferenz-Prinzip stellt die Entwickler künstlicher Intelligenz bis heute vor enorme Herausforderungen. Allein schon einen Ball zu fangen, ist für Maschinen ein Riesenproblem, denn dafür müssen visuelle und motorische Informationen laufend miteinander abgeglichen und aktualisiert werden. Dieser hochkomplexe Vorgang läuft bei uns Menschen (zum Glück!) unbewusst ab.

In diesem Wort steckt allerdings noch sehr viel mehr. Es bezeichnet so verschiedene Dinge wie unterschwellige Wahrnehmungen, automatisierte Bewegungen, spontane Assoziationen oder implizites Schlussfolgern. In Laborexperimenten lässt sich zeigen, dass Probanden die einer Testaufgabe zu Grunde liegende Regel bereits erkennen, ehe sie diese verbalisieren können, sie also bewusst durchschauen. Sollen Versuchspersonen etwa wahlweise von zwei Stapeln Spielkarten ziehen, wobei der eine Stapel hohe Gewinne, aber auch massive Verluste verheißt, während der andere im Schnitt weniger riskant ist, so offenbaren Stresssignale wie vermehrtes Schwitzen, dass die Betreffenden den Zusammenhang herstellen, lange bevor sie wissen: Dieser Stapel ist riskant, davon las-



WAHRNEHMUNG

Die Kanizsa-Illusion zeugt davon, wie unsere Wahrnehmung auf impliziten Schlüssen fußt: Das Sehsystem konstruiert ein imaginäres Dreieck, um die Anordnung der Kreise zu »erklären«.

se ich besser die Finger! Wie der Neurowissenschaftler Nicolas Schuck von der Princeton University in neueren Untersuchungen herausfand, kann man solche Strategien sogar an Aktivitätswechseln in bestimmten Teilen des Stirnhirns ablesen – und zwar noch bevor sie in den Wahlentscheidungen der Probanden zu Tage treten.

Die Macht unterschwelliger Reize

Ein anderes Untersuchungsparadigma, das sehr viel zu unserem Wissen über das Unbewusste beitrug, ist das Priming. Bei solchen Experimenten bekommen Probanden Bilder, Wörter oder auch körperliche Empfindungen so gezeigt, dass sie die Reize entweder nicht bemerken (weil die Präsentationsdauer zu kurz ist) oder sie nicht weiter beachten, da sie vermeintlich nichts zur Sache tun. So geben Psychologen ihren Versuchsteilnehmern gern Texte zu lesen, in denen bestimmte Begriffe gehäuft auftauchen. Hat die Lektüre, verglichen mit einem neutralen Kontrolltext, messbare Folgen im Denken, Fühlen oder Handeln, so liegt offenbar eine unbewusste Beeinflussung vor.

In zahlreichen Studien konnten Forscher demonstrieren, dass die unterschwellige Anregung bestimmter Konzepte, etwa

von Gedanken an das Altern oder an den Tod, messbare Auswirkungen hat: Die betreffenden Personen bewegen sich dann beispielsweise langsamer oder sind auf einmal für religiöse Ideen empfänglicher. Das gleiche Phänomen kennen wir aus dem Alltag, wenn wir etwa an einer duftenden Bäckerei vorbeigehen und uns plötzlich einfällt, dass wir noch die Zutaten für einen Geburtstagskuchen besorgen wollten. Das Unbewusste bahnt auf diese Weise unserem Handeln den Weg.

Solche Beispiele belegen die mehrgleisige Funktionsweise des Gehirns. Verglichen mit einem Computer arbeitet unser Denkorgan zwar extrem langsam, dafür aber auf sehr vielen Ebenen parallel. Forscher unterscheiden dabei grob zwei Stränge, die der Nobelpreisträger Daniel Kahneman als »System 1« und »System 2« bezeichnete. Andere sprechen von impliziter und expliziter oder von heißer versus kalter Verarbeitung. Allerdings, und das ist entscheidend, wirken sie stets zusammen; wir sind also immer unbewusst und bewusst zugleich.

Wie das gemeint ist, können Sie sich ganz leicht klarmachen, indem Sie einfach die folgenden Zeilen lesen: *Jdeer nmrolae Msnech knan dese i Wtröer vtloimotisauc*

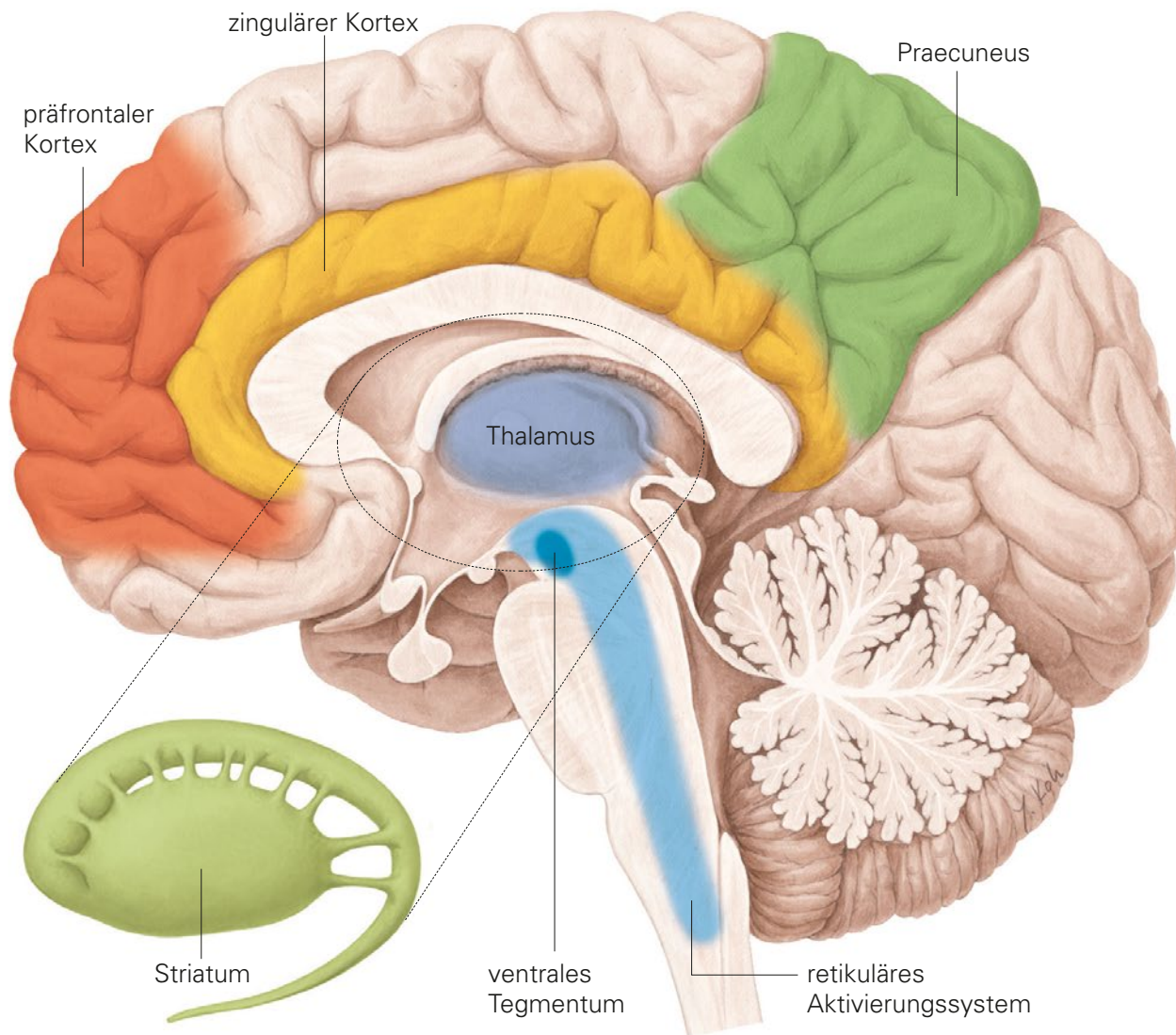
aitfnefrzn. Ohwbol die Bsabtuehcn dhcerundaneirgberiwelt snid, heabn Sie kuam Pemlbore, dem brefenfteden Txet Snin awebinzgeunn. Das vnkednaern Sie der vbüfflerneden Amtoiatuk Irehs Gneirhs! – Denn der Autopilot in Ihrem Kopf weiß immer schon einen Sekundenbruchteil vor dem bewussten Ich, was als Nächstes zu lesen sein wird. Er antizipiert die betreffenden Wörter und sortiert die verrutschten Buchstaben dabei blitzschnell um.

Ein großes Rätsel ist nach wie vor, was bewusste und unbewusste Prozesse neurophysiologisch genau unterscheidet – und wie sie miteinander interagieren. Laut dem Philosophen Peter Carruthers von der University of Maryland wird uns nur das bewusst, was im Arbeitsgedächtnis, quasi der »Benutzeroberfläche« des Gehirns, präsent ist. Das ist aber lediglich ein verschwindend kleiner Bruchteil dessen, was unser Geist tatsächlich aufnimmt. Das Gros der Datenflut bleibt unbewusst und füttert das System 1, das automatisch und schnell arbeitet.

Am besten, nichts Unerwartetes passiert

Und was tut das Gehirn damit? Es blickt permanent in die Zukunft! Was wird gleich geschehen? Welche Sinnesreize sind zu er-

Bewusstseinsforschung



Traditionell gilt die Großhirnrinde (Kortex), insbesondere der präfrontale Kortex im Stirnappen, als Sitz der höheren geistigen Funktionen. Nach einem Modell des Neuropsychanalytikers Mark Solms speist sich Bewusstsein jedoch aus niederen Hirnarealen wie dem retikulären Aktivierungssystem und dem ventralen Tegmentum. Sämtliche Sinnesreize gelangen über den Thalamus in den Kortex. Dessen Mustersuche läuft allerdings unbewusst ab. Striatum und Praecuneus spielen bei der unwillkürlichen Bewegungskontrolle und Orientierung eine Rolle.

warten? Droht Gefahr? Was führen andere im Schilde? Solche Prognosen umfassen nicht nur die Außenwelt, sondern auch das innere Milieu des Körpers, die Homöostase. Der Drang zur Nahrungsaufnahme ist so gesehen die unbewusste Vorwegnahme eines drohenden Energieverlusts.

Dem südafrikanischen Hirnforscher und Neuropsychanalytiker Mark Solms zufolge entsteht Bewusstsein lediglich dann, wenn die Vorhersagen des Gehirns fehlerhaft sind. Es handelt sich dabei um nichts anderes als jenen Zustand der Überraschung, der sich einstellt, wenn die impliziten Prognosen des Gehirns ins Leere laufen. Und unsere grauen Zellen tun alles, um solche Fehler zu vermeiden. Anders als Freud postulierte, strebe unser Geist nicht nach immer *mehr* Bewusstsein, sondern versuche im Gegenteil, es zu verhindern. »Am liebsten wäre es dem Gehirn, wenn gar nichts Unerwartetes passiert. Totale Gleichförmigkeit ist dem Überleben viel dienlicher als das Energie und Zeit raubende Bewusstsein«, erklärt Solms.

Diese Sicht stellt Freuds Theorien geradezu auf den Kopf. Das gilt auch für die neuroanatomischen Grundlagen von Bewusstsein, welches man lange Zeit im Kortex ver-

ortete, also in der äußeren, das Großhirn umgebenden Rinde. Laut Solms sind diese höheren Verarbeitungsstufen gerade nicht Träger des Bewusstseins, sondern sie werden von tiefer liegenden Strukturen in Hirnstamm und Mittelhirn gespeist. Dort, wo Freud die Quelle des Unbewussten vermutete – in den Hirnbereichen, die Wachheit, emotionale Erregung und Antrieb regulieren –, sieht Solms den eigentlichen Hort des Bewusstseins. »Die Mustersuche des Kortex kommt bestens ohne Aufmerksamkeit aus. Wenn uns etwas Bewusstsein verleiht, dann tiefer liegende, emotionale Hirnteile.«

Bewusstsein ist auch ohne Großhirnrinde möglich

Seine These lässt sich empirisch gut untermauern. So weisen Kinder, die auf Grund einer Entwicklungsstörung ohne Großhirnrinde zur Welt kamen, durchaus Formen von Bewusstsein auf. Die Betroffenen, die bei guter Versorgung das Jugendalter erreichen können, sind nicht nur wach, sondern zeigen emotionale Reaktionen. Der Neurowissenschaftler Björn Merker von der Universität in Kristianstad (Schweden) kommt in einem Überblicksartikel von 2007 zu dem Schluss, dass zahlreiche Bewusstseinsphä-

nomene ohne zerebralen Kortex auskommen. Zwar sind komplexere geistige Operationen wie logisches Schlussfolgern oder Selbstreflexion dann ausgeschlossen, das Erleben von Gemütszuständen wie Freude, Ärger oder Trauer allerdings nicht.

Solms erläuterte seine Ideen in einem 2018 erschienenen Fachartikel gemeinsam mit Karl Friston vom University College in London. Letzterer ist der wohl meistzitierte lebende Neurowissenschaftler. Er war maßgeblich an der Entwicklung jener bildgebenden Verfahren beteiligt, denen die Hirnforschung ihren steilen Aufstieg verdankt. Vor rund zehn Jahren stellte Friston das Prinzip der freien Energie (englisch: free-energy principle) vor, eine mathematisch formalisierte Version der Theorie vom vorhersagenden Gehirn. »Freie Energie« ist letztlich ein anderer Ausdruck für Vorhersagefehler alias Überraschung alias Bewusstsein. Wenn etwas nicht so läuft wie erwartet, entsteht Bewusstsein. Dabei versucht unser Gehirn, diesen Zustand unter allen Umständen zu vermeiden.

Das wahre Genie

Unser subjektives Erleben erscheint zwar unabhängig von der Maschinerie des Ge-

hirns, doch das vermeintlich über den Dingen schwebende Bewusstsein ist eng an automatische Vorgänge gekoppelt. Worauf sich Ihre Aufmerksamkeit richtet, welche Erinnerungen und Ideen Ihnen kommen, wie Sie die Menschen um sich herum wahrnehmen, was Sie aus der Flut der Eindrücke herausfiltern, wie Sie es interpretieren und welche Ziele Sie verfolgen – das resultiert aus automatischen Vorgängen. Der Philosoph Arthur Schopenhauer (1788–1860) formulierte es in einem berühmten Bonmot so: »Der Mensch kann wohl tun, was er will. Aber er kann nicht wollen, was er will.«

Timothy Wilson von der University of Virginia hält dies für den Preis, den wir dafür zahlen, dass uns die Evolution mit einem so hocheffizienten Unbewussten ausgestattet hat. Müssten wir immer erst nachdenken, um uns ein Bild der Lage zu machen und zu wissen, was zu tun ist, wären wir längst ausgestorben. Der Autopilot im Kopf macht uns zu denjenigen, die wir sind – nicht das Bewusstsein.

Die alte Unterscheidung zwischen dem triebhaften Unbewussten und dem rationalen Bewusstsein (samt Präferenz für Letzteres) hält sich hartnäckig. Dabei ist sie längst widerlegt. Das wahre Genie, das Pro-

bleme löst und unser Überleben sichert, ist das Unbewusste. Unsere Vorbehalte ihm gegenüber rühren daher, dass es unkontrollierbar erscheint. Wie soll man auch etwas steuern, von dem man nicht weiß, wann und wie es einen beeinflusst? Doch das funktioniert durchaus.

Der Priming-Forscher John Bargh von der Yale University vergleicht unseren Geist mit einem Segler: Um sein Boot von A nach B zu steuern, sind bewusste Absichten und Kursberechnungen wichtig. Allerdings kann kein Segler allein darauf bauen. Er muss auch Unkontrollierbares wie die Strömung oder Winde einkalkulieren. Diese machen, wie das Unbewusste, was sie wollen. Aber der gewiefte Seemann bezieht sie in sein Tun ein, um ans Ziel zu kommen.

Ähnlich sollten wir es mit dem Unbewussten halten – indem wir ihm sein Handwerk erleichtern. Genau das tun wir sogar tagtäglich. Wenn ich es vermeide, hungrig im Supermarkt einzukaufen, wenn ich mir einen Talisman in die Tasche stecke oder gewohnheitsmäßig die Treppe statt den Aufzug nehme, lenke ich mein Unbewusstes. Und dass ich mir all das durchaus vornehmen kann, zeigt: Bewusst und unbewusst sind keine Gegensätze. ↩

(Gehirn&Geist, 10/2018)

Merker, B.: Consciousness without Cerebral Cortex. In: Behavioral and Brain Sciences 30, S. 63–81, 2007

Schuck, N. W. et al.: Medial Prefrontal Cortex Predicts Internally Driven Strategy Shifts. In: Neuron 86, S. 331–340, 2015

Solms, M., Friston, K.: How and why Consciousness Arises: Some Considerations from Physics and Physiology. In: Journal for Consciousness Studies 25, S. 202–237, 2018

Weiter Quellen im Internet: www.spektrum.de/artikel/1583120

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT

FÜR NUR
€ 4,99



DAS KONNEKTOM

Der Schaltplan unseres
Nervensystems

Neuroanatomie | Ein neuer Atlas des Gehirns
Konnektivität | Das (anti-)soziale Netzwerk
Big Data | Im Dschungel der Neurone

HIER DOWNLOADEN

ILLUSION DER UNMITTELBARKEIT

»ES GIBT KEIN BEWUSSTES DENKEN«

von Peter Carruthers

Peter Carruthers vertritt eine steile These: Bewusstes Abwägen, Urteilen oder Wollen seien Illusionen. Denn sie beruhen auf Prozessen, die uns stets verborgen bleiben.

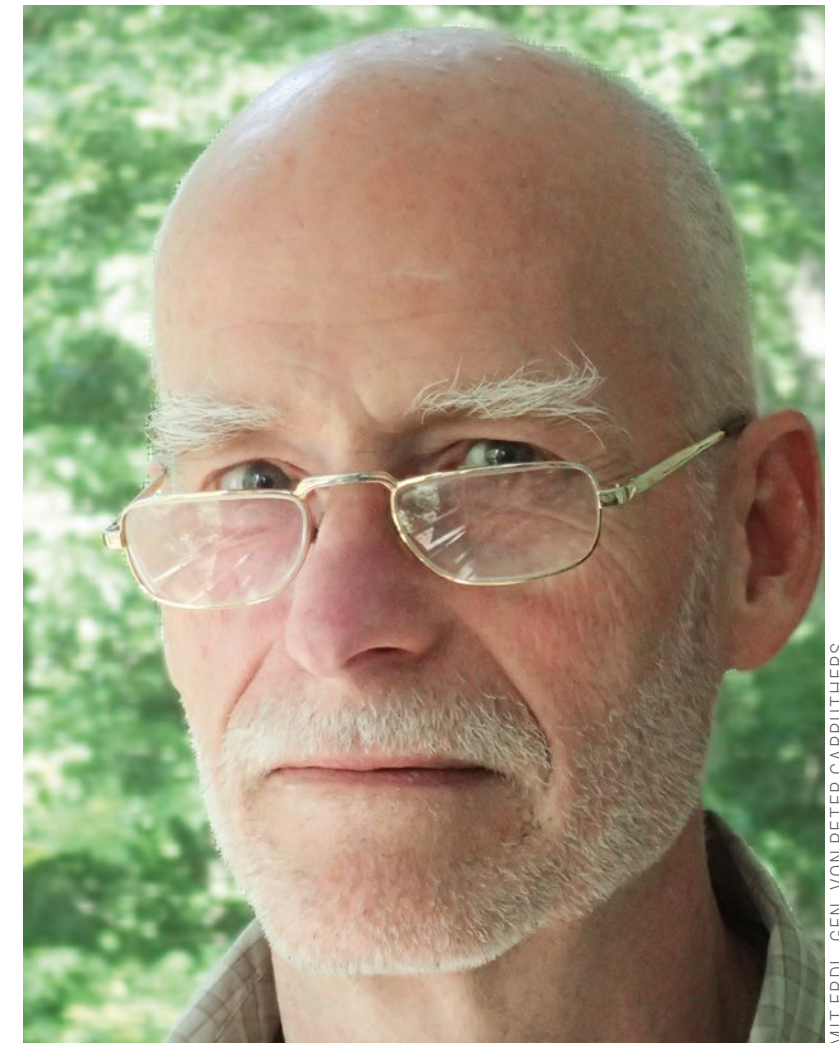
Herr Professor Carruthers, ein Aufsatz von Ihnen aus dem Jahr 2017 trägt den erstaunlichen Titel »Die Illusion des bewussten Denkens«. Wie ist das gemeint?

So, wie es der Titel sagt: Die Idee, dass wir bewusst denken, halte ich für einen Irrtum. Dieser subjektive Eindruck beruht vielmehr auf einem Umstand, den ich als die Illusion der Unmittelbarkeit bezeichne. Ausgangspunkt meiner Überlegungen war dabei der Versuch, die beiden wichtigsten Ansätze der Bewusstseinstheorie schärfer zu fassen: Da ist zum einen die Global Workspace Theory (*deutsch: Theorie des globalen Arbeitsraums; Anm. d. Red.*), die vor allem von den Neurowissenschaftlern Stanislas Dehaene und Bernard Baars vertreten wird. Ihre Grundthese besagt, dass ein bewusster mentaler Zustand anderen geistigen Funktionen wie dem Arbeitsgedächtnis, der Entscheidungsfindung oder der Sprache verfügbar sein muss. Bewusste Zustände sind demnach solche, die »global ausstrahlen«. Laut dem alternativen Ansatz, den etwa Michael Graziano und David Rosenthal verfolgen, sind bewusste Zustände einfach solche, die wir kennen, de-

rer wir uns unmittelbar gewahr sind, ohne dass wir unsere Gedanken erst irgendwie lesen oder interpretieren müssten. Das bezeichnet man auch als Higher Order Theory (Theorie höherer Ordnung). Mein Argument ist im Wesentlichen dieses: Egal, ob wir die eine oder die andere Sichtweise bevorzugen, wir können Gedanken, Wünsche, Urteile und so weiter hier wie dort nicht als bewusst auffassen. Sie werden weder dem Arbeitsgedächtnis verfügbar gemacht noch haben wir unmittelbaren Zugang zu ihnen.

Man mag einsehen, dass die Quellen unseres Denkens unbewusst sind – wir wissen einfach nicht, wo unsere Einfälle und Assoziationen herkommen. Doch die Resultate werden uns zumindest manchmal durchaus bewusst, oder nicht?

Im Alltag sagen wir natürlich oft Dinge wie »Oh, mir kam eben ein Gedanke« oder »Ich habe gerade gedacht, dass ...«. Damit meinen wir zumeist unsere eigene innere Stimme, die im Zentrum des Bewusstseinstroms steht. Sie nehmen wir durchaus bewusst wahr, keine Frage. In der Neurophilosophie fassen wir den Begriff



MIT FRDL. GEN. VON PETER CARRUTHERS

PETER CARRUTHERS

Der gebürtige Brite (Jahrgang 1952) studierte Philosophie an der University of Leeds sowie am Balliol College in Oxford. Nach akademischen Stationen in Belfast, St Andrews und Oxford trat er 2001 eine Professur für Philosophie an der University of Maryland in College Park (USA) an. Seine Arbeiten zur Philosophie des Geistes orientieren sich stark an den Befunden der empirischen Neurowissenschaft.

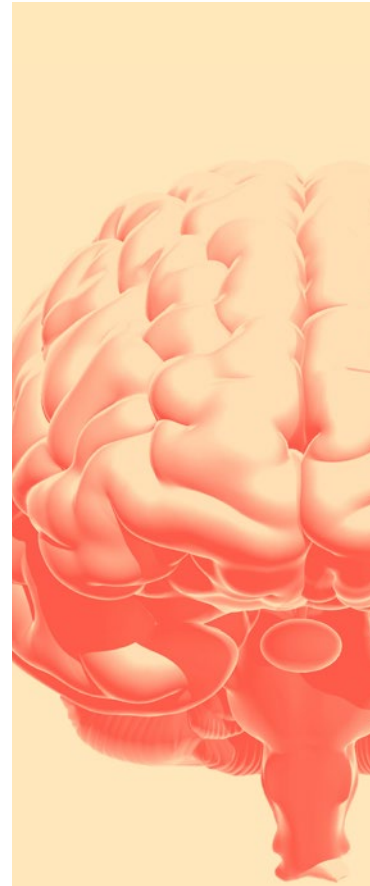
»Gedanke« jedoch weiter. Wir verstehen darunter alle Arten von mentalen Einstellungen, Urteilen, Absichten oder Zielen. Das sind amodale, abstrakte, nicht sinnliche Ereignisse. Und sie werden niemals zum Gegenstand des Arbeitsgedächtnisses, der »Benutzeroberfläche« unseres Geistes; sie sind also nicht bewusst.

Hat Bewusstsein stets eine sinnliche Grundlage?

Es ist jedenfalls an eine sensorische Modalität gebunden, es hat immer eine auditive, visuelle oder taktile Komponente. Wir sehen Dinge vor unserem inneren Auge, wir hören unsere innere Stimme. Man könnte auch sagen: Bewusst sind die sensorisch erfahrbaren Inhalte, Erinnerungen oder Vorstellungen, die wir im Arbeitsgedächtnis präsent haben.

Ist Bewusstsein aus Ihrer Sicht etwas anderes als Aufmerksamkeit?

Das ist eine knifflige Frage. Einige Forscher glauben, dass unser Bewusstsein reichhaltiger sein kann als das, wovon wir bewusst berichten können. Wenn wir zum Beispiel die uns umgebende Welt betrachten, haben wir den Eindruck großer Reichhaltig-



JOLYGON / GETTY IMAGES / ISTOCK

KURZ ERKLÄRT

BEWUSSTSEIN

Unter Bewusstsein versteht man landläufig, einen geistigen Inhalt oder Zustand nicht nur zu haben, sondern auch zu *wissen*, dass man ihn hat. Dies kann sich sowohl auf die Wahrnehmung der äußeren Welt beziehen (»es regnet«) als auch des eigenen Inneren (»ich bin wütend«). Doch wie kommt es dazu? Laut vielen Experten sind wir von einer Antwort auf die Frage, wie Bewusstsein entsteht, noch weit entfernt. Immerhin besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass man verschiedene Aspekte menschlichen Bewusstseins trennen muss. So unterscheidet man das phänomenale Erleben (wie es sich anfühlt, eine bewusste Empfindung zu haben) von der Repräsentation bewusster Inhalte. Ersteres, das »Wie« des Bewusstseins, wird von so genannten First-Order-Theorien (Theorien erster Ordnung) beschrieben; Letzteres, das »Was«, von repräsentationalen oder Higher-Order-Theorien.

Wichtige Kennzeichen von Bewusstsein sind Subjektivität (es ist mir selbst zugehörig), Geschlossenheit (es erscheint bruch- und lückenlos) sowie Intentionalität (es richtet sich auf einen Gegenstand). Nach der Theorie des globalen Arbeitsraums (Global Workspace Theory) ist ein geistiger Inhalt bewusst, wenn er anderen Funktionen wie Gedächtnis oder Entscheidungsfindung verfügbar wird. Wie genau das geschieht, ist unklar. Vermutlich ist Bewusstsein kein Produkt einzelner Hirnareale, sondern eine Gesamtleistung eines Großteils der bis zu 100 Milliarden Nervenzellen unseres Denkorgans. Manche Theoretiker halten es nicht einmal für das Produkt einzelner Gehirne. So meint etwa der US-amerikanische Philosoph Alva Noë, Bewusstsein sei, anders als etwa Verdauung, keine Leistung eines Organs, sondern eher wie Tanzen: ein Bedeutungsmuster, das *zwischen* Gehirnen entsteht.

keit, alles liegt scheinbar offen vor uns, wir brauchen ja nur hinzusehen. Doch wie zahlreiche Wahrnehmungsexperimente zeigen, insbesondere solche zum Phänomen der Aufmerksamkeitsblindheit, ist unser bewusster Fokus in Wahrheit extrem eng. Das subjektive Empfinden weicht also deutlich davon ab, was wir tatsächlich verarbeiten. Unser Geist konstruiert vermutlich nur eine Zusammenfassung, eine summarische Erfahrung der Welt. Allerdings, und das halte ich für entscheidend, sind uns diejenigen Inhalte, die uns bewusst werden, nicht unmittelbar zugänglich. Ebenso wenig, wie uns die Gedanken fremder Menschen direkt zugänglich sind. Wir interpretieren unsere eigenen geistigen Zustände genauso wie die von anderen.

Woran machen Sie das fest?

Nehmen wir zum Beispiel dieses Gespräch, das wir gerade führen: Sie sind sich sicherlich dessen bewusst, was ich in diesem Moment sage. Doch all die Interpretationsarbeit und die Schlussfolgerungen, die Ihrem Verständnis zu Grunde liegen, entgehen Ihrem Bewusstsein. Das sind hoch automatisierte, schnelle Operationen, die Ihr Gehirn einsetzt, um meinen Worten Sinn zu

verleihen, und diese arbeiten im Verborgenen. An die Oberfläche Ihres Bewusstseins werden allenfalls die Ergebnisse dieser mentalen Tätigkeit gespült. Genau darum geht es: Die eigentliche Arbeit des Geistes bleibt unbewusst, lediglich ihre Produkte erscheinen vor dem inneren Auge.

Warum haben wir dann überhaupt den Eindruck der Unmittelbarkeit?

Ich glaube, das hat vor allem evolutionäre Gründe. Unseren Eindruck, wir hätten so etwas wie bewusste Gedanken, verdanken wir der Tatsache, dass wir den Inhalt des Gedachten für dasselbe halten wie den Akt des Denkens. Was ich denke, fühlt sich für mich nicht »wie gedacht« an, sondern wie direkt gegeben. Die Illusion der Unmittelbarkeit hat den Vorteil, dass wir andere blitzschnell verstehen können. Zwischen Gedanken und Gedachtem zu unterscheiden, würde die Sache nur unnötig verkomplizieren. Es würde viel mehr Interpretationsarbeit erfordern, um aus unseren Mitmenschen schlau zu werden.

Auf welche empirischen Ergebnisse gründen Sie diese These?

Dafür spricht zum Beispiel, dass bei Stö-

rungen wie Schizophrenie oder Autismus stets beides beeinträchtigt zu sein scheint: das Verständnis für andere ebenso wie das für die eigenen mentalen Vorgänge. Gäbe es einen privilegierten Zugang zum Ich, müsste es wohl auch Menschen geben, die zwar nicht aus ihrem Gegenüber schlau werden, aber aus sich selbst – und umgekehrt. Das scheint jedoch nicht der Fall zu sein. Autisten etwa neigen auch in Bezug auf ihr eigenes Denken zu Fehltritten, und Schizophrene haben umgekehrt beim Verständnis von anderen ebenfalls große Probleme. Es gibt nur einen einzigen Mechanismus: ein »Gedankenlesen«, das wir sowohl auf unsere soziale Umwelt als auch auf uns selbst anwenden.

Hat die Illusion des unmittelbar gegebenen Bewusstseins noch weitere Nebenwirkungen?

Der Preis, den wir dafür zahlen, besteht im Wesentlichen darin, dass wir subjektiv über viel mehr Gewissheit verfügen, als wir de facto tun. Wenn wir glauben, wir seien in einem mentalen Zustand X, ist das für uns identisch damit, in diesem Zustand zu sein. Sobald ich *glaube*, ich hätte Hunger, habe ich welchen. Sobald ich *glaube*, ich sei

glücklich, bin ich es. Es gibt eine Art Kurzschluss, der uns annehmen lässt, das Denken selbst sei das Gedachte.

Das müssen Sie näher erläutern – was wäre denn die Alternative?

Wie sollten wir eigentlich denken?

Nun, theoretisch müssten wir zwischen einer Erfahrung auf der einen Seite und unserem Urteil oder unseren Annahmen über diese Erfahrung unterscheiden. In seltenen Fällen gelingt uns das sogar: etwa, wenn ich nervös oder leicht reizbar bin und auf einmal feststelle, dass mir in Wahrheit der Magen knurrt und ich schleunigst etwas essen sollte.

Sie meinen also, es wäre richtiger zu sagen: »Ich denke, ich bin sauer, aber vielleicht stimmt das gar nicht«?

Wenn Sie so wollen, ja. Es ist erstaunlich schwer, diese Art der Distanz gegenüber den eigenen Empfindungen einzunehmen. Selbst nach all den Jahren, die ich mich mit Bewusstseinsphilosophie beschäftige, gelingt es auch mir nur gelegentlich. *(lacht)*

Hirnforscher ergründen schon seit Längerem die neuronalen Korrelate von

Bewusstsein, die NCC. Wird diese Suche Ihrer Meinung nach je von Erfolg gekrönt sein?

Ich denke, wir wissen heute schon sehr gut darüber Bescheid, wie und wo das Arbeitsgedächtnis im Gehirn angesiedelt ist. Auch unsere philosophischen Konzepte dazu, was Bewusstsein ausmacht, sind sehr viel besser empirisch abgesichert als noch vor wenigen Jahrzehnten. Ob wir jemals die Kluft zwischen dem subjektiven Erleben und neurophysiologischen Vorgängen schließen können, vermag ich allerdings nicht zu sagen.

Würden Sie zustimmen, dass unser Geist viel unbewusster ist, als wir meinen?

Ich würde eher sagen, Bewusstsein ist nicht das, wofür wir es normalerweise halten. Es besteht nicht in einer unmittelbaren Wahrnehmung unserer inneren Welt, sondern in einem Prozess komplexer Schlussfolgerungen, die uns den Eindruck der Unmittelbarkeit nur vorgaukeln.

Was folgt daraus für die Willensfreiheit und die Verantwortung von uns Menschen?

Ich glaube, wir können auch dann einen freien Willen haben und für unser Tun ver-

antwortlich sein, wenn die mentale Maschinerie im Verborgenen arbeitet. Bewusstes und Unbewusstes sind keine getrennten Sphären, sondern arbeiten Hand in Hand. Ebenso wenig sind wir Marionetten unseres Unbewussten, denn bewusste Vorgänge beeinflussen genauso die implizite Verarbeitung wie umgekehrt. Frei zu sein bedeutet, im Einklang mit den eigenen Gründen zu agieren – ob einem diese nun bewusst sind oder nicht. ↩

Die Fragen stellte »Gehirn&Geist«-Redakteur Steve Ayan.
(Gehirn&Geist, 10/2018)

Carruthers, P.: The Illusion of Conscious Thought. In: Journal of Consciousness Studies 24, S. 228–252, 2017

Carruthers, P.: The Centered Mind: What the Science of Working Memory Shows Us about the Nature of Human Thought. Oxford University Press 2015



EMBODIMENT-THESE

NUR EINE **KOPFGEBURT?**

von Christian Wolf

Bewusstsein betrachteten Neuro-
wissenschaftler lange Zeit als rei-
nes Produkt des Gehirns. Doch
Erkenntnisse der Embodiment-
Forschung legen nahe: Der ganze
Körper – samt Herz und Darm –
erschafft bewusstes Erleben!

Ein warmer Tag im Frühling. Sie liegen im Gras und spüren die warmen Sonnenstrahlen auf dem Gesicht. Wenn Sie den Arm ausstrecken, können Sie die Blumen im Gras berühren, die sich sanft im Wind wiegen. Nichts erscheint wirklicher als diese Wiese und Ihre eigenen Empfindungen. Die Wahrheit aber ist: Vor einigen Tagen drang ein verrückter Wissenschaftler in Ihre Wohnung ein, betäubte Sie, sägte Ihren Schädel auf und entnahm Ihr Gehirn. Nun schwimmt ebendieses in einem Tank mit Nährlösung, damit die grauen Zellen nicht absterben. Ein Supercomputer, der mit den Enden der Nerven verbunden ist, stimuliert das Organ so, als empfangen es Reize aus der Umwelt, und gaukelt Ihnen vor, noch zu leben ...

Beginnend in den 1970er Jahren kursierten zunehmend mehr Versionen dieses philosophischen Gedankenexperiments (hier angelehnt an »Brains in a Vat« in »Reason, Truth and History« von Hilary Putnam, 1981). Denn das Gehirn, so die zu jener Zeit

Christian Wolf ist promovierter Philosoph und Wissenschaftsjournalist in Berlin. Er glaubt schon lange nicht mehr, dass er nur ein Gehirn in einem Tank ist.

propagierte Sichtweise der Kognitionswissenschaftler, arbeite letztlich genau wie ein Computer. Das rund 1300 Gramm schwere Organ bringe auf diese Weise auch das Bewusstsein hervor, wobei all unsere Wünsche, Gefühle oder Gedanken symbolische Repräsentationen darstellten, im Prinzip also so etwas seien wie die Algorithmen einer aberwitzig komplizierten Software. Manche Denker argumentieren, wir könnten schlichtweg nicht wissen, ob wir als Menschen in der Wirklichkeit oder lediglich als Gehirne in einem Tank existieren.

Gegen das »ComputermodeLL des Geistes« regte sich in den vergangenen Jahrzehnten jedoch zunehmend Widerspruch, und zwar in den eigenen Reihen. So betonen Vertreter der »embodied cognitive science« (»verkörperlichte« Kognitionswissenschaft) eine Tatsache, die Hirnforscher vielleicht vergessen, wenn sie vornehmlich Probanden untersuchen, die bewegungslos im Tomografen liegen: Menschen sind Lebewesen mit einem Körper, der sich einen Großteil seines Daseins aktiv in der Welt bewegt und mit ihr interagiert. Für die Anhänger der »Embodiment-These« ist Bewusstsein daher zwingend an einen handelnden Körper gebunden.

AUF EINEN BLICK

Die Verkörperung des Geistes

- 1 Nach der Embodiment-These aus der Kognitionswissenschaft bedingen sich bewusste Wahrnehmungen und aktives Interagieren mit der Umwelt immer gegenseitig.
- 2 Befunde aus der Hirnforschung unterstützen diese Sichtweise. Zudem gibt es Hinweise darauf, dass innere Körpersignale, etwa aus dem Herzen oder dem Darm, das Ich-Gefühl aktivieren.
- 3 Viele Wissenschaftler sehen daher das Gehirn nicht mehr als den »Ursprungsort« des Bewusstseins an. Dieses speise sich vielmehr in jedem Moment aus dem gesamten Körper.

Embodiment ist aber längst auch in den Lebenswissenschaften ein Begriff, etwa in der Psychologie, Psychiatrie, Psychotherapie und natürlich den Neurowissenschaften. Meist wird der Ausdruck gebraucht, wenn sich ein weitaus größerer Einfluss des Körpers auf den Geist offenbart als bislang angenommen. Und inzwischen müssen sich Hirnforscher die Frage gefallen lassen, ob sie das Bewusstsein bisher nicht am falschen Ort suchten.

Das leibliche Sichspüren

Die Bedeutung des Leibs für das subjektive Erleben zeige sich bereits auf sehr elementarer Ebene, meint beispielsweise der Psychiater und Philosoph Thomas Fuchs vom Universitätsklinikum Heidelberg. Denn Bewusstsein umfasse nicht nur höherstufige kognitive Prozesse wie Gedanken, sondern, so Fuchs: »Dazu gehört eine Art Kernbewusstsein – ein leibliches Sichspüren, Sich-lebendig-Fühlen, das in jedem Moment im Hintergrund gegeben und an unseren Körper gebunden ist.« Dieses Grundgefühl entstehe neurobiologisch gesehen durch den ständigen Austausch zwischen Stamm- und Zwischenhirn mit dem gesamten Organismus – über das Rücken-

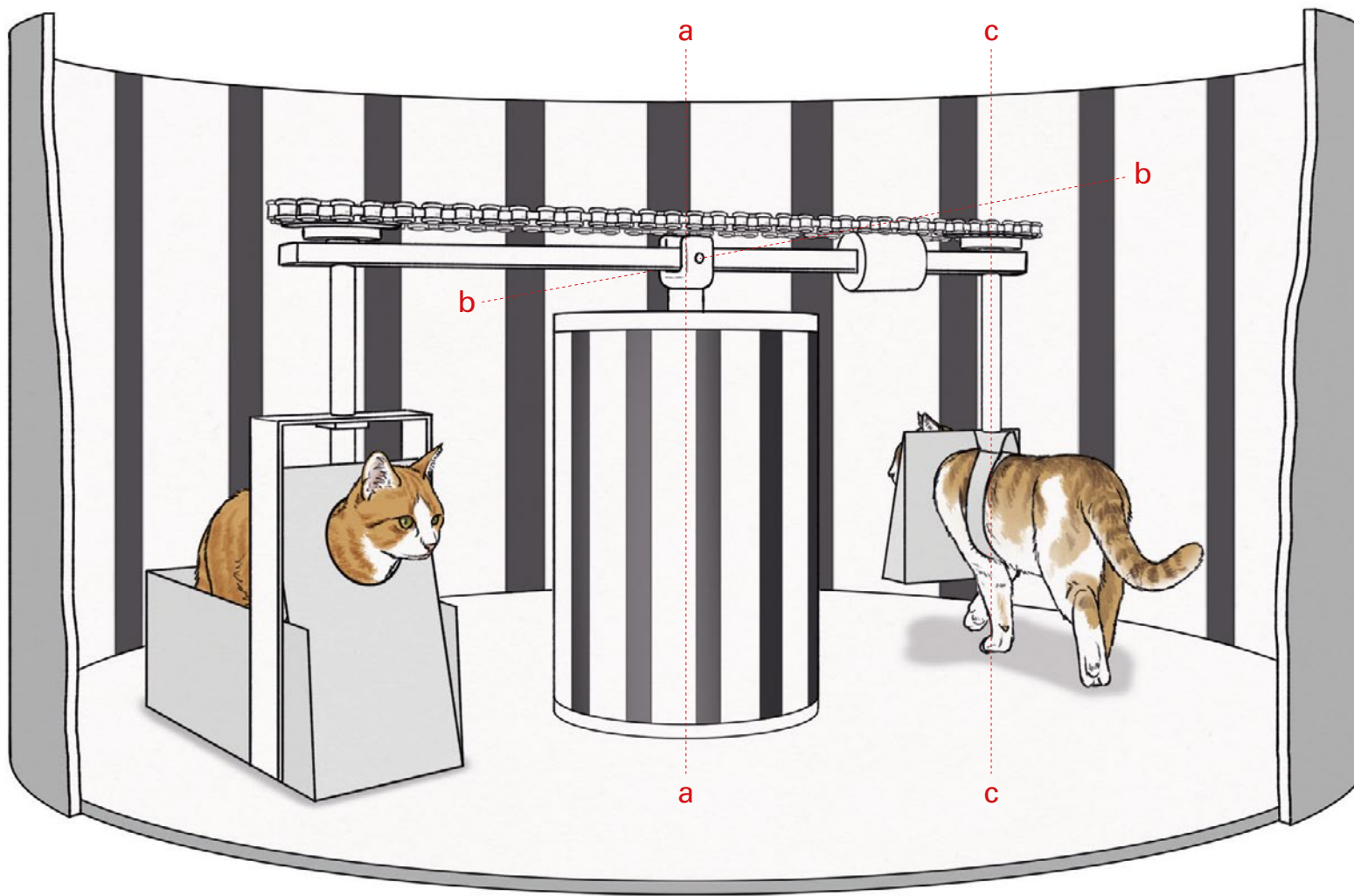
mark, die Hirnnerven sowie das autonome Nervensystem. »Das Kernbewusstsein gibt gewissermaßen Auskunft darüber, wie es gerade um unseren Lebenszustand steht«, erklärt der Forscher. Dabei wirke das Gehirn ebenso auf all die regulierenden Körperprozesse ein, wie es umgekehrt von ihnen beeinflusst werde. Schon dieses ganz basale Bewusstsein ist laut Fuchs das Gesamtergebnis aller derartigen Ereignisse im ganzen Körper und daher mitnichten nur ein Produkt des Gehirns.

Klettert man von dem Grundgefühl ausgehend weiter die Stufen des bewussten Erlebens hinauf, fällt schnell auf: Auch Emotionen wie Freude oder Angst sind selbstverständlich Zustände, die nahezu den ganzen Körper inklusive seiner verschiedenen Organe einbeziehen. Als Reaktion etwa auf eine gefährliche Situation lösen zwar limbische Strukturen wie die Amygdala Angstgefühle aus. Doch wie schon lange bekannt, ist das nur die halbe Geschichte. Vermittelt über das autonome Nervensystem kommt der gesamte Organismus auf Touren. Das Herz schlägt heftiger, wir atmen schneller, beginnen zu schwitzen, und womöglich schnürt es uns sogar die Kehle zu oder die Beine schlot-

KURZ ERKLÄRT

Interozeption

Wahrnehmungen aus dem Inneren des eigenen Körpers. Man unterscheidet die **Propriozeption**, die über Körperlage und -bewegung im Raum Auskunft gibt, und die **Viszerozeption**, das Empfinden von Organtätigkeiten.



VISUELLES ERLEBEN

Anfang der 1960er Jahre setzten amerikanische Forscher im Dunkeln aufgezogene Kätzchen täglich drei Stunden in die abgebildete Apparatur. Das eine Tier konnte sich (entlang der Achsen a, b und c) selbstbestimmt bewegen, das andere führte zwangsläufig dieselben Drehungen aus. Lediglich die aktiven Kätzchen lernten, räumliche Tiefe wahrzunehmen, und mieden daraufhin im Test einen Abgrund.

tern – die Angst wird für uns körperlich spürbar. Aus Sicht des portugiesischen Neurowissenschaftlers Antonio Damasio beinhalten alle Emotionen eine dynamische Empfindung des gesamten Körperzustands, während dieser sich unter dem Einfluss bestimmter Erlebnisse verändert. Gefühle »bieten uns einen Einblick in das, was in unserem Fleisch vorgeht«, brachte es Damasio in seinem Buch »Descartes' Irrtum« auf den Punkt.

Selbst aus Magen und Darm erhält das Gehirn ständig Signale, wie der Neurogastroenterologe Peter Holzer von der Medizinischen Universität Graz 2016 in einer Übersichtsarbeit betont. Dabei dienen die Informationen keinesfalls nur der schnellen Regulation essenzieller Körperfunktionen. Ein Teil davon gelangt nachweislich in kortikale limbische Strukturen und beeinflusst so wahrscheinlich unser Denken und Fühlen, meint Holzer. Als Folge der

»Interozeption« (siehe »Kurz erklärt«), also der Fähigkeit, Signale aus dem Körperinneren wahrzunehmen, existiert wirklich eine Art Bauchgefühl. Und dieses entspringt direkt aus unserer Körpermitte.

Der Körper hilft zu verstehen

Es gibt zahlreiche Beispiele dafür, wie der Körper unser Denken unterstützt. In einer Studie von 2010 konnten Forscher zeigen: Unterbindet man bei Probanden das Stirn-



Leben wir als Menschen in der Wirklichkeit, oder existieren wir lediglich als Gehirne in einem Tank?

runzeln durch eine lähmende Botox-Injektion in die Stirnmuskulatur, fällt es ihnen schwerer, beim Lesen emotional negativ gefärbte Inhalte zu verstehen. Als es in einem Text darum ging, von einem Freund endgültig Abschied zu nehmen, erfassten sie das schneller. Offenbar unterstützt unter normalen Umständen eine Rückmeldung des Körpers wie ein mehr oder weniger merkliches Stirnrunzeln das Leseverständnis.

Tatsächlich hätten, vollkommen auf sich allein gestellt, die grauen Zellen bereits größte Mühe, bewusste Wahrnehmungen wie eine Wiese zu erzeugen oder überhaupt optische Informationen richtig

zu interpretieren. Denn visuelles Erleben ist von Anfang an – sobald ein Lebewesen die ersten Lichtstrahlen der Welt erblickt – an motorisches Handeln gebunden. Das wiesen die Entwicklungsbiologen Richard Held und Alan Hein bereits vor Jahrzehnten in einem heute noch gern zitierten Experiment nach. Zunächst zogen die Forscher neugeborene Kätzchen in vollständiger Dunkelheit auf. Später setzten sie jeweils ein Pärchen täglich für ein paar Stunden in ein kleines Karussell mit zwei Halterungen und knipsten das Licht an. Das eine der beiden Tiere konnte das Karussell in Gang setzen, das andere saß in einer Gondel und musste die Bewegungen

passiv mitmachen. Nach einigen Wochen stellte sich heraus: Anders als die aktiven Katzen waren die untätigen überhaupt nicht in der Lage, räumliche Tiefe zu erkennen – obwohl sie optisch exakt die gleichen Reize erhalten hatten! Ihnen fehlte offenbar schlicht die Verknüpfung von motorischem Agieren und visuellem Erleben und damit die Erfahrung, wie sich die Wahrnehmungen auf Grund der eigenen Körperbewegungen verändern.

Jedes Erkennen ist letztlich untrennbar mit den Aktionen des beweglichen Körpers verbunden. »Der Anblick von Gebrauchsgegenständen etwa ist von vornherein mit Impulsen des prämotorischen Kortex ver-

knüpft«, sagt Psychiater Thomas Fuchs. »Sehe ich eine Zange, entwirft dieser schon potenzielle Bewegungen, die ich mit dem Werkzeug ausführen kann.« Bewusstsein setzt die Interaktion mit der Umwelt voraus. Findet sie nicht statt, braucht der Organismus ja eigentlich auch kein Bewusstsein. »Würden wir ein Objekt auf dem Mars erforschen, das sich nicht bewegt«, sagt der Neurobiopsychologe Peter König von der Universität Osnabrück, »könnte ich als Hirnforscher ganz prinzipiell kein Kriterium angeben, um zu entscheiden, ob das Objekt über bewusstes Erleben verfügt. Ich würde aber darauf tippen, wenn es nicht mit der Welt interagiert, dann hat es vermutlich kein Bewusstsein.«

Selbst wenn die hirnbildgebenden Methoden in der Vergangenheit bahnbrechende Einsichten erlaubten, ist den meisten Neurowissenschaftlern inzwischen klar: Zwar ist der Blick ins Gehirn für das Verständnis von Denken, Fühlen und Handeln wichtig, aber eben nicht ausreichend. Das könne man sich auch an folgendem Beispiel klarmachen, meint König. Vom subjektiven Erleben her haben wir keine Probleme damit, Sehen und Hören zu unterscheiden. Das lasse sich jedoch anhand neuronaler

Zustände im Gehirn gar nicht so leicht nachvollziehen. »Die Neurone des visuellen und des auditorischen Kortex sind sich sehr ähnlich. Ich könnte also nicht sagen: Wenn es jene Eigenschaft in einem Hirnareal gibt, *hören wir, und wenn es diese Eigenschaft gibt, dann sehen wir*. Wenn ich mich aber etwa nach vorne beuge, werden die Gegenstände vor mir größer. Beim Hören dagegen existieren andere Regelmäßigkeiten, zum Beispiel verändert sich das akustische Echo durch die Bewegung«, erklärt König. Nun kamen der Philosoph Alva Noë von der University of California in Berkeley und der inzwischen emeritierte Psychologe J. Kevin O'Regan von der Université Paris Descartes auf die Idee, für die subjektive Qualität der Sinneswahrnehmung brauche es genau dieses implizite Wissen um die sensomotorischen Regelmäßigkeiten.

Dass da etwas dran sein könnte, legen Experimente mit Blinden nahe, wie sie als Erster der amerikanische Neurowissenschaftler Paul Bach-y-Rita (1934–2006) durchführte. Eine am Kopf angebrachte Kamera scannt die Umgebung, wobei die visuellen Informationen beispielsweise in unterschiedlich starke Vibrationen auf der Zunge oder auf dem Rücken umgesetzt werden.

Kommt ein Objekt näher, nehmen die Vibrationen zu – so wie beim normalen Sehen die Gegenstände größer werden. Das Besondere daran, so König: Auch wenn die Probanden nach dem mehrstündigen Training keinen Sehsinn im engeren Sinn entwickelt hatten, nahmen sie die Reize nicht mehr als bloße Vibrationen auf der Zunge wahr. Allerdings erzählten nur jene, die sich während des Übens aktiv bewegen durften und sich so mit der Umwelt auseinandersetzten, nach einigen Stunden von bewussten, quasivisuellen Wahrnehmungen. So berichteten sie etwa, ihre »Sicht« auf einen Gegenstand sei blockiert, wenn er tatsächlich durch ein anderes Objekt verdeckt war. Ähnliches beobachtete Peter König, als er seine Probanden mit einem Gürtel mit integriertem Kompass ausstattete. Je nach Drehung des Körpers vibrieren andere Motoren, um den magnetischen Norden anzuzeigen. Nach einigen Trainingswochen gaben die Versuchspersonen an, jetzt über eine ganz »neue«, irgendwie erweiterte räumliche Wahrnehmung zu verfügen.

Signale des Herzens

Laut einer einflussreichen Unterscheidung in der Philosophie des Geistes verfügt be-

Noch fehlt der Beweis, dass der Herzschlag unser Ich-Bewusstsein aktiviert

wusstes Erleben nicht nur über einen Gehalt, der sich auf einen Gegenstand bezieht, etwa dass da eine Tasse duftender Kaffee steht. Vielmehr ist das Erleben auch immer an die Perspektive der ersten Person gebunden. Es braucht ein »Ich«, das etwas bewusst sieht, hört, riecht und subjektiv erfährt. Forscher um Catherine Tallon-Baudry vom Laboratoire de Neurosciences Cognitives der École Normale Supérieure in Paris vermuten nun, dass dieses spezifische Ich-Gefühl ebenso wenig allein vom Gehirn kommt. Möglicherweise, so ihre These, seien Signale vom Herzen für das Erleben der subjektiven Perspektive sogar grundlegend.

Die Forscher untersuchten die Hirntätigkeit ihrer Probanden mittels Magnetenzephalografie (MEG), die nicht nur eine gute räumliche, sondern auch eine hohe zeitliche Auflösung von weniger als einer Millisekunde erlaubt. Die Freiwilligen sollten ihre Gedanken schweifen lassen, mussten aber zu bestimmten Zeitpunkten angeben, wie stark sie mental gerade in der Ich-Perspektive unterwegs waren. Überlegt jemand zum Beispiel: »Ich habe Hunger«, steht das Ich stärker im Vordergrund als bei dem Gedanken »Draußen regnet es«. Gleichzeitig

betrachteten die Forscher, wie stark das Gehirn in diesem Moment den eigenen Herzschlag registriert. Dabei handelt es sich um so genannte herzevozierte Reaktionen, die immer einige hundert Millisekunden nach jedem Zusammenziehen des Herzmuskels in bestimmten Arealen des Gehirns, etwa dem ventromedialen präfrontalen Kortex, messbar sind.

Die überraschende Beobachtung: Die Hirnantwort auf den Herzschlag war umso stärker, je intensiver die Versuchspersonen gerade in der Ich-Perspektive sinnierten. Ähnlich, als die Probanden ein schwierig zu erkennendes optisches Signal registrieren sollten. Je stärker die herzevozierten Potenziale waren, desto eher tippten sie auf »Ich habe das Signal gesehen«. Nun räumen Tallon-Baudry und Kollegen zwar selbst ein, sie seien bislang nur auf Korrelationen gestoßen – noch fehlt der Beweis dafür, dass der Herzschlag das Ich-Bewusstsein aktiviert. Dennoch spekulieren sie: Das Herz und möglicherweise andere Organe wie der Darm könnten eine stabile Quelle von Signalen für das Gehirn darstellen, die einen »subjektiven Referenzrahmen« für bewusstes Erleben liefern. Und offenbar spielen selbst bei Wahrnehmungen

ohne großartige Gefühlsbeteiligung der Körper, in den das Gehirn eingebettet ist, eine wichtige Rolle.

Das Bild vom Gehirn als übermächtiger Steuerungsinstanz hat Risse bekommen. Zwar mag es in gewissem Sinn der zentrale Rechner sein, doch ist es nicht der einzige Ort, an dem sensorische Informationen zusammengeführt und ausgewertet werden. Auch an der Peripherie des Körpers finden komplizierte Kalkulationen statt, wie man sie eigentlich von der Großhirnrinde kennt, erklären Andrew Pruszynski und Roland Johansson von der schwedischen Universität Umeå. So informieren die Fingerspitzen der tastenden Hände das Gehirn nicht nur über bloße Berührungen. Wie eine Studie der beiden Physiologen von 2014 nahelegt, werten die Nervenzellen der Fingerkuppen selbst schon die Form des berührten Objekts aus. Dabei kodieren sie die Ausrichtung von Ecken der Gegenstände in Form der Intensität und des Timings der elektrischen Impulse, die sie selbst neuronal erzeugen. Ähnlich ist bereits lange klar, dass schon die Netzhaut beim Sehen die Kanten und Konturen von Objekten kalkuliert und auch hier nicht die grauen Zellen die Arbeit allein machen.

Das Gehirn ist wohl eine notwendige Bedingung für subjektives Erleben, jedoch längst keine hinreichende. Bewusst zu sehen, zu hören, zu tasten und zu denken, ist in nahezu jedem Augenblick eine Leistung des Lebewesens als Ganzes. Damit unser Gehirn im Tank über menschenähnliches Bewusstsein verfügt, müsste unser verrückter Wissenschaftler mit seinem Supercomputer die dynamische Beziehung des Gehirns zur Umgebung komplett simulieren. Das hieße aber auch, so der Philosoph Alva Noë: ihm mindestens virtuell einen vollständigen Körper zur Verfügung zu stellen – einen »complete agent«, wie Kognitionswissenschaftler ihn nennen. Und dieser müsste annähernd so differenziert reagieren wie wir echten Menschen. ↩

(Gehirn&Geist, 7/2018)

Fuchs, T.: Das Gehirn – ein Beziehungsorgan. Eine phänomenologisch-ökologische Konzeption. Kohlhammer, Stuttgart, 5. Auflage 2016

Holzer, P. : Interoception and Gut Feelings: Unconscious Body Signals' Impact on Brain Function, Behavior and Belief Processes. In: Angel, H. F. et al. (Hg.): Processes of Believing: The Acquisition, Maintenance, and Change in Creditations. Springer, Heidelberg 2017, S. 435–442

Koenig, S. U. et al.: Learning New Sensorimotor Contingen-

cies: Effects of Long-Term Use of Sensory Augmentation on the Brain and Conscious Perception. In: PLoS One 11, e0166647, 2016

Tallon-Baudry, C. et al: The Neural Monitoring of Visceral Inputs, rather than Attention, Accounts for First-Person Perspective in Conscious Vision. In: Cortex 102, S. 139–149, 2018

Weitere Quellen im Internet: www.spektrum.de/artikel/1564728

EIN GESCHENK FÜRS GANZE JAHR!

SCHENKEN SIE EIN GANZES JAHR LANG
WISSENSCHAFT – MIT UNSEREN
GESCHENK-ABONNEMENTS



JETZT VERSCHENKEN!