

Dem Bewusstsein auf der Spur

Was passiert im Gehirn, wenn wir etwas bewusst wahrnehmen? Ist dies die Leistung spezialisierter Areale oder arbeiten dabei weit verteilte Neuronenverbände zusammen? Mit trickreichen Experimenten wollen Forscher dieses Rätsel aufklären.

VON CHRISTIAN WOLF

AUF EINEN BLICK

Lokal oder global?

1 Seit Jahrzehnten suchen Wissenschaftler nach den neuronalen Korrelaten des Bewusstseins.

2 Sie identifizierten verschiedene abgegrenzte Hirnareale, die bei bewusster Wahrnehmung beteiligt sind.

3 Einige Studien legen nahe, dass Bewusstsein eher auf dem synchronen Feuern weit verteilter Neuronenverbände basiert.

Nicht alle Informationen, die aus der Umgebung auf uns einprasseln, erreichen unser Bewusstsein. Viele Reize – vor allem sehr kurze – werden im Gehirn verarbeitet, ohne dass wir etwas davon merken.

In den letzten Jahrzehnten haben sich Wissenschaftler unterschiedlicher Couleur, vom Neuroforscher bis zum Philosophen, auf die Suche nach den »neuronalen Korrelaten des Bewusstseins« begeben. Damit sind jene Aktivitäten und Teilsysteme des Gehirns gemeint, die bewusstes Erleben erzeugen. Anfangs glaubten viele Wissenschaftler, ganz bestimmte, abgegrenzte Hirnareale seien für bewusste Wahrnehmung entscheidend. Nach neueren Studien könnte allerdings viel wichtiger sein, dass weit verstreute Neuronenverbände kurzzeitig im Gleichtakt feuern.

Um herauszufinden, wie subjektive Wahrnehmungserlebnisse entstehen, vergleichen Forscher, wie unsere grauen Zellen auf bewussten und auf unbewussten Input reagieren. Dabei bedienen sie sich häufig eines beliebten Verfahrens aus der Psychologie: der visuellen Maskierung. Lässt man eine Figur – sagen wir ein Quadrat – auf einem Bildschirm aufblitzen und ersetzt sie binnen weniger Millisekunden durch eine zweite, zum Beispiel einen Kreis, so bleibt der erste Reiz unbewusst. Auf diese Weise iden-

tifizierten Forscher einzelne Hirnregionen, die sich nur bei subjektiv erlebter Information regen: Hakwan Lau und Richard Passingham von der University of Oxford stellten 2006 fest, dass bei bewusster Wahrnehmung bestimmte Teile des präfrontalen Kortex feuern (siehe Kasten S. 62). In ihren Experimenten präsentierten sie 14 gesunden Probanden erst einen Zielreiz – ein Quadrat oder eine Raute – und sofort danach eine »Maske«: eine Figur, die sich mit dem Umriss des Zielreizes überlappte und ihn damit tarnte. Die Probanden sollten jeweils sagen, welche Figur sie zuvor gesehen hatten.

Dann variierten die Forscher den Zeitabstand zwischen beiden Stimuli. Ergebnis: Die Versuchspersonen konnten den Zielreiz, entweder ein Quadrat oder eine Raute, mit gleich hoher Wahrscheinlichkeit korrekt angeben, egal ob bis zum Auftauchen der Maske auf dem Bildschirm nur 33 Millisekunden vergingen oder 100 Millisekunden. Allerdings hatten sie bei größerem zeitlichem Abstand den Zielreiz häufiger bewusst erkannt. Das heißt, bei erfolgreicher Maskierung rieten sie einfach – meistens sogar richtig, denn ihr Gehirn hatte den Reiz unbewusst verarbeitet.

Während des Experiments registrierten die Forscher die Hirnaktivität der Versuchsteilnehmer per funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT). Es zeigte sich, dass vor allem der



JULIANOTUCOÑES / FOTOLIA

FENSTER ZUM GEIST

Wir nehmen nur einen kleinen Ausschnitt der Welt bewusst wahr – doch verarbeiten unsere grauen Zellen auch viele unbemerkte Reize.

dorsolaterale präfrontale Kortex (DLPFC) bei größerem Zeitabstand zwischen Zielreiz und Maske stärker feuerte. Die beiden Forscher schlossen daraus, dass die Aktivität des DLPFC eine wichtige Rolle bei der bewussten Wahrnehmung spielt. Allerdings könnte die erhöhte Aktivität des DLPFC auch lediglich eine höhere kognitive Leistung widerspiegeln, nämlich die Entscheidung, welcher Zielreiz vorlag – und nicht das bewusste Erleben des Reizes selbst.

Fokus auf das Sehsystem

Eine andere Studie legt nahe, dass sich die neuronale Grundlage von Bewusstsein bereits auf früheren Verarbeitungsstufen abzeichnet: 2005 nahm eine Forschergruppe um Peter Tse vom Dartmouth College in Hanover, US-Bundesstaat New Hampshire, den visuellen Kortex im Hinterhauptlappen genauer unter die Lupe. Die Wissenschaftler suchten nach jenen Gebieten im Gehirn, die bei bewusstem Sehen stärker feuerten als bei maskierten Objekten.

Für ihre Untersuchung scannten sie mittels fMRT die Gehirne von 17 Freiwilligen, während sie diesen einfache geometrische Figuren präsentierten, die mal mehr, mal weniger bewusst wahrnehmbar waren. Zwar fanden sie in fast allen visuellen Gebieten des Kortex neuronale Antworten auf den Zielreiz, aber nur im Hinterhaupt-

lappen traten solche auf, die mit der bewussten Wahrnehmung der Reize zusammenhingen.

Hirnareale, die ganz unten in der Hierarchie der Verarbeitung von visueller Information stehen – wie der primäre visuelle Kortex –, zählten nicht dazu, denn sie reagierten immer ähnlich, egal ob die präsentierten Objekte bewusst oder unbewusst wahrgenommen worden waren. Jedoch schienen Aktivitätsschübe in Arealen, die in der Hierarchie später folgen, wie das dritte und vierte visuelle Areal (V3 und V4), mit bewusstem Sehen einherzugehen (Kasten S. 62).

Die Forscher um Tse betonen, dass sich ihre Ergebnisse nur auf einfache Stimuli beziehen. Das bewusste Empfinden komplexerer Objekte wie Gesichter mag zusätzliche Hirnareale außerhalb des Hinterhauptlappens erfordern.

Doch sind bewusste Wahrnehmungen wirklich die Leistung spezieller Hirnregionen? Forscher um Lucia Melloni von der Johann Wolfgang-Goethe Universität in Frankfurt gingen 2007 einer anderen Hypothese nach: Sie glauben, bei unbewusster Wahrnehmung arbeiten nahe beieinanderliegende Hirnregionen zusammen, bei bewusster dagegen seien die beteiligten Areale über die ganze Großhirnrinde verstreut.

Zunächst wollten die Forscher sichergehen, dass die visuellen Reize, die sie in bewährter Manier maskierten, auch tatsächlich im Gehirn der

KURZ ERKLÄRT

Elektroenzephalografie (EEG)

Diese Methode misst mit Hilfe von Elektroden in Echtzeit die weiträumige Verteilung von Aktivität im Gehirn. Das elektrische Potenzial, das von der Kopfhaut abgeleitet wird, stellt Spannungsschwankungen unterschiedlicher Frequenz dar. Sie reichen von etwa einer bis annähernd 100 pro Sekunde (Hertz). Unterschiedliche Frequenzspektren wie Beta- oder Gammawellen begleiten verschiedene Wachheits- und Bewusstseinsgrade.

Sehen, ohne es zu wissen

Patienten mit so genannter Rindenblindheit haben auf Grund eines Hirnschadens die Fähigkeit zum bewussten Sehen verloren – sie haben das Gefühl, blind zu sein. Sollen sie jedoch angeben, wo sich ein Reiz befindet, liegen manche von ihnen häufiger richtig, als es zufälliges Raten erwarten ließe – Forscher sprechen von »Blindsehen«. Bei den Betroffenen ist zwar die primäre Sehrinde des Gehirns geschädigt. Da die Netzhaut der Augen aber normal funktioniert und andere Wege der Verarbeitung intakt sind, können visuelle Informationen dennoch registriert werden – allerdings bleiben sie unbewusst.

QUELLEN

Lau, H.C., Passingham, R.E.:

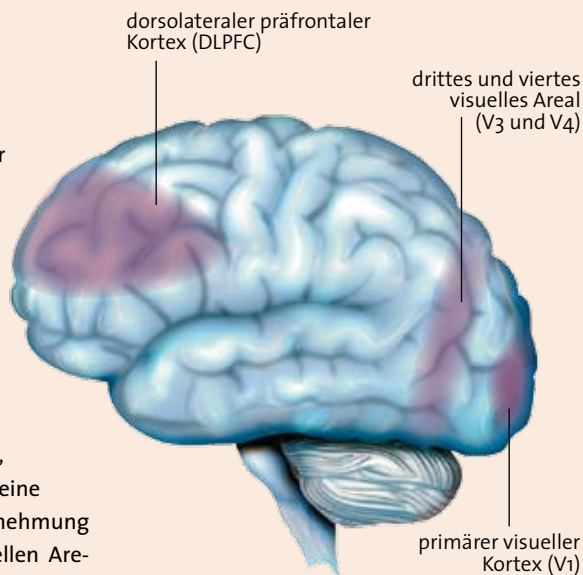
Relative Blindsight in Normal Observers and the Neural Correlate of Visual Consciousness. In: Proceedings of the National Academy of Sciences 103(49), S. 18763–18768, 2006.

Melloni, L. et al.: Synchronization of Neural Activity across Cortical Areas Correlates with Conscious Perception. In: Journal of Neuroscience 27(11), S. 2858–2865, 2007.

Tse, P.U. et al.: Visibility, Visual Awareness, and Visual Masking of Simple Unattended Targets are Confined to Areas in the Occipital Cortex Beyond Human V1/V2. In: Proceedings of the National Academy of Sciences 102(47), S. 17178–17183, 2005.

Orte bewusster Wahrnehmung

Der präfrontale Kortex liegt an der Stirnseite des Gehirns. Hier treffen bereits vorverarbeitete Sinnesinformationen aus anderen Hirnregionen, etwa der Sehrinde im Hinterkopf, ein und werden mit Gedächtnisinhalten und emotionalen Bewertungen verknüpft. Ein Unterabschnitt, der dorsolaterale präfrontale Kortex (DLPFC), könnte einer neueren Studie zufolge eine wichtige Rolle bei bewusster Wahrnehmung spielen. Auch Aktivität in den visuellen Arealen V3 und V4 kann bewusstes Sehen anzeigen, während der primäre visuelle Kortex (V1) gleichermaßen auch bei unbewusster Wahrnehmung feuert.



KOPFKINO

Visuelle Sinnesinformationen gelangen über Sehrindenareale (wie V1, V3 und V4) bis zum präfrontalen Kortex.

GEHIRN&GEST / SICANIM

Testpersonen ankamen. Daher sollten ihre 20 Probanden per Knopfdruck angeben, ob ein einblendetes Zielwort auf einen natürlichen Gegenstand (zum Beispiel »Hund«) oder einen künstlichen (»Haus«) verweist. Ohne Wissen der Teilnehmer präsentierten ihnen die Forscher vor dem Zielwort einen weiteren maskierten Begriff, der entweder semantisch zu diesem passte oder nicht. Folge: Die Versuchspersonen brauchten für ihre Antwort länger, wenn die sichtbaren und unsichtbaren Wörter nicht zur gleichen Kategorie gehörten. Daher gingen die Wissenschaftler davon aus, dass die maskierten Begriffe tatsächlich verarbeitet worden waren – sonst hätte dieser Effekt nicht auftreten dürfen.

Im eigentlichen Experiment sollten dann 15 Probanden ein zuerst präsentiertes »Musterwort« mit einem »Testwort« vergleichen und durch Knopfdruck entscheiden, ob beide identisch waren oder nicht. Das 33 Millisekunden lang gezeigte Musterwort maskierten Melloni und ihre Kollegen, indem sie davor und danach unterschiedlich helle Reize einblendeten. Je nach Helligkeit drang das Musterwort ins Bewusstsein der Probanden oder nicht.

Um den zeitlichen Verlauf der Hirnaktivitäten zu untersuchen, setzten die Wissenschaftler die Elektroenzephalografie ein (siehe Kasten S. 61). Beim bewussten wie beim unbewussten Verarbeiten von Reizen zeigten sich generell ähnliche Aktivitätsmuster, mit einer Ausnah-

me: Waren die Stimuli bewusst wahrnehmbar, begannen 40 bis 180 Millisekunden nach Einblenden des Musterworts so genannte Gammawellen – elektrische Signale mit einer Frequenz von über 30 Hertz – über die gesamte Großhirnrinde hinweg im Gleichtakt zu schwingen. Hirnforscher sprechen hier von Synchronisierung der Hirnaktivität. Da sich gleichzeitig die Stärke der Gammawelle nicht veränderte, dürfte der entscheidende Unterschied zwischen bewusster und unbewusster Wahrnehmung im zeitlichen Zusammenspiel verschiedener Bereiche der Großhirnrinde liegen. Offen bleibt laut Melloni und ihren Kollegen, ob diese frühzeitige und kurzlebige Synchronisierung für sich schon das neuronale Korrelat des Bewusstseins darstellt – oder ob Bewusstsein erst aus anderen Prozessen erwächst, die auf die rhythmisch koordinierte Tätigkeit folgen.

Schon 1990 vermuteten Francis Crick und Christof Koch, synchronisierte Schwingungen im 40-Hertz-Bereich in Nervenzellverbänden stellten das neuronale Korrelat von Bewusstsein dar. Diese Theorie können Melloni und ihre Kollegen mit ihrer Untersuchung nun untermauern, die zeigt, wie weiträumig das neuronale Orchester zusammenspielt, wenn wir etwas bewusst wahrnehmen. ~

Christian Wolf ist promovierter Philosoph und freier Wissenschaftsjournalist in Heidelberg.