

An der Schwelle des Bewusstseins

Unwissentlich wahrgenommene Bilder finden zwar keinen Eingang in unser bewusstes Erleben, werden aber dennoch vom Gehirn verarbeitet. Hier bietet sich die Chance, die psychologische Natur und die neurale Basis vieler unbewusster kognitiver Prozesse zu ergründen.

Von Lionel Naccache
und Stanislas Dehaene

Bewusstsein mit naturwissenschaftlichen Methoden erforschen zu wollen mag als über-ehrgeiziges, an Naivität grenzendes Vorhaben erscheinen. Doch die prinzipiellen Fragen, die sich dem Neurowissenschaftler stellen, sind verblüffend einfach:

- ▶ Entsteht Bewusstsein in einer bestimmten Hirnregion, hat es ein eigenes Zentrum? Wenn nicht – auf welche Aktivität des Gehirns stützt sich das Phänomen dann?
- ▶ Nehmen wir mehr wahr, als uns bewusst wird, kann also das Gehirn auch ohne unser Wissen Informationen aufnehmen und verarbeiten? Wenn ja – worin unterscheiden sich dann bewusste und unbewusste mentale Repräsentationen eines Objekts im Gehirn?

Angesichts dieser Fragen wird klar, welche Bedeutung die wissenschaftliche Erforschung der unbewussten Kognition in diesem Zusammenhang besitzt: Sie er-

öffnet umgekehrt einen wertvollen Blick auf charakteristische Eigenschaften bewusster Vorgänge.

Das dabei verwendete Instrumentarium reicht von wahrnehmungspsychologischen Experimenten bis zu modernen bildgebenden Verfahren, die Veränderungen in der Hirnaktivität erfassen. Auf Basis der damit gewonnenen Erkenntnisse haben wir – gemeinsam mit einigen anderen Forschern – ein allgemeines Modell der bewussten und unbewussten Informationsverarbeitung entwickelt.

Um mehr über unbewusste mentale Repräsentationen herauszufinden, beschreiten Psychologen zwei Wege. Einer ist die Untersuchung von Menschen, bei denen infolge von Hirnschäden gewisse bewusste Vorgänge teilweise oder ganz ausgefallen sind. Unwissentlich ablaufende Prozesse lassen sich daher hier gewissermaßen unverdeckt studieren. Mehrere Psychologenteams haben dies seit Ende der 1960er Jahre getan.

Die Arbeitsgruppe von Ernst Pöppel an der Universität München und das Team des englischen Psychologen Larry

Weiskrantz von der Universität Oxford untersuchten beispielsweise Patienten mit so genannter Rindenblindheit. Hier ist das Auge zwar intakt, die primäre Sehrinde am hinteren Pol des Gehirns aber teilweise zerstört. Im Gesichtsfeld treten dann blinde Bereiche – Skotome – auf. Bei gewissen Tests geschah jedoch etwas Unerwartetes: Die Patienten nahmen offensichtlich auch aus den »blinden« Ausschnitten des Gesichtsfelds Informationen auf – obwohl sie versicherten, sie hätten dort nichts gesehen. Wenn sie zum Beispiel »raten« mussten, ob dort ein Reiz erschienen war, wobei ▶

▶ **Unterschwellig dargebotene Ziffern oder andere Objekte sind im Experiment so kurz zwischen anderen Mustern sichtbar, dass sie nicht in unser Bewusstsein dringen, vom Gehirn aber trotzdem verarbeitet werden. Auf diesem Weg lässt sich untersuchen, wie sich bewusste und unbewusste Verarbeitung unterscheiden.**

*Aus urheberrechtlichen Gründen
können wir Ihnen die Bilder leider
nicht online zeigen.*

▷ sie nur mit »da« oder »nicht da« antworten durften, lagen sie oft richtig. Bei einer anderen dieser »erzwungenen Entscheidungen« konnten sie ihren Blick genau auf den Punkt richten, wo ein Reiz erschien. Dieses sonderbare Phänomen ist mittlerweile als Blindsehen bekannt.

Analog gibt es auch unbewusste Formen des Gedächtnisses. Dies haben Untersuchungen an einigen Patienten mit schwerer anterograde Amnesie gezeigt. Die Betroffenen vergessen jedes neue Erlebnis sofort wieder und können keinerlei autobiografische Erinnerungen mehr aufbauen. Was vor dem Eintreten des Gedächtnisverlusts geschah, ist ihnen jedoch weitgehend gegenwärtig. Überraschenderweise konnten die Betroffenen trotz ihres Handikaps relativ komplexe Bewegungen erlernen, die mehrere Trainingssitzungen erfordern. So meisterten sie genauso schnell wie Gesunde die motorische Aufgabe, mit dem Finger exakt einem Punkt auf einer rotierenden Scheibe zu folgen – auch wenn sie alle vorausgegangenen Übungseinheiten sogleich wieder »vergessen« hatten.

Maskierte Reize

Inzwischen sind derartige Dissoziationen von den meisten klassischen neuropsychologischen Störungen bekannt, zum Beispiel von der Aphasie, bei der Sprachverständnis oder -produktion beeinträchtigt ist, oder von der Prosopagnosie, bei der die Betroffenen Gesichter zwar sehen, aber nicht mehr zuordnen können.

Doch wie lassen sich unbewusste mentale Repräsentationen bei gesunden Menschen reproduzierbar messen? Psychologen haben dazu eine Palette experimenteller Verfahren ausgearbeitet. Das bekannteste davon bedient sich der unterschweligen Wahrnehmung. Hierbei präsentiert man einer Versuchsperson für etwa zwanzig bis vierzig Millisekunden auf einem Bildschirm einen Reiz, etwa

ein Wort. Zwischen einer unmittelbar vorher und nachher eingeblendeten »Maske«, beispielsweise einem geometrischen Muster, kann eine derart kurze Darbietung nicht bewusst wahrgenommen werden. Man sagt, der maskierte Reiz bleibt unterschwellig, subliminal. Obwohl er nicht in das Bewusstsein dringt, kann er aber kognitiv verarbeitet werden – erkenntlich daran, dass er die Reaktion von Versuchsteilnehmern auf einen späteren, wissentlich wahrgenommenen »Zielreiz« beeinflusst.

Wir haben beispielsweise bei einer Reihe von Experimenten unseren Probanden zwei arabische Ziffern zwischen »1« und »9« mit Ausnahme der »5« präsentiert: die erste als maskierten Testreiz, die zweite als Zielreiz. Die Aufgabe lautete, schnellstmöglich den linken oder den rechten Knopf zu drücken, je nachdem, ob die Zielzahl größer oder kleiner als fünf war (siehe Kasten auf der rechten Seite). Wie sich zeigte, kam bei stimmiger Test- und Zielzahl – beide jeweils über oder unter fünf – die richtige Antwort schneller als bei inkongruenten Reizen. Die Reaktion zeugt von einer unbewussten Verarbeitung der »unsichtbaren« Testzahl. Fachleute sprechen von einem maskierten oder unbewussten Priming – der englische Begriff bedeutet unter anderem Instruktion, Vorbereitung.

Auf welcher Stufe aber werden derart dargebotene Testzahlen im Gehirn repräsentiert? Tatsächlich könnte das unbewusste Verarbeiten auf verschiedenen Ebenen der Codierung erfolgen. Die erste Ebene enthielte die rein visuelle Repräsentation des Reizes, etwa die analysierte geometrische Form oder Kontur einer Ziffer wie 2 oder 4; die letzte Ebene enthielte die motorische Repräsentation der beabsichtigten Reaktion, Drücken von einem der Knöpfe etwa mit der rechten Hand. Dazwischen lägen noch die Stufen der lexikalischen Verarbeitung, wo beispielsweise »4« und »vier« demselben Objekt entsprechen, sowie

der Semantik, auf der nur die Menge bezeichneter Elemente codiert wird (siehe Kasten unten auf S. 54). Wie wir nachweisen konnten, bleibt der Priming-Effekt bei jeder Schreibweise erhalten. Die unterschwellige Testzahl erreicht folglich ein Niveau der mentalen Repräsentation, das von ihrer visuellen Form unabhängig ist – eine abstrakte Codierung, bei der nur noch die symbolisierte Menge von Bedeutung ist.

Konflikte mit dem Denken

Unsere Experimente stehen in einer längeren Tradition. Schon seit den 1970er Jahren stehen den Psychologen solche Testverfahren zur unterschweligen, subliminalen Wahrnehmung zur Verfügung. Mittlerweile haben sie bei Gesunden unbewusste kognitive Vorgänge belegt, die ganz verschiedene Arten und Niveaus der Repräsentation betreffen: darunter die visuelle Form, die Schreibweise und den Klang von Wörtern, den emotionalen Gehalt von Bildern oder den Bedeutungsgehalt bestimmter Reize wie Zahlen oder gezeichneter Objekte. Demnach scheinen die meisten Typen mentaler Repräsentationen unbewusst zugänglich zu sein, das heißt, keine davon ist ausschließlich mit bewusster Verarbeitung assoziiert.

Die Versuche zur unterschweligen Wahrnehmung lieferten alles in allem drei wesentliche Erkenntnisse. Die erste lautet: Unbewusste Repräsentationen bestehen nur sehr kurz. Anthony Greenwald und seine Kollegen von der Universität von Washington in Seattle variierten den Zeitabstand zwischen Test- und Zielreiz und wiesen so nach, dass die Priming-Wirkung des ersten nach rund einer Hundertstelsekunde abklingt. Dies unterstreicht den flüchtigen Charakter der unbewussten Repräsentationen. Soll die mentale Verfügbarkeit länger anhalten, muss sie bewusst sein.

Die zweite wesentliche Erkenntnis lautet: Unser Gehirn kann zwar eine beträchtliche Anzahl mehr oder weniger abstrakter Arten von Repräsentationen unbewusst aktivieren; bestimmte Manipulationen damit scheinen aber nur möglich, wenn die Informationen bewusst zugänglich sind. Diesen Grundsatz veranschaulicht eine Versuchsreihe, die Phil Merikle und seine Kollegen von der Universität Waterloo (Kanada) 1995 durchführten.

IN KÜRZE

- ▶ Das wohl faszinierendste Forschungsgebiet der Neurobiologie dreht sich um die Frage, wie Bewusstsein entsteht. Ein Zugang führt über **das Unbewusste**.
- ▶ Mit **wahrnehmungspsychologischen Experimenten** und **moderner Neurobiologie** untersuchen Forscher, wie unser Gehirn auch ohne unser Wissen Informationen aufnimmt und verarbeitet.
- ▶ Anhand der Erkenntnisse konnten sie ein allgemeines Modell unbewusster, aber auch **bewusster Informationsverarbeitung** entwickeln.

Wie maskierte Reize wirken

Die Versuchspersonen bekommen gut sichtbar eine so genannte Zielzahl zwischen eins und neun präsentiert, hier gerade die arabische Ziffer 4. Sie sollen schnellstmöglich entscheiden, ob diese größer oder kleiner als fünf ist und entsprechend einen linken oder rechten Knopf drücken. Ein Computer registriert die Reaktionszeiten und die Anzahl der Fehlversuche (linkes Bildpaar). Im Vergleichsversuch (rechtes Bildpaar) geht der Zielzahl eine »maskierte« Ziffer voraus. Diesen so genannten Testreiz, hier gerade die Ziffer 2, nimmt man nicht bewusst wahr,

weil er sehr kurz zwischen eine Folge von beispielsweise geometrischen Mustern als Bildmaske eingeblendet wird (nicht dargestellt). Das Gehirn nimmt ihn aber unterschwellig wahr und verarbeitet ihn. So antworten die Versuchsteilnehmer schneller, wenn Test- und Zielzahl beide kleiner oder beide größer sind als fünf; liegt eine der beiden Zahlen darunter und die andere darüber, dauert es bis zur Antwort länger. Fachleute sprechen von unbewussten Priming-Effekten, nach dem englischen Begriff für Instruktion, Vorbereitung.



Hierbei boten die Forscher zunächst in zufälliger Folge rote und grüne Vierecke dar, und ihre Versuchspersonen mussten immer so schnell wie möglich die Farbe nennen. Jedem Viereck ging ein diesmal bewusst wahrnehmbarer Hinweisreiz in Form des geschriebenen Wortes »rot« oder »grün« voraus, wobei die Schriftfarbe neutral war. In dieser Situation tritt der nach seinem Entdecker benannte Stroop-Effekt auf: Die Probanden antworten schneller, wenn die Bedeutung des Hinweisworts und die Farbe des Zielreizes übereinstimmen, wie bei der Kombination »grün« – grünes Viereck.

Im inkongruenten Fall, etwa bei der Folge »grün« – rotes Viereck, lässt die Entscheidung länger auf sich warten. Dieses Phänomen beruht auf einem Konflikt zwischen zwei unterschiedlichen Anforderungen: einem automatischen Prozess – dem Lesen des Worts – und einem Denkvorgang, der selektive Aufmerksamkeit erfordert, hier dem Unterdrücken der Information aus dem Farbwort zugunsten der Farbe des Vierecks. Dass das einmal erlernte Lesen im Gegensatz zu kontrollierten, von der Konzentration abhängigen Verarbeitungsprozessen völlig von selbst abläuft, weiß jeder Erwachsene aus eigener Er-

fahrung: Wir lesen ganz unweigerlich alles, was uns unter die Augen kommt.

Dann kam die zweiten Phase des Versuchs: Die Forscher erhöhten den Anteil der nicht kongruenten Wort-Farb-Kombinationen auf 75 Prozent. Die Probanden änderten nun ganz von selbst ihre Strategie. Sie stellten sich darauf ein, die mit dem Wort assoziierte Reaktion zu unterdrücken und immer das Gegenteil zu antworten. Zum Beispiel machten sie sich bereit, »rot« zu antworten, wenn sie »grün« lasen. Dadurch reagierten sie jetzt in nicht kongruenten Fällen schneller als in kongruenten.

Das Unbewusste – keine Vollautomatik

Wir haben es hier mit einem inversen Stroop-Effekt zu tun. Das Interessante daran: Merikle hat diese strategische Umkehrung nur dann beobachtet, wenn die Versuchspersonen den Hinweisreiz bewusst erfassten, wenn er also für die Wahrnehmung genügend lange auf dem Bildschirm erschien. Würde der Reiz dagegen unterschwellig dargeboten, beschleunigte er nur die Antwort, wenn er passte. Man erhielt wieder den klassischen Stroop-Effekt – selbst wenn die Versuchsreihe mehrheitlich nicht kongruente Paare umfasste. Wie dieses Bei-

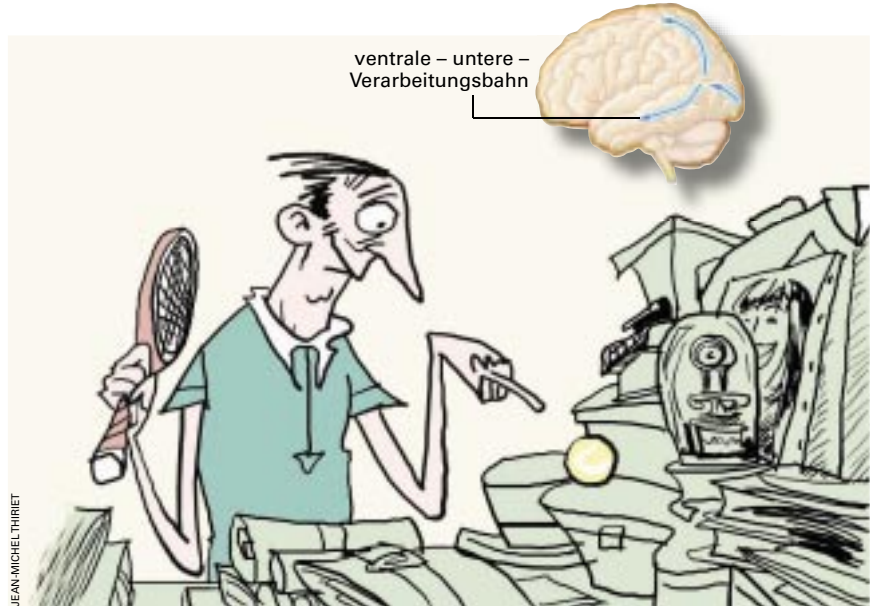
spiel illustriert, sind wir nur dann fähig, eine neue Strategie zu entwickeln und automatische Vorgänge zu unterdrücken, wenn uns die betreffenden Informationen in bewusster Form zur Verfügung stehen.

Kommen wir nun zum dritten gemeinsamen Charakteristikum subliminaler Prozesse. Anders als lange gedacht, spiegelt der Effekt maskierter Testreize nicht zwangsläufig ein völlig automatisches Verarbeiten wider. Vielmehr hängt er von der Aufmerksamkeit der Versuchspersonen ab. So konnten wir zeigen, dass ein maskierter, »unsichtbarer« Testreiz keinerlei Priming mehr bewirkt, wenn der Proband sich nicht vorweg auf das Zeitfenster konzentrieren kann, in dem Test- und Zielreiz kurz hintereinander erscheinen. Die Kanäle zur unbewussten Verarbeitung müssen also von der Versuchsperson beim Erwarten des sichtbaren Zielreizes durch Aufmerksamkeit – und damit bewusst – bereitgestellt werden.

Psychologen interessieren sich zwar vor allem für das unbewusste Verarbeiten von Wörtern, Zahlen und Zeichnungen. Bei etlichen Untersuchungen geht es aber auch um Gesichter, einen Reiz mit hohem emotionalem Gehalt. Seit Langem weiß man, dass bei der Analyse die- ▶

▷ ser Gefühle eine kleine Hirnregion – der Mandelkern – eine entscheidende Rolle spielt. Er gehört zum so genannten limbischen System. Je intensiver die Emotionen, desto aktiver wird der Kern. Dabei reagiert er offenbar empfindlicher auf Furcht als auf Freude.

Im Jahr 1998 untersuchten Paul Whalen und seine Kollegen an der Universität von Wisconsin in Madison, auf welchen anatomischen Grundlagen oder »Korrelaten« die unbewusste Wahrnehmung von Gesichtern im Gehirn beruht. Sie nutzten als bildgebendes Verfahren die funktionelle Kernspintomografie, auch funktionelle Magnetresonanztomografie genannt, die indirekt die Hirnaktivität erfasst. Jeder Proband bekam Fotos menschlicher Gesichter mit neutralem Ausdruck präsentiert, und zwar lange genug, um sie bewusst wahrzunehmen. Vor jedem dieser Bilder wurde für nur 33 Millisekunden ein Gesicht eingeblendet, das ein starkes Gefühl von Furcht oder Freude ausdrückte. Wie die Versuchspersonen versicherten, sahen sie einzig das neutrale Antlitz; der maskierte emotionsgeladene Testreiz ent-



ging ihrer bewussten Wahrnehmung. Dennoch sprang der Mandelkern auf die unterschwellig präsentierten Gesichter an, und dabei erwartungsgemäß vor allem auf diejenigen, die Furcht ausdrückten.

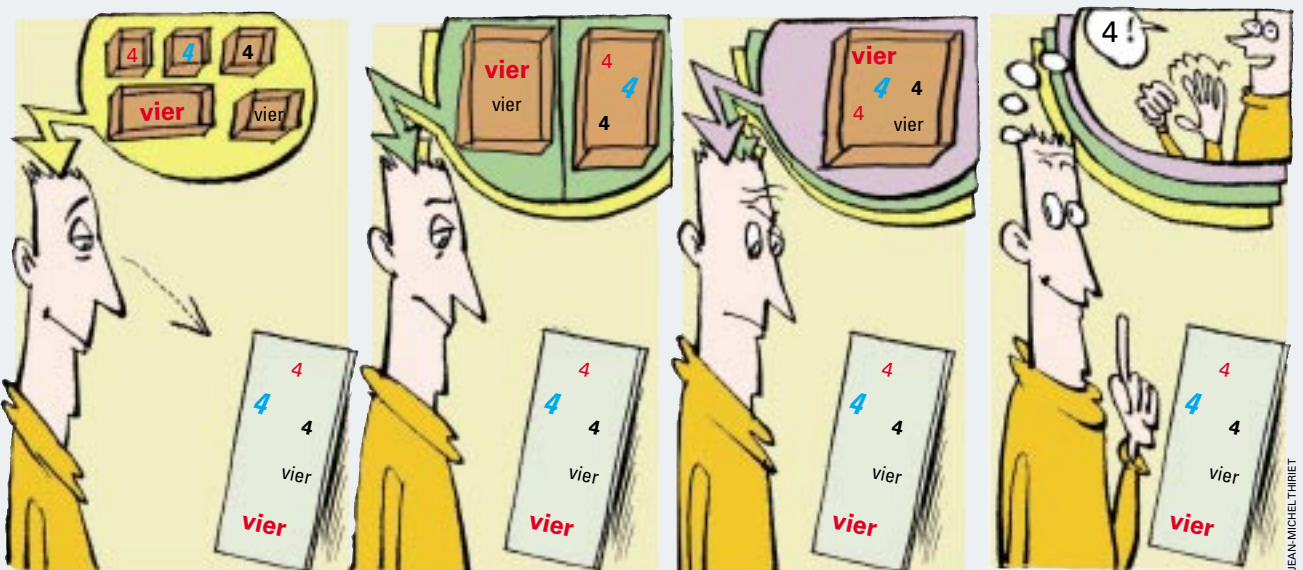
Eine Arbeitsgruppe um John Morris am Institut für kognitive Neurowissen-

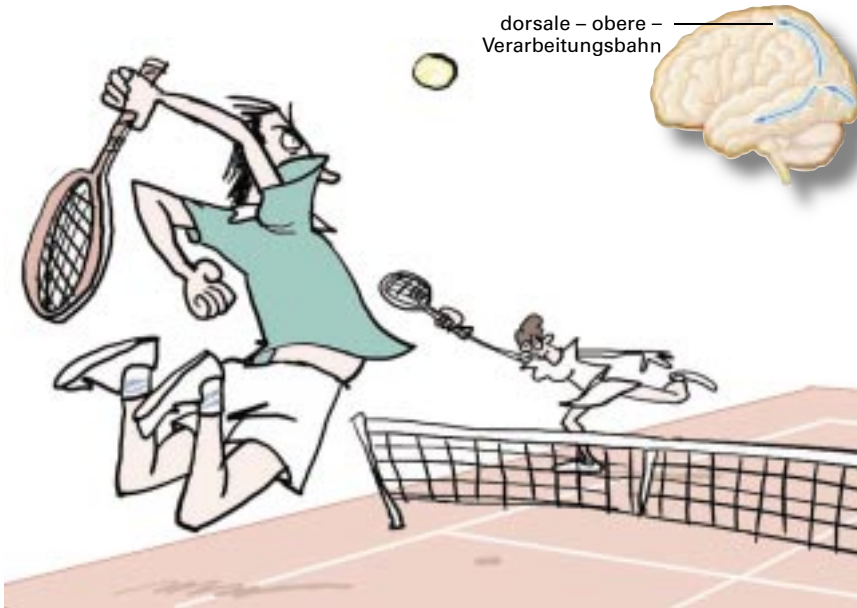
schaften in London fand dann Entsprechendes, ebenfalls per funktioneller MRT. Bei ihren Versuchen reagierte der Mandelkern in der rechten Hirnhälfte auf unterschwellig präsentierte Gesichter, die Angst zeigen. 1999 konnte die Gruppe zudem nachweisen, dass bei diesem unbewussten Wahrnehmungsvor-

Wie Zahlen mental repräsentiert werden

Eine visuelle Information kann im Gehirn auf verschiedenen Codierungsniveaus repräsentiert werden. Auf einer ersten Ebene ist sie in Form der Raumkoordinaten der Objekte verschlüsselt – in diesem Fall der Geometrie und Kontur der Ziffer 4 und des Worts vier. Jedes Objekt steht für sich und wird in der ihm eigenen Weise im Gehirn dargestellt. Danach werden die Ebenen immer abstrakter, repräsentieren beispielsweise die Zah-

len unabhängig von ihrer Farbe, Größe, Form oder Orientierung nur nach der Schreibweise, also als arabische Ziffer oder als Zahlwort. Noch ein Abstraktionsniveau höher werden 4 und Vier als zwei Versionen einer einzigen lexikalischen Einheit erkannt. Die letzte Stufe schließlich repräsentiert die Zahlen nur noch semantisch, also in ihrer Bedeutung: als Menge vier, die zwischen der von drei und fünf liegt.





◀ Jeder visuelle Eindruck, der in der Sehregion am hinteren Pol im Gehirn einläuft, wird über zwei Routen gleichzeitig weiterverarbeitet (Hirnbild). Die Informationen, die über den unteren Weg fließen, dienen dazu, Objekte zu identifizieren. Mit ihrer Hilfe finden wir beispielsweise einen Tennisball zwischen verschiedenem anderem Kram (ganz links). Manches, was der untere Pfad codiert, bleibt jedoch unbewusst. Die visuellen Informationen der oberen Route dienen dazu, unsere Bewegungen zu steuern, etwa bei einem Tennisspiel. Hierbei wird automatisch unsere Position zum Ball berücksichtigt, dessen Geschwindigkeit und unsere Eigenbewegung (links).

gang ein Pfad aktiviert wird, der über die vorderen Hügel der so genannten Vierhügelplatte verläuft. Diese Hirnstruktur befindet sich im oberen Stockwerk des Mittelhirns und verkörpert eine Verarbeitungsinstanz unterhalb der Hirnrinde. Es gibt also sehr wohl – hier mit Gefühlen verbundene – höhere Prozesse, die ablaufen, ohne dass wir uns dessen bewusst wären.

Diese Verhältnisse sind noch mit dem klassischen hierarchischen Modell des Gehirns vereinbar, das der englische Nervenarzt Hughlings Jackson im 19. Jahrhundert aufstellte. Er ging davon aus, dass Bewusstsein auf der Funktion der Hirnrinde, des Cortex, beruht, während tiefer liegende Strukturen wie die Vorderhügel und entwicklungsgeschichtlich ältere wie die Mandelkerne unbewusst Dinge verarbeiten. Wie eine Reihe von Ergebnissen aus den 1990er Jahren zeigte, muss Jacksons Hypothese trotzdem präzisiert werden: Offensichtlich gehen nicht alle Aktivitäten im Cortex stets mit Bewusstsein einher.

Hierzu ein Beispiel: Bei unserem »größer oder kleiner fünf«-Experiment reagierte die motorische Hirnrinde der Probanden bereits auf die unterschwellige Testzahl mit einer beträchtlichen Aktivierung. Sollten die Teilnehmer beispielsweise bei einer Zielzahl größer fünf mit der linken Hand den linken Knopf drücken, und wurde ihnen »9« als maschierte Testzahl präsentiert, versetzten sie unbewusst die motorische Hirnrinde der rechten Hirnhälfte in Bereitschaft, die diese Hand steuert. Obwohl die Probanden die Testzahl nach eigenem Bekun-

den gar nicht wahrnahmen, sah ihr Gehirn also eine Reaktion vor. Demnach können die motorischen Regionen, die bei bewussten Handlungen in Aktion treten, auch unbewusst mobilisiert werden. Anders gesagt: Ihre Aktivierung geht nicht unbedingt mit dem Programmieren und Ausführen bewusster Handlungen einher, und folglich trägt nicht jede Aktivität in der Hirnrinde automatisch zum Bewusstseinsinhalt eines Menschen bei.

Unten nur bewusst – oben unbewusst?

Wie sind diese Erkenntnisse nun in einen theoretischen Rahmen einzuordnen? Seit den Arbeiten von Leslie Ungerleider und Mortimer Mishkin vom National Institute of Mental Health in Bethesda (Maryland) Anfang der 1980er Jahre geht man davon aus, dass es für die weitere Verarbeitung von Seheindrücken zwei untereinander quervernetzte Hauptbahnen gibt:

► Die so genannte ventrale – untere – Route erstreckt sich von Sehregionen des Hinterhauptlappens bis zu Arealen vorne unten im Schläfenlappen (siehe kleines Hirnschema in den Abbildungen oben). Oft auch als »Was«-Schiene bezeichnet, finden entlang diesem Weg in der Hirnrinde immer abstraktere visuelle Erkennungsprozesse statt, die uns Objekte zu identifizieren erlauben, und zwar unabhängig von deren Größe, Position oder Orientierung im Raum.

► Die obere – dorsale – Route verläuft von den hinteren visuellen Regionen bis in die Hirnrinde der Scheitellappen.

Diese auch als »Wo«- oder »Wie«-Schiene bezeichnete Bahn wickelt kurz gesagt unsere motorische Interaktion mit den visuellen Objekten unserer Umwelt ab. Sie ist beispielsweise gefragt, wenn wir Tennis spielen.

Noch immer gehen zahlreiche Experten explizit von einer Dichotomie zwischen Bewusstem und Unbewusstem aus, die zwar an die alte Sicht von Jackson erinnert, aber nicht dessen anatomische Arbeitsteilung zwischen Cortex und subcorticalen Regionen übernimmt. So postulieren David Milner von der Universität Durham in Großbritannien und Melvyn A. Goodale von der Universität West-Ontario in London (Kanada), die »pragmatische« und »schnelle« obere Route des Sehsystems arbeite, ohne dass uns die Ergebnisse der entsprechenden Verarbeitung bewusst werden. Visuelles Bewusstsein entspringe hingegen der neuronalen Aktivität der unteren Route.

Es gilt jedoch, bei dieser unter Neurowissenschaftlern noch recht verbreiteten Ansicht genauer zu differenzieren. Das zeigen wiederum Versuche mit maskierten visuellen Reizen. So präsentierte die Arbeitsgruppe von Edmund Rolls an der Universität Oxford Affen Bilder von Gesichtern. Gleichzeitig erfasste sie mit Elektroden die Reaktion bestimmter Nervenzellen im Gehirn. Trotz subliminaler Darbietung sprangen so genannte Gesichtsnervenzellen in einem unteren Bereich des Schläfenlappens an. Dieses inferiotemporale Areal der Hirnrinde ist Teil der ventralen visuellen Route. Einschränkung muss man jedoch sagen, dass die Reaktion der Zellen schwächer und ▶

▷ kürzer ausfiel als bei normaler Präsentation derselben Gesichter.

In neuerer Zeit konnten auch wir etwas zu diesem Thema beitragen: indem wir beim Menschen die Cortexbereiche der ventralen Route eingrenzten, die unbewusst aktiv werden können. Wie bildgebende Verfahren verriet, werden maskierte gelesene Worte im so genannten fusiformen Gyrus verarbeitet, einer Windung im unteren Bereich von Schläfen- und Hinterhauptslappen. Bei der entsprechenden Studie verglichen wir, welche Hirnregionen beim Lesen eines sichtbaren Worts anspringen und welche durch die unterschwellige Wahrnehmung desselben Worts in Aktion treten (siehe Abbildungen rechts). Schon die maskierten Wörter aktivierten Teile eines Hirnnetzwerks, die bei der visuellen Verarbeitung und wahrscheinlich bei der phonologischen Codierung, also der Vorbereitung des Aussprechens, eine Rolle spielen. Bestimmte Regionen im Scheitel- und Stirnlappen traten dagegen nur dann in Aktion, wenn das Wort bewusst wahrgenommen wird.

Code-Knacken durch Wiederholung

Angesichts dieser und ähnlicher experimenteller Daten lässt sich die Theorie einer Zerteilung zwischen unbewussten »dorsalen« und bewussten »ventralen« Vorgängen bei der visuellen Wahrnehmung nicht halten. Obwohl Aktivitäten der ventralen Route höheren kognitiven Prozessen entsprechen, können sie sich unserem Bewusstsein entziehen. Bei deutlich stärkerer Aktivierung geht aber die Informationsverarbeitung dort anscheinend eher mit einer bewussten Erfahrung einher. Die ventrale Route ist dabei keineswegs für sich allein das »Zentrum« unseres visuellen Bewusstseins. Es müssen offenbar noch andere, weiter entfernte Hirnregionen im Zusammenspiel anspringen.

Bislang haben wir gewisse neurale Korrelate der unbewussten Wahrnehmung beschrieben – was aber ist mit dem Korrelat des unbewussten Primings? Es blieb bis in die 1990er Jahre rätselhaft. Weiter half dann eine Entdeckung von Robert Desimone vom Labor für Neuropsychologie des amerikanischen National Institute of Mental Health und Earl Miller vom Department of Brain and Cognitive Sciences des Massachusetts Institute of Technology in Cambridge. Als die

Die unterschwellige Wahrnehmung eines gedruckten Worts aktiviert Regionen entlang dem ventralen visuellen Pfad, die auf die Analyse der so genannten visuellen Wortform spezialisiert sind. Eine weiter vorne gelegene aktive Zone hilft wahrscheinlich mit, die Aussprache des Worts vorzubereiten. Wird dasselbe Wort bewusst gelesen, reagieren diese Areale sehr viel stärker; zusätzlich tritt eine Reihe weiterer Hirnregionen in Aktion, die ein weitläufiges Netzwerk bilden. Auf den unteren Bildern steigt die Aktivierung von blau nach rot.

Forscher die Aktivität einzelner Nervenzellen im unteren Schläfenareal von Affen aufzeichneten, bemerkten sie, dass einige Neuronen umso schwächer reagieren, je häufiger der visuelle Reiz wiederkehrt. Dabei spielte es keine Rolle, ob man Größe, Orientierung oder eine Reihe anderer Parameter des Objekts veränderte: Die neuronale Antwort ging in derselben Weise zurück. Dieser Effekt – Wiederholungssuppression genannt – schien somit zu signalisieren, dass irgendeine Hirnregion Informationen auf einer objektbasierten Ebene neuronaler Codierung handhabt.

Wie sich dann dank bildgebender Verfahren bei Priming-Experimenten mit identischen Test- und Zielreizen herausstellte, zeigen beim Menschen zahlreiche Hirnregionen diesen Effekt. Dazu gehören der Übergangsbereich zwischen Hinterhaupt- und Schläfenlappenrinde, die Insula (eine Rindenregion, die sich in der Grenzfurche des Schläfenlappens zum Stirn- und Scheitellappen verbirgt), der Scheitellappen, der Präfrontalcortex, der Sehhügel (Thalamus) im Zwischenhirn und weitere graue zentrale Kerne. Die Wiederholungssuppression schien ein verbreitetes Hirnphänomen zu sein, das aus der Codierungsspezifität der Nervenzellen resultiert.

Seitdem nutzen Forscher den Effekt, um zu bestimmen, in welcher Form das Gehirn wahrgenommene Informationen codiert. An Nervenzellen, die derart auf einen gegebenen wiederholten Reiz reagieren, erkennen sie zunächst, dass ihn die Region verarbeitet. Wenn die Funktion dieser Region bekannt ist, kann man ableiten, wie der Reiz dort codiert wird. Auf diese Weise lässt sich am Ende der neuronale Code des Menschen knacken.

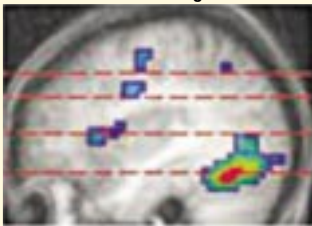


Genau mit dieser Vorgehensweise haben wir auch nachgewiesen, wo die unbewusst wahrgenommenen Testzahlen verarbeitet wurden, wenn es um den Vergleich »größer oder kleiner fünf« ging. Wir entdeckten nämlich Indizien für eine Wiederholungssuppression bei identischer Test- und Zielzahl – und zwar unabhängig von der Schreibweise der beiden (»vier–4« funktionierte beispielsweise ebenso wie »4–4«). Sie fanden sich in einer Rindenregion, die bekanntermaßen Zahlen in abstrakter Form codiert: als die Menge, für die sie stehen.

Mit derselben Methode haben wir auch überprüft, wo im Gehirn die so genannte visuelle Wortform repräsentiert wird. Hierzu mussten unsere Versuchspersonen Zielwörter wie Löwe oder Radio als natürliche beziehungsweise künstliche Objekte klassifizieren – wieder per linkem oder rechtem Knopfdruck. Dem Zielwort ging ein maskiertes Testwort voraus, entweder in Klein- oder Großbuchstaben geschrieben. Wie erwartet reagierten die Teilnehmer schneller, wenn ein identisches Testwort vorausging, und zwar unabhängig von der Schreibweise. Mit Hilfe der funktionellen MRT haben wir hierbei in einem Bereich der linken unteren Schläfenlappenrinde eine Wiederholungssuppres-



bewusste Wahrnehmung



L. NACCACHE UND S. DEHAENE

sion beobachtet. Seit den anatomisch-klinischen Arbeiten des französischen Neurologen Joseph Jules Dejerine im 19. Jahrhundert vermutet man, dass das betreffende Areal – die visuelle Wortformregion – eine Schlüsselrolle bei der Analyse von Buchstabenreihen spielt.

Globalisierung im Gehirn

Die unabhängig von der Schreibweise auftretende Wiederholungssuppression entspricht auf Verhaltensebene dem Priming-Effekt. Wie es also aussieht, springt bei einem gegebenen kognitiven Prozess – zum Beispiel der mentalen Repräsentation einer Buchstabenfolge in Gestalt eines Worts – immer dasselbe Neuronenmodul an, ob das Ganze nun bewusst abläuft oder nicht. Verarbeitet wird ein unterschwellig bemerkter Reiz demnach auf demselben Weg wie sein wissentlich bemerktes Pendant.

Allerdings zeichnet sich die bewusste Wahrnehmung gegenüber der unbewussten in zweierlei Hinsicht aus: Bei ihr werden die betreffenden Hirnregionen stärker und anhaltender aktiviert, zudem wird im engen Zusammenhang damit ein weitläufiges Netz von Hirnarealen mobilisiert.

Aus den inzwischen verfügbaren experimentellen Daten lassen sich mehrere

wichtige theoretische Konzepte ableiten, die gemeinsam bereits den Grundriss einer physiologischen Theorie des Bewusstseins bilden. In jüngster Zeit wurden in diesem Zusammenhang verschiedene Rahmenmodelle vorgeschlagen, die einander jedoch nicht widersprechen, sondern jeweils bestimmte Aspekte dieser »Physiologie des Bewusstseins« betonen.

Was unsere Gruppe angeht, hat sie gemeinsam mit Jean-Pierre Changeux vom Collège de France und Michel Kerszberg vom Institut Pasteur in Paris das Modell des »bewussten globalen Arbeitsraums« erarbeitet. Es beruht auf folgenden Überlegungen:

► In unserem Gehirn laufen jederzeit zahlreiche kognitive Prozesse ab, ohne dass wir auch nur das Geringste davon bemerken.

► Damit sie in unser Bewusstsein dringen, ist Aufmerksamkeit notwendig, aber nicht hinreichend. Denn wie erwähnt, hängt die Wirkung unterschwelliger Testreize ja davon ab, dass man sich aktiv konzentriert.

► Ohne das Bewusstsein einzuschalten, lässt sich eine Reihe kognitiver Aufgaben offenbar nicht erfüllen. Hierzu zählen solche, die es erfordern, dass wir längere Zeit Informationen explizit zugänglich halten, elementare mentale Arbeitsschritte neu kombinieren oder aus eigenem Antrieb zielgerichtet handeln.

Diese psychologischen Eigenschaften könnten durch die Organisationsprinzipien unseres Gehirns bedingt sein. Völlig unbemerkt verarbeiten dort zu jedem Zeitpunkt zahlreiche spezialisierte Prozessoren parallel zueinander Informationen. Die Inhalte dieser Prozesse dringen nur dann zu uns durch, wenn sich die entsprechende neuronale Aktivität, verstärkt durch unsere Aufmerksamkeit, zu einem großräumigen, kohärenten Aktivierungszustand auswächst. Auf diese Weise wird diese Information in einem Netz von Neuronen verfügbar, das sich wohl über das gesamte Gehirn erstreckt – eben jenen globalen Arbeitsraum.

Sofern die »Fernverbindung« zwischen den Nervenzellen für eine bestimmte Mindestdauer erhalten bleibt, sind die Informationen aus einer einzigen Verarbeitungsinstanz somit verschiedenen kognitiven Vorgängen zugänglich: wie Kategorisieren, Speichern im Langzeitgedächtnis, Bewerten, Entscheidungsfindung und Steuerung des willentlichen

Handelns. Genau in diesem Mechanismus dürfte das gesuchte neuronale Korrelat des Bewusstseins bestehen: Wir erfahren ein Objekt dann wissentlich, wenn es in unserem Gehirn allgemein zugänglich ist.

Nach unserem Modell verändert der neuronale Raum, auf dem Bewusstsein basiert, dauernd seine Struktur und Grenzen, da dieselbe Verarbeitungseinheit manchmal für sich allein und unbewusst agiert und manchmal als Teil des globalen Arbeitsraums. Die globale Verfügbarkeit von Information würde unserem Empfinden entsprechen, wenn uns etwas nach eigenen Aussagen bewusst ist. Anatomisch gesehen bilden offenbar mehrere Regionen die unmittelbare neuronale Grundlage des Arbeitsraums: der präfrontale Cortex sowie der vordere Bereich der cingulären Windung (an der Innenseite der Hirnhälften) und die damit verbundenen Areale.

Auf der Basis dieses Modells lassen sich zahlreiche theoretische und philosophische Fragen angehen und vor allem auch der kritischen Überprüfung durch Experimente unterwerfen. Und dies erlaubt wiederum, unseren ersten noch rohen Entwurf weiter zu prüfen, zu ergänzen und zu präzisieren. ◀



Lionel Naccache arbeitet als Neurologe und Neurophysiologe am Hospital La Pitié-Salpêtrière und ist Mitglied der INSERM-Einheit Kognitives Neuroimaging. Geleitet wird sie von **Stanislas Dehaene**, Mathematiker und Kognitionswissenschaftler. Angesiedelt ist diese Einheit am Service Hospitalier Frédéric Joliot in Orsay.



La base cérébrale de la conscience phénoménale visuelle: un approche neurologique. Von L. Naccache in: *Revue Neurologique*, Bd. 160, Nr. 4, S. 395, April 2004

Unconscious masked priming depends on temporal attention. Von L. Naccache et al. in: *Psychological Science*, Bd. 13, Nr. 5, S. 416, 2002

Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. Von S. Dehaene et al. in: *Nature Neuroscience*, Bd. 4, Heft 7, S. 752, 2001

Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. Von S. Dehaene und L. Naccache in: *Cognition*, Bd. 79, Heft1-2, S. 1, 2001

Weblinks zu diesem Thema finden Sie bei www.spektrum.de unter »Inhaltsverzeichnis«.