

BEWUSSTSEIN

Good Vibrations

Wie entscheidet das Gehirn, was es interessant findet? Aktuelle Ergebnisse zeigen: Um die Aufmerksamkeit des Bewusstseins zu erregen, feuern Nervenzellen gemeinsam im Schnelltakt.

VON ANDREAS K. ENGEL, STEFAN DEBENER UND CORNELIA KRANCZIOCH

Mit verschmitztem Lächeln kündigt der Dozent ein kleines Experiment an: »Gleich sehen Sie ein kurzes Video, in dem sich zwei Teams je einen Basketball zuspielen. Bitte zählen Sie genau mit, wie oft sich die Mannschaft mit den weißen T-Shirts den Ball zuspasst. Und sprechen Sie bitte unter keinen Umständen mit Ihrem Nachbarn!« Wenige Sekunden später flimmert ein Stummfilm über die Hörsaalwand. Drei dunkel und drei hell gekleidete Spieler wuseln wild durcheinander.

Im Publikum herrscht gespannte Stille, hier und da ertönt Gelächter. Es ist gar nicht so leicht, die »Weißen« im Auge zu behalten! Nach ungefähr einer Minute endet der Film. Die meisten Zuschauer sind nun der Meinung, die Aufgabe gemeistert zu haben. Manch einer tauscht noch schnell flüsternd seine Zahl mit dem Nachbarn aus. Dann wendet sich

der Hochschullehrer wieder seinen Studenten zu: »Wie hat Ihnen der Gorilla gefallen?«

Verblüfftes Schweigen. Das Video startet erneut und schon nach wenigen Sekunden geht ein Raunen durch die Menge: Da stolziert doch tatsächlich für jedermann sichtbar eine Person im Affenkostüm ins Bild. Wohlgemerkt – der »Gorilla« huscht nicht etwa hinter den Spielern vorbei. Nein, er bleibt sogar mitten im Getümmel stehen, um sich triumphierend auf die Brust zu trommeln!

Als die beiden Psychologen Daniel J. Simons und Christopher F. Chabris von der Harvard University diesen Film 1999 ihren Probanden vorführten, waren sie selbst überrascht: Jeder zweite übersah das zottelige Monster beim ersten Durchlauf! Wie war das möglich? Vielleicht hatten die Versuchsteilnehmer sich so stark auf die Spieler in Weiß konzentriert, dass sie alle dunklen beweglichen Objekte ausblendeten. Als die Probanden die Wurfpassé der schwarz gekleideten Mannschaft verfolgen sollten, be-

merkten den Gorilla immerhin etwa acht von zehn.

Als kognitive Neurowissenschaftler möchten wir gerne wissen, was hinter solchen Phänomenen steckt: Was passiert in unserem Gehirn, wenn wir uns willentlich auf etwas konzentrieren? Gibt es eine Instanz in unserem Kopf, die darüber entscheidet, welche Informationen ins Bewusstsein gelangen und welche nicht? Und wie beeinflussen unsere Absichten, Bedürfnisse und Erwartungen, was wir wahrnehmen?

WUNDT – HELMHOLTZ – JAMES

Die Psychologie beschäftigte sich schon früh mit der Frage, wie Aufmerksamkeitsprozesse unsere Wahrnehmung beeinflussen. Bereits 1890 analysierte der amerikanische Philosoph und Psychologe William James (1842–1910) in seinem berühmten Werk »The Principles of Psychology« viele wesentliche Merkmale der Aufmerksamkeit. Dabei baute er auf den Forschungen anderer Wissenschaftler auf, etwa jenen von Wilhelm Wundt



(1832–1920) oder des Berliner Physiologen Hermann von Helmholtz (siehe Box »Spotlights des Bewusstseins« auf S. 27).

Die Kapazität des Bewusstseins sei stark begrenzt, schloss James – daher könnten wir nicht »auf alles gleichzeitig Acht geben«. Vielmehr stelle Aufmerksamkeit einen Selektionsmechanismus dar, bei dem sich das Bewusstsein auf bestimmte Reize konzentriert, um diese besonders effektiv zu verarbeiten. Zudem unterschied der Forscher bereits verschiedene »Varianten« der Aufmerksamkeit. Mal stellt sie sich »von selbst« ein: Ein stechender Geruch, eine laute Polizeisirene, eine Frau in knallroter Abendrobe inmitten grau oder schwarz gekleideter Männer – all das zieht unsere Aufmerksamkeit mühelos auf sich. Andererseits können wir diese aber auch aktiv und willentlich steuern – etwa wenn wir auf einer lauten Party dem Getuschel am Nebentisch lauschen.

Auf William James geht also die Unterscheidung dieser zwei Aufmerksamkeitstypen zurück, für die sich inzwi-

schon die Bezeichnungen »bottom-up« und »top-down« eingebürgert haben. Je nach Kontext werden die beiden Begriffe allerdings recht unterschiedlich gebraucht. Die gängigste Definition bezieht sich auf den hierarchischen Ablauf der neuronalen Prozesse: Bei einem Bottom-up-Prozess kämpfen sich die Reize wegen ihrer Auffälligkeit automatisch in unser Bewusstsein hoch. Beim Top-down-Prozess dagegen stehen am Anfang höhere Gehirnzentren, die uns dazu veranlassen, unsere Aufmerksamkeit aktiv einem bestimmten Reiz zuzuwenden.

Während die Arbeiten von Forschern wie William James und Hermann von Helmholtz Anfang des 20. Jahrhunderts eine Vielzahl von psychologischen Untersuchungen anstießen, setzte die neurowissenschaftliche Beschäftigung mit dem Thema erst sehr viel später ein: 1985 beobachtete die Arbeitsgruppe um Robert Desimone am National Institute of Mental Health in Bethesda (USA) erstmals, wie einzelne Nervenzellen in der visuellen Großhirnrinde von Rhesus-

affen aufmerksamkeitsabhängig ihre Aktivität verändern. Solche Experimente sind sehr aufwändig, da die Tiere nicht narkotisiert sein dürfen, sondern aktiv am Experiment teilnehmen müssen. Zum Glück ist das Gehirn nicht schmerzempfindlich, sodass die Affen die implantierten Sonden nicht spüren.

AUFMERKSAME AFFEN

Robert Desimone und sein Mitarbeiter Jeff Moran entdeckten, dass bestimmte Neurone im Areal V4 des visuellen Cortex – einer für die Farbwahrnehmung wichtigen Region – häufiger feuern, wenn das Versuchstier konzentriert einen farbigen Balken betrachtet. Dieselben Nervenzellen sind dagegen viel schwächer aktiv, wenn der Affe den Balken zwar gezeigt bekommt, ihn aber nicht beachtet.

Desimones Ergebnisse waren bahnbrechend, belegen sie doch, dass ein mentaler Prozess wie die aktive Steuerung der Aufmerksamkeit auf der Ebene einzelner Nervenzellen dingfest gemacht werden kann. In der Folge explodierte ▶

AUF EINEN BLICK

Die neuronalen Grundlagen der Aufmerksamkeit

- 1 Wenn wir unsere Aufmerksamkeit auf etwas richten, synchronisiert sich die Aktivität all jener Nervenzellen, die sich mit demselben Objekt beschäftigen. Dies ist vermutlich eine Voraussetzung dafür, dass die Information ins Bewusstsein gelangt.
- 2 Aktive Aufmerksamkeit verbessert die Synchronisation: Erwarten wir gespannt das Auftauchen eines Objekts, so synchronisieren sich die beteiligten Nervenzellen schon vorher und erleichtern dadurch die Weiterleitung der Information.
- 3 Vermutlich erzeugt das Gehirn ständig neuronale »Vorhersagen«, die nicht nur von äußeren Reizen abhängen, sondern auch von der inneren Dynamik des Gehirns. Auf diese Weise beeinflussen auch unsere Absichten, Erwartungen oder Stimmungen, wie wir unsere Umwelt wahrnehmen und was wir erleben.

▷ die Aufmerksamkeitsforschung geradezu. So zeigten andere Forscher später, dass sich aktive Aufmerksamkeit nicht nur auf den höheren Verarbeitungsstufen des visuellen Systems wie im Areal V4 widerspiegelt, sondern sich ihre Effekte bis in die untersten Hierarchieebenen der corticalen Reizverarbeitung zurückverfolgen lassen.

SYNCHRONFEUER IM GEHIRN

All diese Studien verknüpfen Aufmerksamkeit lediglich mit einem Ansteigen der neuronalen »Feuerrate«. Neurobiologische Befunde der jüngsten Zeit weisen jedoch in eine ganz andere Richtung: Bei Aufmerksamkeitsprozessen scheint noch ein anderer Aspekt wichtig, nämlich die Tatsache, dass verschiedene Neurone ihre Aktivität – genauer: die Zeitpunkte ihrer Aktionspotenziale – synchronisieren können. Hier vermuten viele Neurowissenschaftler schon seit einigen Jahren die Lösung für eines der größten Rätsel der Bewusstseinsforschung, für das so genannte Bindungsproblem.

Angenommen auf dem Tisch vor Ihnen landet plötzlich ein Grashüpfer. Bevor das Tierchen dreidimensional in Ihrem Bewusstsein auftaucht, müssen zunächst ganz verschiedene, örtlich voneinander getrennte Hirnareale aktiv werden. Die einen verarbeiten die Farbe, andere die Größe, wieder andere die räumliche Tiefe und so weiter. Doch wie verknüpft das Gehirn all diese einzelnen Merkmale wieder zu einem einheitlichen Eindruck – einem grünen Grashüpfer?

Schon vor gut 20 Jahren hatte der Bochumer Neuroinformatiker Christoph von der Malsburg eine Lösung für das Bindungsproblem vorgeschlagen. Die exakte Synchronisierung der Aktivitäten verschiedener Nervenzellen könnte dazu dienen, diese zu effektiv kooperierenden Verbänden – so genannten Assemblies – zusammenzuschließen. Die elektrischen Impulse funktionell zusammengehöriger Neurone seien dabei, so seine Annahme, mit erstaunlicher Genauigkeit aufeinander abgestimmt – im Bereich weniger tausendstel Sekunden. Alle Nervenzel-

len, die sich während des Wahrnehmungsprozesses mit verschiedenen Aspekten ein und desselben Objekts befassen, sollten im selben Takt schwingen. Die Zusammengehörigkeit der Merkmale manifestiert sich demnach in diesem gemeinsamen Rhythmus.

Etliche Forscherteams, darunter auch die Arbeitsgruppe von Wolf Singer am Frankfurter Max-Planck-Institut für Hirnforschung, haben in den vergangenen Jahren gezeigt, dass dieses Malsburg'sche »Ballett der Neurone« tatsächlich existiert. Einen besonders aufschlussreichen Versuch führten Andreas Engel, Peter König und Wolf Singer Ende der 1980er Jahre durch. Dabei bekommt eine Katze unterschiedliche Balkenmuster präsentiert (siehe Bild S. 29 oben). Wird dem Tier ein einziges Objekt als Reiz dargeboten, so ist die Synchronisation zwischen den merkmalsanalysierenden Nervenzellen im Sehsystem besonders ausgeprägt. Sind zwei getrennte Objekte zu sehen, bricht der gemeinsame Rhythmus zusammen. Die Synchronisation schlägt sich in schnellen oszillatorischen Potenzialschwankungen mit charakteristischen Frequenzen zwischen 30 und 100 Hertz nieder – einem Bereich, den Hirnforscher als »Gamma-Band« bezeichnen.

Anfang der 1990er Jahre, kurz nachdem das synchrone Nervenzellfeuern et- ▷ was genauer untersucht worden war, er-

VERBLÜFFENDER EFFEKT

Bitten Sie einen Freund vor dem Anschauen des Videos, die Pässe der weiß gekleideten Spieler mitzuzählen (<http://viscog.beckman.uiuc.edu/grafs/demos/15.html>). Sehr wahrscheinlich wird er den Affen überhaupt nicht bemerken!



MIT FERDINAND VON DANIEL SIMONS
AUS: SIMONS, CHABRIS: PERCEPTION 28, 1995, S. 1059-1074

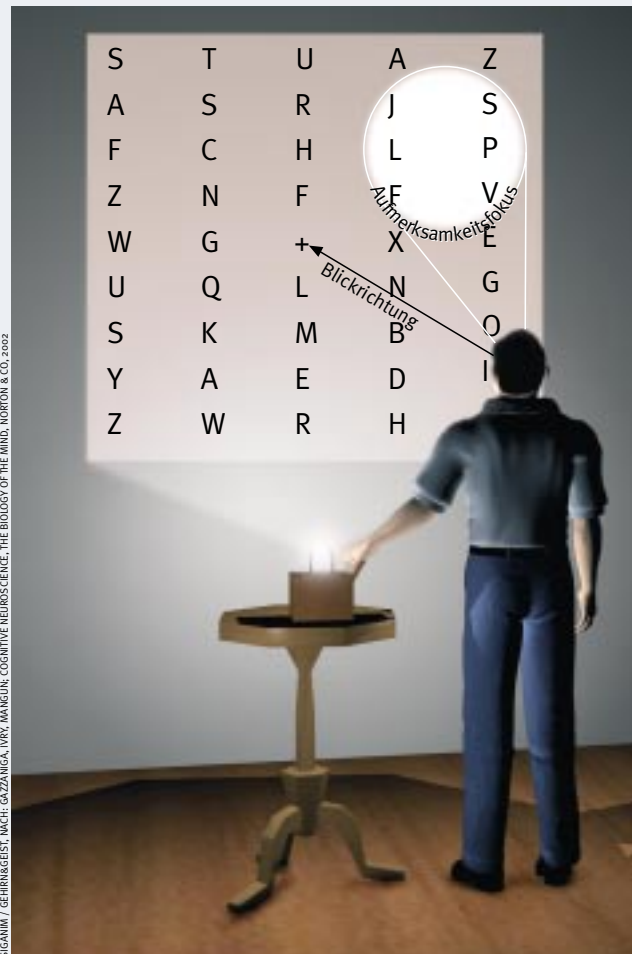
MIT EINER EINFACHEN, ABER WIRKUNGSVOLLEN VERSUCHSANORDNUNG machte der Berliner Physiologe Hermann von Helmholtz (1821–1894) eine interessante Entdeckung: Er befestigte an der Wand seines Labors einen Schirm mit Buchstaben. Stand er nahe davor, befand sich der Großteil der Lettern am Rand seines Blickfelds. Dann verdunkelte er den Raum, nahm wieder seine Position ein und beleuchtete die Wand für Sekundenbruchteile durch den elektrischen Funken einer Bogenlampe.

Fasziniert stellte Helmholtz fest, dass er – ohne die Augen von der mit einem Kreuz markierten Mitte fortzubewegen – die Zeichen in einer einzelnen, bestimmten Region erkennen konnte, wenn er sich noch vor dem Aufblitzen des Lichts vornahm, seine Aufmerksamkeit auf diese zu richten. Alle anderen Buchstaben auf dem Schirm blieben in diesem Moment unkenntlich. Was Helmholtz auf diese Weise untersuchte, war die räumliche Selektivität der Aufmerksamkeit. Wie wir heute wissen, sind ähnliche »verdeckte« – für einen äußeren Beobachter nicht erkennbare – Aufmerksamkeitszuwendungen auch beim Hören oder Tasten möglich.

Die Beobachtungen von Helmholtz inspirierten spätere Forscher dazu, die Aufmerksamkeit mit einem »geistigen Scheinwerfer« zu vergleichen, der Reize gleich dem Lichtkegel einer Taschenlampe beleuchtet und dadurch ins Bewusstsein hebt. Mit dieser Metapher verbindet sich traditionell die Idee, dass der durch den »Scheinwerfer« hervorgehobene Bereich räumlich zusammenhängend sein muss und es daher – wegen der begrenzten Kapazität unseres Aufmerksamkeitssystems – nur einen einzigen, unteilbaren Scheinwerfer geben kann. Aus diesem Grund könnten wir etwa verschiedenen, weiter voneinander entfernten Objekten in unserem Blickfeld nie gleichzeitig, sondern höchstens nacheinander unsere Aufmerksamkeit schenken.

DIESE VORSTELLUNG HIELT SICH BIS IN DIE JÜNGSTE VERGANGENHEIT. Neuere Forschungsergebnisse zeigen jedoch, dass sie nicht immer zutrifft. Hinweise darauf geben so genannte Dual-Task-Experimente (Doppelaufgaben), wie sie beispielsweise FeiFei Li und Rufin VanRullen vom California Institute of Technology 2002 durchführten. Ihre Probanden mussten Wahrnehmungsaufgaben mit geometrischen Formen lösen, die in der Mitte eines Monitors eingeblendet waren. Gleichzeitig sollten sie aber auch noch angeben, ob auf Naturfotografien, die kurz in der Peripherie des Bildschirms aufblitzten, ein Tier zu sehen war – was ihnen erstaunlicherweise gelang!

Auch Versuche einer Arbeitsgruppe um den Psychologen Matthias Müller aus dem Jahr 2003 belegen, dass sich die visuelle Aufmerksamkeit recht gut gleichzeitig an zwei verschiedenen Orten aufhalten kann. Die Forscher von der Universität Leipzig präsentierten ihren Probanden auf einem Bildschirm geometrische Symbole an vier verschiedenen Stellen. Die Teilnehmer sollten nun darauf achten, ob an zwei der zuvor ausgewählten Positionen gleichzeitig eine »8« erscheint. Dies war für die meisten von ihnen kein Problem, obwohl sie die Zeichen noch nicht einmal eine Vier-



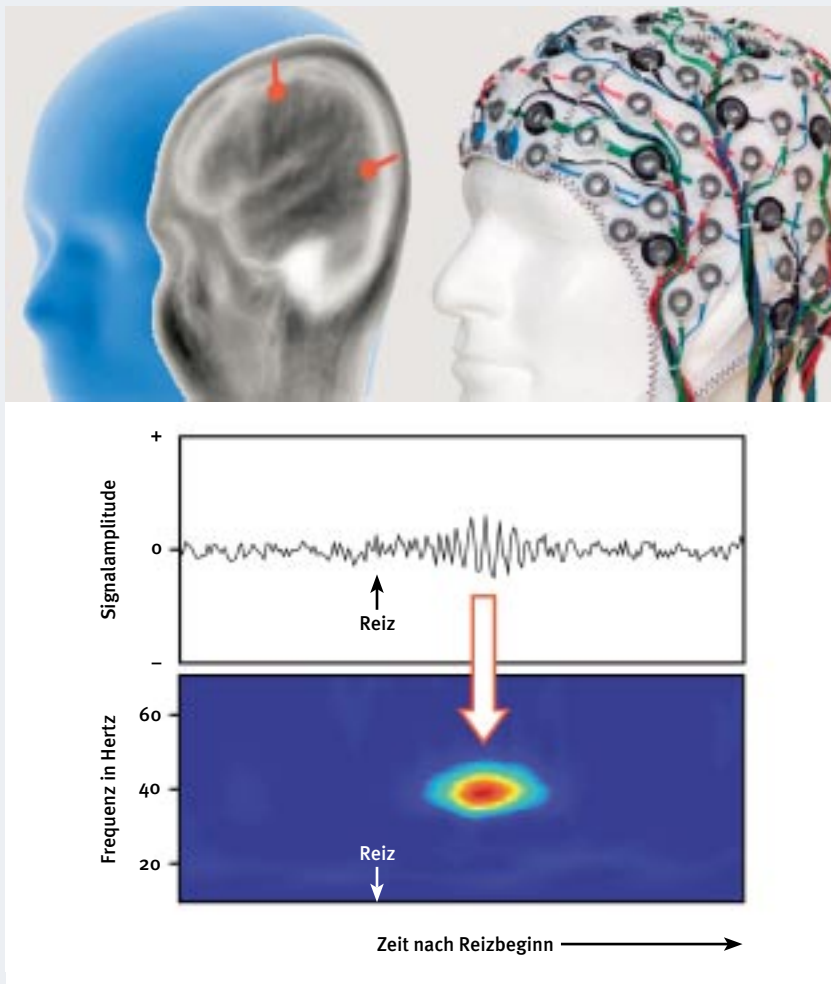
TASCHENLAMPE IM KOPF?

Bereits von Hermann von Helmholtz durchgeführte Versuche prägten ein klassisches Erklärungsmodell für die Aufmerksamkeit: Demnach gleicht sie einem Scheinwerfer, der die beachteten Reize für das Bewusstsein beleuchtet. Heute weiß man, dass wir unsere Aufmerksamkeit auch recht gut auf verschiedene Stellen gleichzeitig richten können.

telsekunde lang zu sehen bekamen! Es ist daher sehr unwahrscheinlich, dass die Personen in dieser kurzen Zeit ihren Aufmerksamkeitsfokus zuerst auf die eine und dann auf die andere Position verschieben konnten.

Die Aufzeichnung der Hirnströme per EEG zeigte zudem, dass die aufmerksame Verarbeitung der Stimuli an den ausgewählten Positionen gleichzeitig erfolgte. In Zukunft sollte man sich die Aufmerksamkeit also nicht mehr als schwenkbaren Scheinwerfer, sondern eher als eine Kombination von Spotlights vorstellen, mit denen unser Gehirn das Bewusstsein auf alles Wichtige aufmerksam macht.

NERVENZELLEN IM GLEICTAKT



DIE AKTIVEN REGIONEN IM GEHIRN erzeugen elektrische Signale, die mit Hilfe von Elektroden auf der Kopfhaut registriert werden können (oben rechts). Führt man solche EEG-Messungen mit sehr vielen Elektroden durch, so kann mit mathematischen Verfahren der Ursprungsort der jeweiligen Signale rekonstruiert werden (oben links). Sensorische Reize führen im EEG zu oszillatorischen Antworten (Mitte), die aus der synchronen Aktivität sehr vieler Nervenzellen resultieren. Für jede Elektrode lässt sich die Frequenzverteilung der gemessenen Signale untersuchen und die Veränderung dieser Verteilung über die Zeit nach Erscheinen des Reizes darstellen. Warme Farbtöne zeigen eine Erhöhung der Aktivität im betreffenden Zeit-Frequenz-Bereich an (unten).

▷ weiterten der Medizin-Nobelpreisträger Francis Crick (1916–2004) und der kalifornische Neuroinformatiker Christof Koch die Malsburg'sche Hypothese. Nur die Signale besonders gut kooperierender neuronaler »Teams« besäßen genügend Durchschlagskraft, um das Bewusstsein zu erreichen, postulierten die beiden Forscher. Vor 15 Jahren wirkte diese Behauptung provokant, weil keinerlei direkte empirische Belege dafür vorlagen.

Inzwischen unterstützen verschiedene Forschungsergebnisse die Crick-Koch-Hypothese. Einige Experimente dazu führten Pascal Fries, jetzt am Donders Center im holländischen Nijmegen, Wolf Singer, Andreas Engel und andere Mitarbeiter des Frankfurter Max-Planck-Instituts zwischen 1995 und 1998 durch. Dabei kam ein Versuchsparadigma zum Einsatz, mit dem sich der »binokulare Wettstreit« untersuchen lässt: Werden

linkem und rechtem Auge zum Beispiel über eine Spezialbrille zwei sehr unterschiedliche Bilder angeboten, können diese nicht zu einem einheitlichen Wahrnehmungseindruck verschmolzen werden. Diese zwiespältige Situation löst das Gehirn, indem es die Informationen aus einem Auge bevorzugt behandelt und die aus dem anderen unterdrückt. Deshalb erkennen Probanden immer nur eines der Bilder. Erst setzt sich das eine, dann – einige Sekunden später – das andere durch. Das regelmäßige »Kippen« der Wahrnehmung ereignet sich ohne Veränderung der äußeren Reize.

BEIDÄUGIGER WETTKAMPF

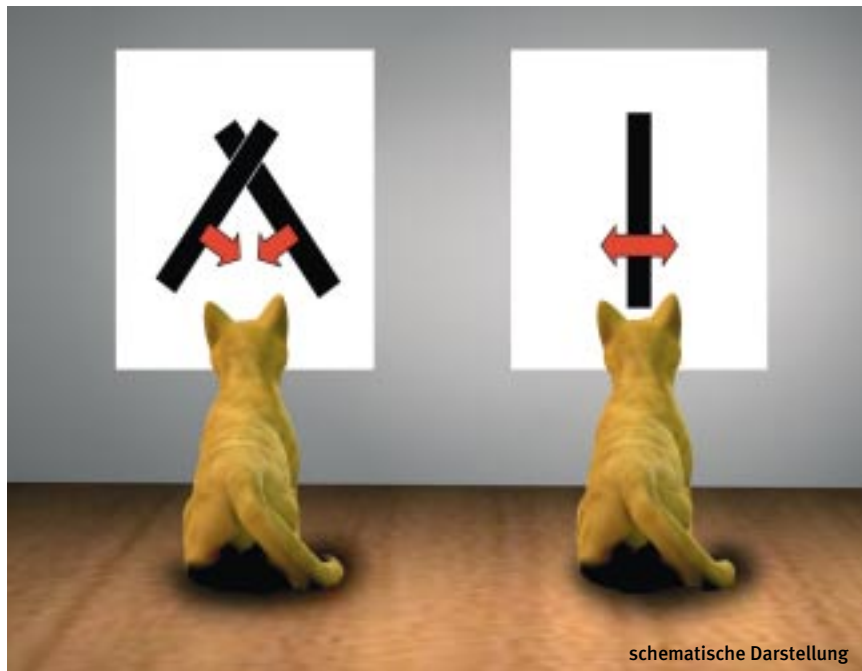
Wie wird der binokuläre Wettkampf auf Ebene der Neurone ausgetragen? Wir verglichen im visuellen Cortex einer Katze zwei Nervenzellgruppen: Die eine beschäftigte sich mit Merkmalen des linken Bilds, die andere mit jenen des rechten. Am Verhalten der Tiere konnten wir ablesen, welches Bild sie gerade wahrnahmen. Wie sich herausstellte, war die neuronale Synchronisation auf Seiten der »Sieger« stets besser als auf Seiten der »Verlierer«! Hinsichtlich ihrer Feuerrate unterschieden sich die beiden gegeneinander angetretenen Mannschaften dagegen nicht. Diese Ergebnisse belegen, dass die Stärke der neuronalen Synchronisation entscheidend beeinflusst, welche einlaufenden Signale weiter verarbeitet und damit für die bewusste Wahrnehmung relevant werden.

Dass auch die aktive Steuerung der Aufmerksamkeit Einfluss auf die Gamma-Synchronisation ausüben kann, bewies Pascal Fries vor wenigen Jahren. Er arbeitete im Labor von Robert Desimone mit Affen, die gelernt hatten, auf ein Signal hin ihre Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Stelle des Bildschirms zu richten, an der kurz darauf ein Zielreiz eingeblendet wurde. Erschien dieser am erwarteten Ort, waren die Gamma-Oszillationen deutlich stärker ausgeprägt. Dagegen schwächte sich die Synchronisation ab, sobald die Versuchstiere ihre Aufmerksamkeit anderen Stimuli zuwandten.

Beim Menschen sind solche Messungen mit implantierten Elektroden nur

KATZE MIT BINDUNGSPROBLEM

Links nimmt das Versuchstier zwei Balken wahr, die in verschiedene Richtungen (Pfeile) durchs Bild wandern. Eine Gruppe von Richtungsneuronen im visuellen Cortex reagiert auf die Bewegung des einen Balkens, eine zweite auf die des anderen. Beide Nervenzellpopulationen feuern unabhängig voneinander. Beim Anblick des senkrechten Balkens im Bild rechts, der sich nach links oder rechts bewegt, synchronisieren die Gruppen dagegen ihre Aktivität.



schematische Darstellung

SIGANIM / GEHIRN&GEIST, NACH ANDREAS ENGEL

im Rahmen von Hirnoperationen möglich. Deshalb stützen wir uns bei der Messung der Gamma-Aktivität meist auf die Elektroencephalografie (EEG, siehe Kasten auf gegenüberliegender Seite). Kürzlich führten wir ein Aufmerksamkeitsexperiment durch, bei dem wir unsere Versuchspersonen schnelle Abfolgen von Buchstaben betrachten ließen, die jeweils für etwa eine zehntel Sekunde auf einem Bildschirm aufblitzten. Die meisten Lettern waren schwarz, doch hin und wieder streuten wir grüne Buchstaben ein, welche die Probanden still zählen sollten (siehe Bild unten). Nach der Analyse der gleichzeitig aufgenommenen EEG-Signale stellte sich heraus,

dass allein die Verarbeitung der grünen Buchstaben mit einer Zunahme hochfrequenter Aktivität im Gamma-Bereich einherging.

ERWARTUNGSVOLLE NEURONE

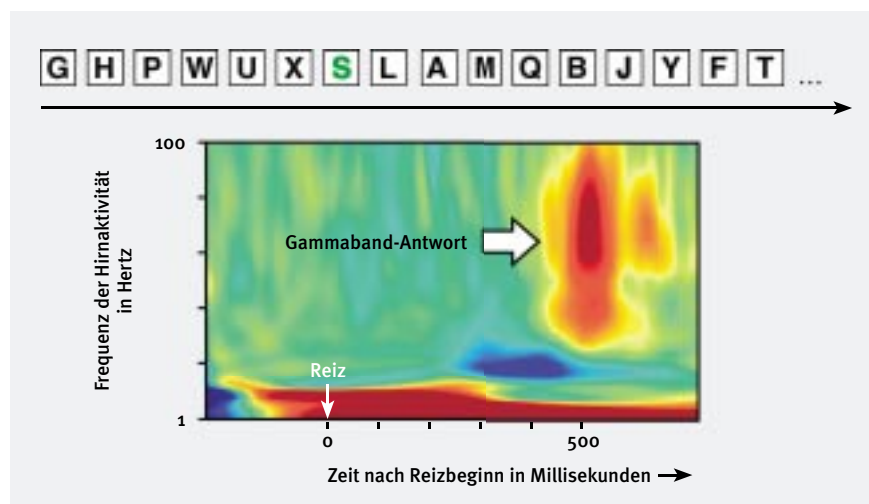
Der Effekt der Erwartung zeigte sich besonders deutlich in einem Experiment mit akustischen Reizen. In einer Folge von überwiegend gleichen Tönen sollten Versuchspersonen auf Töne anderer Höhe achten. Die erwarteten »Zielreize« führten zu einer Verstärkung hochfrequenter Gamma-Aktivität im Gehirn – unerwartete, laute Geräusche, welche die Aufmerksamkeit automatisch auf sich zogen, hatten diese Wirkung nicht.

Die hier gemessene verstärkte rhythmische Synchronisation im Gammaband stellt also offenbar – unabhängig vom betrachteten Sinnessystem – einen guten Indikator für aktive Aufmerksamkeit dar: Wenden wir unsere Aufmerksamkeit aktiv einem Reiz zu, verändert sich nicht nur die Feuerrate einzelner Neurone, sondern es verbessert sich auch die Synchronisation zwischen all jenen Nervenzellen, die sich an der Codierung desselben Reizes beteiligen – vergleichbar einem Sinfonieorchester, das nach individuellem Proben der Instrumente in einen gemeinsamen Takt einstimmt.

Auf welchem Weg könnten unsere Absichten und Bedürfnisse die Aufmerk-

BUCHSTABE FÜR BUCHSTABE

Willkürliche Aufmerksamkeit ist von besonders schnellen Hirnwellen begleitet, die im EEG sichtbar werden. Bittet man Versuchspersonen, grüne Buchstaben zu zählen, die in einer Folge von schwarzen Buchstaben erscheinen, so rufen die beachteten Reize hochfrequente Aktivität im Bereich zwischen 30 und 100 Hertz hervor – die so genannte Gammaband-Antwort.



MIT FRDL. GEN. DES AUTORENTAMS

▷ samkeit beeinflussen? Mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie (fMRT) wollten wir jene Hirnareale lokalisieren, die an der Entscheidung über die bewusste Wahrnehmung des Zielreizes beteiligt sind. Dazu brauchten wir ein Versuchsparadigma, mit dem wir zwei Bedingungen vergleichen können: eine, bei der aktive Aufmerksamkeit zur bewussten Reizwahrnehmung führt, und eine andere, bei welcher derselbe Reiz nicht ins Bewusstsein dringt.

Wir nutzten das Wahrnehmungsphänomen der Aufmerksamkeitslücke – im Englischen »Attentional Blink« genannt (»Augenzwinkern der Aufmerksamkeit«). Im Experiment setzten wir wieder eine Buchstabenfolge ein, die wir dem Probanden im Kernspintomografen präsentierten. Diesmal erschien aber nur ein einziger grüner Buchstabe zwischen den schnell abwechselnden schwarzen Lettern, und die Versuchsperson musste nach Ende des Durchlaufs angeben, ob es sich dabei um einen Vokal gehandelt hatte (siehe Bild auf der rechten Seite oben). Gleichzeitig sollte der Versuchsteilnehmer auf das Erscheinen eines schwarzen »X« achten, das zu verschiede-

nen Zeiten nach dem ersten grünen Zielreiz auftauchte.

Während des Experiments zeigte die Aufmerksamkeit unserer Probanden in der Tat deutliche Lücken: Folgte das »X« sehr schnell – binnen einer Drittel Sekunde – auf den grünen Buchstaben, nahmen sie es in etwa der Hälfte der Fälle überhaupt nicht wahr. Verstrich mehr Zeit nach dem ersten Reiz, erhöhte sich die Erkennungsquote wieder.

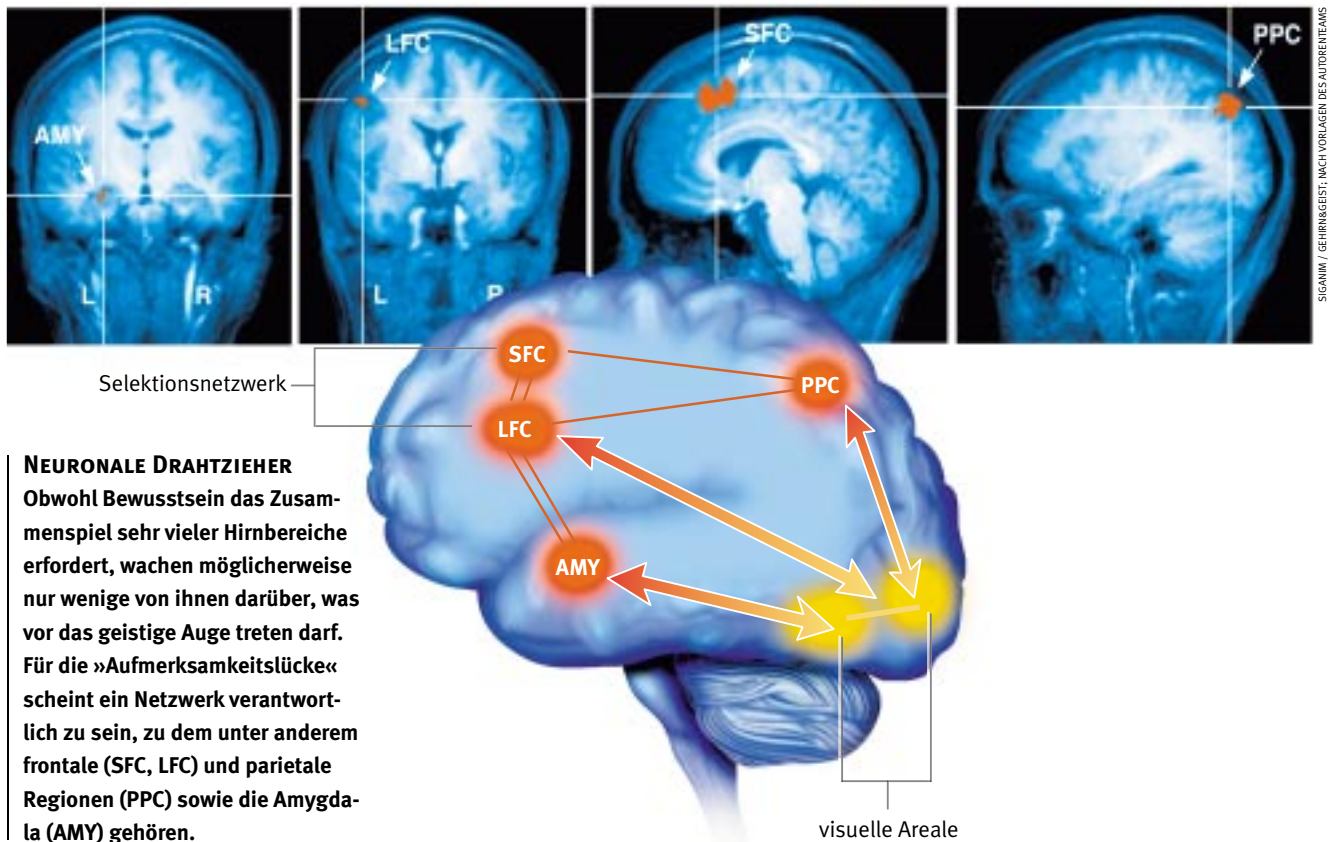
FALSCH PLATZIERTE SCHILDER

Übertragen auf den Alltag ergibt sich daraus beispielsweise, dass hintereinander aufgestellte Verkehrszeichen vermutlich leichter übersehen werden. Denn steht bei einer Fahrgeschwindigkeit von 100 Stundenkilometern etwa 10 Meter nach einem anderen wichtigen Verkehrszeichen ein zweites Schild, würde es genau in diese Aufmerksamkeitslücke fallen. Wahrscheinlich wäre es sinnvoller, die beiden Schilder direkt nebeneinander zu platzieren.

Am Ende des Experiments verglichen wir die fMRT-Auswertungen jener Reizdurchläufe, in denen die Probanden das »X« wahrgenommen hatten, mit jenen,

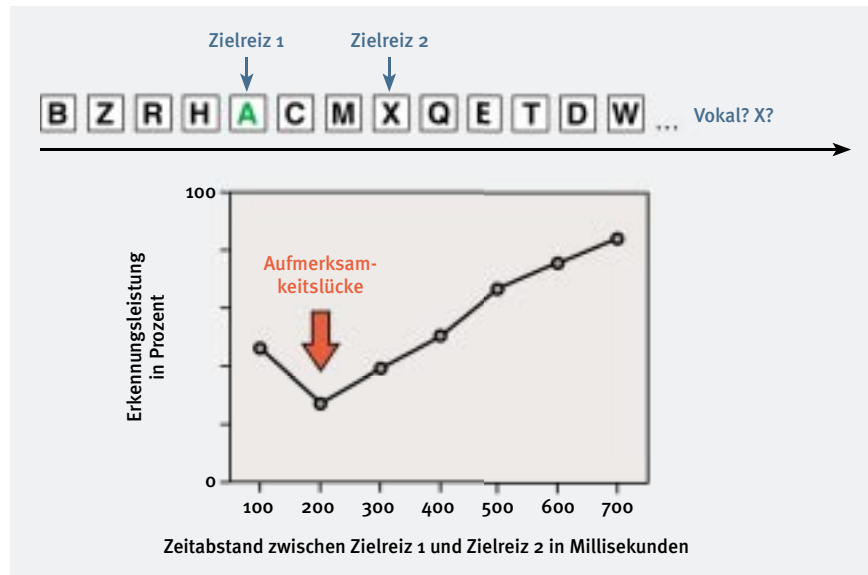
in denen das »X« zwar gezeigt, aber nicht bemerkt worden war. Interessanterweise fanden sich nur für sehr wenige Hirnbe-reiche deutliche Aktivitätsunterschiede, unter anderem in zwei Regionen im oberen und seitlichen Stirnlappen (Frontal-cortex) sowie in einem Bereich im oberen Scheitellappen (Parietalcortex). Deren Beteiligung an der Steuerung der Aufmerksamkeit ist schon seit Längerem bekannt: Beispielsweise können manche Patienten, die einen Schlaganfall in bestimmten Regionen des Scheitellappens erlitten haben, Teilen ihres Blickfelds keinerlei Aufmerksamkeit mehr schenken, weshalb sie diese auch nicht bewusst wahrnehmen. Überrascht waren wir allerdings, als wir einen Unterschied im limbischen System fanden – genauer im Mandelkern (Amygdala), der normalerweise an emotionalen Reaktionen beteiligt ist. Offenbar hängt die Steuerung von Aufmerksamkeit und die Auswahl derjenigen Signale, die überhaupt ins Bewusstsein dringen, auch vom Zustand unseres Emotionssystems ab.

Die beschriebenen Experimente geben Forschern auf der Suche nach den neuronalen Grundlagen des Bewusst-



AUGENZWINKERN DES GEISTES

Sollen die Versuchsteilnehmer im Experiment zwei Aufgaben sehr kurz nacheinander lösen, wird ihre Aufmerksamkeit auf eine harte Probe gestellt. Folgt der zweite Zielreiz etwa 200 bis 300 Millisekunden auf den ersten, geht die Erkennungsleistung besonders stark in die Knie. Erst bei größeren Zeitabständen werden beide Reize mit großer Häufigkeit erkannt.



seins ein weiteres Puzzlestück in die Hand: Die mit bewusster Wahrnehmung eng verknüpfte Gamma-Oszillation wird nicht nur von den äußeren Reizen bestimmt, sondern auch von der flexiblen, inneren Dynamik des Gehirns. Wir vermuten, dass es ständig und aktiv neuronale Vorhersagen über zu erwartende Reize erzeugt. Tatsächlich konnten Pascal Fries und andere Forscher in den visuellen Arealen bereits Synchronisationseffekte messen, noch bevor sie den Tieren den erwarteten Stimulus präsentierten. Vermutlich nehmen dabei Hirnbereiche wie der Frontalcortex oder das limbische System Einfluss auf die Synchronisation in den sensorischen Arealen.

Alle eintreffenden Reize setzen nun ihrerseits bestimmte zeitliche Kopplungsmuster in Gang. Passen diese zu jenen, welche die Erwartung ausgelöst hat, werden die betreffenden Signale durch Resonanzeffekte verstärkt und weitergeleitet. Bei enttäuschter Erwartung kommt es dagegen zur Löschung der eingelaufenen neuronalen Botschaft.

Auf das »Gorilla-Experiment« angewendet bedeutet dies: Die Probanden erwarteten alles andere als einen Menschen im Affenkostüm. Vielmehr waren ihre Gehirne auf sich bewegende weiße Spieler eingestimmt. Alle Informationen über einen Affen, die aus der Retina einliefen, widersprachen vollkommen der neuronalen Erwartung und verhalten daher ungehört.

Die neuronale Synchronisation bringt offenbar »Ordnung« in die Welt des Geistes. In der Tat scheinen kognitive Defizite und Denkzerfahrenheit bei schizophrener Patienten mit gestörten Gammaband-Kopplungen zusammenzuhängen. Das gesunde Gehirn aber ist alles andere als ein passiver Empfänger von Nachrichten aus der Umwelt, sondern ein aktives System, das sich über seine komplexe innere Dynamik selbst steuert. Unsere Erfahrungen, Absichten, Erwartungen und Bedürfnisse verändern diese Dynamik und bestimmen so, wie wir unsere Umgebung wahrnehmen und erleben.

Überspitzt formuliert berücksichtigt das »Ich« vor allem seine eigenen Zustände. Und eine seiner wichtigsten Strategien lautet, sehr gezielt auszuwählen, wem es überhaupt Zugang zum Bewusstsein gewährt.



ANDREAS K. ENGEL (links) ist Direktor des Instituts für Neurophysiologie und Pathophysiologie im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf. **STEFAN DEBENER** (Mitte) ist Senior Scientist am MRC Institute of Hearing Research in Southampton. **CORNELIA KRANCZIOCH** (rechts) ist klinische Neuropsychologin im Sächsischen Epilepsiezentrum Radeberg.

Literaturtipps

Engel, A. K., Fries, P., Singer, W.: Dynamic Predictions: Oscillations and Synchrony in Top-Down Processing. In: *Nature Reviews Neuroscience* 2, 2001, S. 704–716.

Engel, A. K., Singer, W.: Temporal Binding and the Neural Correlates of Sensory Awareness. In: *Trends in Cognitive Sciences* 5, 2001, S. 16–25.

Engel, A. K. et al.: Invasive Recordings from the Human Brain: Clinical Insights and Beyond. In: *Nature Reviews Neuroscience* 6, 2005, S. 35–47.

Kranczioch, C., Debener S. et al.: Neural Correlates of Conscious Perception in the Attentional Blink. In: *Neuroimage* 24, 2005, S. 704–714.

Simons, D. J., Chabris, C. F.: Gorillas in Our Midst: Sustained Inattentional Blindness for Dynamic Events. *Perception* 28, 1999, S. 1059–1074.

Weblinks

www.4ohz.net

<http://assc.caltech.edu/index.htm>

Website der internationalen Gesellschaft zur wissenschaftlichen Erforschung des Bewusstseins

www.viscog.com

Das Video »Gorillas in Our Midst« und andere verblüffende Aufmerksamkeitsexperimente sind als DVD erhältlich.