

Stanislas Dehaene

Denken

Wie das Gehirn
Bewusstsein schafft

Aus dem Englischen
von Helmut Reuter

Knaus

Das Original erschien 2014 unter dem Titel
»Consciousness and the Brain« bei Viking, einem Verlag der
Penguin Group, New York.

Der Verlag weist darauf hin, dass bei Links im Buch zum Zeitpunkt der
Linksetzung keine illegalen Inhalte auf den verlinkten Seiten erkennbar
waren. Auf die aktuelle und zukünftige Gestaltung, die Inhalte oder die
Urheberschaft der verlinkten Seiten hat der Verlag keinerlei Einfluss.
Deshalb distanziert sich der Verlag hiermit ausdrücklich von allen
Inhalten der verlinkten Seiten, die nach der Linksetzung verändert
wurden und übernimmt für diese keine Haftung.



Verlagsgruppe Random House FSC® N001967
Das FSC®-zertifizierte Papier *EOS* für dieses Buch
liefert Salzer Papier, St. Pölten, Austria.

1. Auflage

Copyright der Originalausgabe © Viking Penguin
Copyright der deutschsprachigen Ausgabe © 2014
beim Albrecht Knaus Verlag, München,
in der Verlagsgruppe Random House GmbH
Lektorat: Thomas Bertram
Satz: Buch-Werkstatt GmbH, Bad Aibling
Druck und Einband: GGP Media GmbH, Pößneck
Printed in Germany
ISBN 978-3-8135-0420-0

www.knaus-verlag.de

Inhalt

| | |
|---|-----|
| Einführung: Der Stoff, aus dem Gedanken sind | 7 |
| 1. Kapitel: Bewusstsein erreicht das Labor | 29 |
| 2. Kapitel: Die Tiefen des Unbewussten | 71 |
| 3. Kapitel: Wozu dient Bewusstsein? | 131 |
| 4. Kapitel: Die Signaturen eines bewussten Gedankens | 169 |
| 5. Kapitel: Auf dem Weg zu einer Theorie des Bewusstseins | 233 |
| 6. Kapitel: Der entscheidende Test | 287 |
| 7. Kapitel: Die Zukunft der Bewusstseinsforschung | 335 |
| | |
| Danksagungen | 383 |
| Anmerkungen | 387 |
| Bibliografie | 412 |
| Abbildungsnachweis | 461 |
| Register | 464 |

Einführung: Der Stoff, aus dem Gedanken sind

Tief im Inneren der Höhle von Lascaux, hinter der weltberühmten Halle der Stiere, wo Künstler des Paläolithikums eine bunte Menagerie von Pferden, Rotwild und Stieren gemalt haben, beginnt ein weniger bekannter Korridor, der als Apsis bezeichnet wird. Dort, am Ende einer Höhle von etwa fünf Metern, findet sich neben schönen Zeichnungen eines verwundeten Bisons und eines Nashorns eine der in der prähistorischen Kunst seltenen Abbildungen eines Menschen (Abb. 1). Der Mann liegt mit ausgebreiteten Armen und nach oben gewendeten Handflächen auf dem Rücken. Neben ihm sitzt ein Vogel auf einem Stab. In seiner Nähe liegt ein zerbrochener Speer, der wahrscheinlich dazu verwendet worden ist, den Bison aufzuschlitzen, dessen Eingeweide herabhängen.

Es handelt sich eindeutig um einen Mann, denn sein Penis ist erigiert. Und das, meint der Schlafforscher Michel Jouvet, erhellte die Bedeutung des Bildes: Es zeige einen Träumenden und seinen Traum.¹ Wie Jouvet und sein Team herausgefunden haben, treten Träume vor allem während einer speziellen Schlafphase auf, die sie als »paradox« bezeichnen, weil sie anders aussieht als der normale Schlaf: Während dieser Periode ist das Gehirn fast genauso aktiv wie im Wachzustand, und die Augen bewegen sich unablässig in alle möglichen Richtungen. Bei Männern ist diese Phase ausnahmslos mit einer starken Erektion verbunden (auch wenn der Traum keine sexuellen Aspekte enthält). Obwohl die Wissenschaft diese merkwürdige physiologische Tatsache erst im 20. Jahrhundert zur Kenntnis genommen hat, dürften unsere Vorfahren sie, wie Jouvet scherzhaft anmerkt, problemlos bemerkt haben. Und der Vogel erscheint als die selbstverständlichste Metapher für die Seele des Träumenden – im Traum fliegt der Geist, frei wie ein Vogel, zu fernen Orten und in vergangene Zeiten.



Abb. 1. Der Geist kann fliegen, während der Körper reglos ist. In dieser vor etwa 18 000 Jahren entstandenen prähistorischen Zeichnung liegt ein Mann auf dem Rücken. Wahrscheinlich schläft er und träumt, worauf seine ausgeprägte Erektion hinweist, die charakteristisch ist für den REM-Schlaf, in dem besonders lebhaftere Träume auftreten. Neben ihm hat der Künstler einen ausgeweideten Bison und einen Vogel gemalt. Der Schlaf-forscher Michel Jouvet meint, dies könne eine der ersten Darstellungen eines Träumenden und seines Traumes sein. In vielen Kulturen symbolisiert der Vogel die Fähigkeit des Menschen, in seinen Träumen zu fliegen – eine Vorahnung des Dualismus, der irrigen Anschauung, dass Gedanken einem anderen Reich als dem des Körpers angehören.

Gäbe es in der Kunst und in der Symbolik aller möglichen Kulturen nicht bemerkenswert häufig Darstellungen von Schlaf, Vögeln, Seelen und Erektionen, könnte man diese Vorstellung für weit hergeholt halten. Im Alten Ägypten symbolisierte ein oft mit einem erigierten Phallus abgebildeter Vogel mit menschlichem Kopf den Ba, die immaterielle Seele. In jedem Menschen, so hieß es, hause ein unsterblicher Ba, der nach dem Tod des Menschen ausfliege, um das Jenseits zu suchen. Eine herkömmliche Darstellung des großen Gottes Osiris, die der Malerei in der

Apsis von Lascaux auf unheimliche Weise ähnelt, zeigt ihn auf dem Rücken liegend, mit erigiertem Penis, während die Eule Isis über seinem Körper schwebt und sein Sperma aufnimmt, um Horus zu zeugen. Ähnlich wird die Seele in den *Upanishaden*, den heiligen Texten der Hindus, als Taube dargestellt, die beim Tod davonfliegt und als Geist zurückkehren kann. Jahrhunderte später hat man Tauben und andere Vögel mit weißen Schwingen als Symbol für die christliche Seele, den Heiligen Geist und die auf die Erde kommenden Engel gewählt. Vom ägyptischen Phönix, dem Symbol der Auferstehung, bis hin zum finnischen Sielulintu, dem Seelenvogel, der den Neugeborenen eine Seele bringt und sie den Sterbenden nimmt, treten fliegende Geister als universelle Metapher für den autonomen Geist auf.

Hinter der Allegorie des Vogels steht eine Anschauung: Der Stoff, aus dem unsere Gedanken sind, unterscheidet sich grundsätzlich von der niederen Materie, die unseren Körper bildet. Im Traum, wenn der Körper regungslos daliegt, wandern die Gedanken in die fernen Reiche der Fantasie und der Erinnerung. Könnte es einen besseren Beweis dafür geben, dass mentale Aktivität nicht auf die materielle Welt zu reduzieren ist? Dass der Geist aus einem eigenen Stoff besteht? Wie könnte der frei fliegende Geist je aus einem erdgebundenen Gehirn hervorgegangen sein?

Descartes' Herausforderung

Die Vorstellung, der Geist gehöre einem separaten Reich an, wurde in wichtigen philosophischen Texten schon früh theoretisch abgehandelt, etwa in Platons *Timaios* (4. Jahrhundert v. Chr.) und in Thomas von Aquins *Summa Theologica* (1265–1274), einem für das christliche Verständnis der Seele grundlegenden Text. Doch es war der französische Philosoph René Descartes (1596–1650), der explizit festhielt, was heute als Dualismus bekannt ist: die These, wonach der bewusste Geist aus einer im-

materiellen Substanz besteht, die sich den normalen Gesetzen der Physik entzieht.

In den Neurowissenschaften ist es zur Mode geworden, sich über Descartes lustig zu machen. Nach Antonio Damasio Bestseller *Descartes' Irrtum* aus dem Jahr 1994² haben viele zeitgenössische Lehrbücher damit angefangen, auf Descartes einzuprügeln, weil er die Forschung der Neurowissenschaften angeblich um Jahre zurückgeworfen habe. In Wahrheit war Descartes jedoch ein bahnbrechender Wissenschaftler und letztlich ein Reduktionist, dessen mechanistische Analyse des menschlichen Geistes, ihrer Zeit weit voraus, die erste Übung in synthetischer Biologie und theoretischer Modellbildung darstellte. Descartes' Dualismus war keine Laune des Augenblicks – sie beruhte auf einem logischen Argument, das behauptete, eine Maschine könne niemals imstande sein, die Freiheit des bewussten Geistes nachzuahmen.

Der Begründer der modernen Psychologie, William James, erkennt an, was wir ihm verdanken: »Descartes kommt das Verdienst zu, als Erster kühn genug gewesen zu sein, sich einen vollkommen selbstgenügsamen Nervenmechanismus vorzustellen, der in der Lage sein sollte, komplizierte und erkennbar intelligente Handlungen zu vollziehen.«³ Tatsächlich hat Descartes in visionären Abhandlungen mit den Titeln *Description du corps humain*, *Die Leidenschaften der Seele* und *Abhandlung über den Menschen* eine entschieden mechanistische Sicht auf die inneren Vorgänge des Körpers vorgestellt. Wir seien ausgeklügelte Automaten, schrieb dieser kühne Philosoph. Unser Körper und unser Gehirn verhalten sich demnach wie eine Anordnung von »Organen«: wie Musikinstrumente, ähnlich denen, die in den Kirchen seiner Zeit zu finden waren; mit großen Blasebälgen, die eine besondere Flüssigkeit, die »Lebensgeister«, zunächst in Vorratsbehälter zwingen und dann den unterschiedlichsten Pfeifen zuführen, deren Kombinationen all die Rhythmen und Melodien unserer Handlungen erzeugen.

»Ich wünsche, dass man schließlich aufmerksam beachte, dass alle Funktionen, die ich dieser Maschine zugeschrieben habe, z.B. die Verdauung der Nahrung, das Schlagen des Herzens und der Arterien, die Ernährung und das Wachstum der Glieder, die Atmung, das Wachen, Schlafen, die Aufnahme des Lichtes, der Töne, der Gerüche, des Geschmacks, der Wärme und anderer solcher Qualitäten über die äußeren Sinnesorgane, den Eindruck ihrer Wahrnehmungen auf das Organ des Sensus communis und der Einbildungskraft, die Zurückhaltung oder Verankerung dieser Ideen im Gedächtnis, die inneren Bewegungen des Appetits und der Gemütsbewegungen und schließlich die äußeren Bewegungen aller Glieder, die sowohl den Bewegungen der Objekte, die sich den Sinnen darbieten, in passender Weise so folgen ... man bedenke, dass die Funktionen in dieser Maschine alle von Natur aus allein aus der Disposition ihrer Organe hervorgehen, nicht mehr und nicht weniger, als die Bewegungen einer Uhr oder eines anderen Automaten von der Anordnung ihrer Gewichte und ihrer Räder abhängen.«⁴

Descartes' hydraulisches Gehirn hatte kein Problem damit, die Hand zu einem Objekt zu bewegen. Die visuellen Merkmale des Objekts, die auf die innere Oberfläche des Auges einwirkten, aktivierten eine spezielle Anordnung von Röhren. Ein in der Zirbeldrüse lokalisiertes inneres System der Entscheidungsfindung neigte sich daraufhin in eine bestimmte Richtung, womit die Lebensgeister zu fließen begannen und genau die passende Bewegung der Glieder auslösten (Abb. 2). Erinnerung entsprach der selektiven Verstärkung einiger dieser Leitungen – eine kluge Vorwegnahme der zeitgenössischen Vorstellung, dass Lernen auf Veränderungen der Verschaltungen des Gehirns beruht (»Neuronen, die gemeinsam feuern, bilden gemeinsame Leitungsbahnen«). Descartes präsentierte sogar ein explizit mechanistisches Modell des Schlafes, den er sich als reduzierten Druck der Lebensgeister vorstellte. Wenn die Quelle der Lebensgeister üppig

sprudelte, zirkulierten sie durch alle Nerven, und diese unter Druck stehende Maschine, bereit, auf jeglichen Reiz zu reagieren, lieferte ein akkurates Modell des Wachzustandes. Wenn der Druck schwächer wurde, was den Lebensgeistern nur noch erlaubte, wenige Fasern zu bewegen, schief die Person ein.

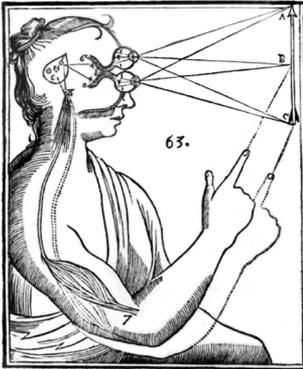
Descartes schloss seine Abhandlung mit einem lyrischen Appell an den Materialismus – was ziemlich überraschend war, weil er aus der Feder des Begründers des Substanzdualismus stammte:

»Daher ist es in keiner Weise erforderlich, hier für diese (die Maschine) eine vegetative oder sensitive Seele oder ein anderes Bewegungs- und Lebensprinzip anzunehmen als ihr Blut und ihre Spiritus, die durch die Hitze des Feuers bewegt werden, das dauernd in ihrem Herzen brennt und das keine andere Natur besitzt als alle Feuer, die sich in unbeseelten Körpern befinden.«

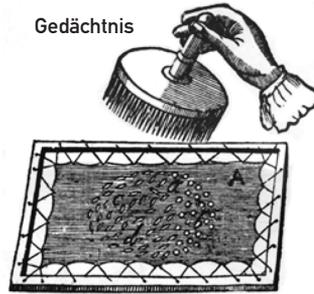
Doch warum bekräftigte Descartes dann die Existenz einer immateriellen Seele? Weil ihm klar wurde, dass sein mechanistisches Modell keine materialistische Erklärung für die höheren Fähigkeiten des menschlichen Geistes liefern konnte.⁵ Zwei wichtige mentale Funktionen schienen für immer außerhalb der Möglichkeiten seiner Körpermaschine zu liegen. Das war einmal die Fähigkeit, ihre Gedanken mittels der Sprache mitzuteilen. Descartes konnte nicht erkennen, wie eine Maschine je imstande sein sollte, »Wörter oder Zeichen zum Gebrauch zusammenzusetzen, so wie wir es tun, um unsere Gedanken anderen zu erläutern«. Reflexhafte Schreie stellten kein Problem dar, da eine Maschine stets so konstruiert werden konnte, dass sie als Reaktion auf eine spezielle Eingabe spezielle Töne von sich gab; doch wie sollte eine Maschine in der Lage sein, auf eine Frage zu antworten, »wie das selbst der stumpfsinnigste Mensch vermag«?

Die zweite mentale Funktion, die ein Problem darstellte, war flexibles Nachdenken. Eine Maschine ist eine festgelegte Vor-

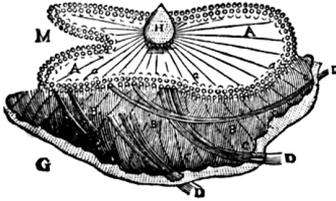
Sehen und Handeln



Gedächtnis



Wachzustand



Schlaf

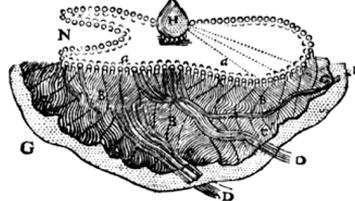


Abb. 2. René Descartes' Theorie des Nervensystems lieferte keine vollkommen materialistische Konzeption des Denkens. In der *Abhandlung über den Menschen*, die 1664 posthum veröffentlicht wurde, sah Descartes voraus, dass Sehen und Handeln aus einer entsprechenden Anordnung der Verbindung zwischen dem Auge, der Zirbeldrüse im Gehirn und den Armmuskeln hervorgehen könnten. Er stellte sich das Gedächtnis als selektive Verstärkung dieser Verbindungswege vor – ähnlich Löchern, die in ein Gewebe gestanzt werden. Sogar Fluktuationen des Bewusstseins konnten durch Variationen im Druck der Lebensgeister erklärt werden, welche die Zirbeldrüse bewegen: Hoher Druck führte zum Wachzustand, niedriger Druck zum Schlaf. Trotz seiner mechanistischen Einstellung glaubte Descartes, Seele und Körper bestünden aus unterschiedlichen Arten von Materie, die durch die Zirbeldrüse miteinander in Wechselwirkung träten.

richtung, die nur starr – »entsprechend der Anordnung ihrer Organe« – handeln kann. Wie sollte sie je eine unendliche Vielfalt von Gedanken hervorbringen können? »Es ist moralisch unmöglich, dass es deren so viele in einer Maschine gibt, um in allen

Vorkommnissen des Lebens so zu handeln, wie wir es durch die Vernunft können.«

Descartes' Herausforderungen an den Materialismus gelten bis heute. Wie könnte eine Maschine wie das Gehirn sich je verbal äußern – mit all den Feinheiten der menschlichen Sprache – und über seine eigenen mentalen Zustände nachdenken? Und wie könnte es in flexibler Weise vernünftige Entscheidungen treffen? Mit diesen entscheidenden Fragen muss sich jede Wissenschaft vom Bewusstsein beschäftigen.

Das letzte Problem

Wir Menschen können viele Lichtjahre entfernte Galaxien ausfindig machen und Teilchen untersuchen, die kleiner sind als ein Atom, doch die Geheimnisse der drei Pfund Materie, die zwischen unseren Ohren liegt, haben wir immer noch nicht entschlüsselt.

*Barack Obama anlässlich der Ankündigung
der BRAIN-Initiative (2. April 2013)*

Dank Euklid, Karl Friedrich Gauß und Albert Einstein verfügen wir über ein vernünftiges Verständnis der mathematischen Prinzipien, welche die physikalische Welt beherrschen. Auf den Schultern solcher Giganten wie Isaac Newton und Edwin Hubble stehend, verstehen wir, dass unsere Erde lediglich ein Staubkorn innerhalb von Milliarden Galaxien ist, die aus einer ersten Explosion, dem Big Bang, hervorgegangen sind. Und Charles Darwin, Louis Pasteur, James Watson und Francis Crick haben uns gezeigt, dass das Leben aus Milliarden in der Evolution entstandenen chemischen Reaktionen besteht – alles nichts als reine Physik.

Allein die Geschichte der Entstehung des Bewusstseins scheint in mittelalterlicher Dunkelheit zu verbleiben. Wie denke ich? Was ist dieses »Ich«, das anscheinend das Denken vollbringt? Wäre ich anders, wenn ich zu einer anderen Zeit, an einem an-

deren Ort oder in einem anderen Körper zur Welt gekommen wäre? Wohin gehe ich, wenn ich einschlafe, träume und sterbe? Geht all das aus meinem Gehirn hervor? Oder bin ich zum Teil ein Geist, der aus einem eigenen Stoff des Denkens besteht?

Diese irritierenden Fragen haben so manchen hellen Kopf in Schwierigkeiten gebracht. Der französische Humanist Michel de Montaigne beklagte sich im Jahr 1580 in einem seiner berühmten Essays, dass er in dem, was frühere Denker über die Natur der Seele geschrieben hätten, keinen Zusammenhang erkennen könne – sie alle seien sowohl hinsichtlich ihrer Natur als auch ihres Sitzes im Körper unterschiedlicher Ansicht: »Hippokrates und Herophilos siedeln sie in der Gehirnkammer an; Demokrit und Aristoteles verteilen sie über den ganzen Körper, Epikur weist ihr den Bauch zu, die Stoiker bringen sie am und im Herzen unter, (...) Empedokles in den Adern; (...) Galen meinte, jeder Körperteil habe seine eigene Seele, und Straton sah ihren Sitz zwischen den beiden Augenbrauen.«⁶

Das ganze 19. und 20. Jahrhundert hindurch lag die Frage nach dem Bewusstsein außerhalb der Grenzen normaler Wissenschaft. Es war ein verschwommenes, unzureichend definiertes Gebiet, dessen Subjektivität es für immer außerhalb der Reichweite objektiver experimenteller Untersuchung platzierte. Viele Jahre lang wollte kein seriöser Forscher das Problem in Angriff nehmen: Spekulationen über das Bewusstsein waren ein toleriertes Hobby für den alternden Wissenschaftler. In seinem Lehrbuch *Psychology, the Science of Mental Life* (1962) schlug George Miller, der Begründer der kognitiven Psychologie, einen offiziellen Bann vor: »Bewusstsein ist ein Wort, das von einer Million Zungen abgenutzt worden ist. (...) Vielleicht sollten wir das Wort für ein oder zwei Jahrzehnte verbannen, bis wir präzisere Begriffe für die verschiedenen Verwendungen entwickeln können, die von ›Bewusstsein‹ im Augenblick verdunkelt werden.«

Und es wurde verbannt. Als Student entdeckte ich Ende der 1980er-Jahre zu meiner Überraschung, dass wir das B-Wort bei Laborkonferenzen nicht verwenden durften. Selbstverständlich

untersuchten wir alle auf die eine oder andere Weise das Bewusstsein, wenn wir Probanden baten, das eben Gesehene in Kategorien einzuordnen oder im Dunkeln mentale Vorstellungen zu entwickeln. Das Wort selbst allerdings blieb tabu: Es wurde in keiner seriösen wissenschaftlichen Publikation verwendet. Sogar als Forscher kurze Bilder an der Schwelle bewusster Wahrnehmung der Probanden aufleuchten ließen, hielten sie nur ungern fest, ob die Teilnehmer die Stimuli sahen oder nicht. Abgesehen von wenigen wichtigen Ausnahmen⁷ herrschte allgemein das Gefühl vor, die psychologische Wissenschaft werde nicht bereichert, wenn man den Ausdruck *Bewusstsein* verwende. In der sich herausbildenden positiven Kognitionswissenschaft sollten mentale Vorgänge allein in Begriffen der Informationsverarbeitung und deren molekularer und neuronaler Umsetzung beschrieben werden. Bewusstsein war unzureichend definiert, nicht notwendig und überholt.

In den späten 1980er-Jahren änderte sich dann alles. Heute findet sich das Problem des Bewusstseins an der vordersten Front der neurowissenschaftlichen Forschung. Es ist ein aufregendes Feld mit eigenen wissenschaftlichen Gesellschaften und Fachzeitschriften. Und man fängt an, Descartes' zentrale Herausforderungen anzugehen – etwa, wie unser Gehirn eine subjektive Perspektive generiert, die wir flexibel nutzen und anderen mitteilen können. Dieses Buch erzählt, wie es zu dieser Wende kam.

Das Bewusstsein wird geknackt

In den vergangenen 20 Jahren haben die Fachgebiete Kognitionswissenschaft, Neurophysiologie und funktionelle Gehirndarstellung einen fundierten empirischen Angriff auf das Bewusstsein organisiert. Dadurch hat das Problem seinen spekulativen Status verloren und ist zu einem Gegenstand experimentellen Einfallsreichtums geworden.

In diesem Buch möchte ich sehr detailliert die Strategie nach-

zeichnen, die ein philosophisches Mysterium in ein Laborphänomen verwandelt hat. Dieser Wandel wurde durch drei fundamentale Zutaten ermöglicht: die Formulierung einer besseren Definition von Bewusstsein; die Entdeckung, dass das Bewusstsein experimentell manipuliert werden kann; und eine neue Achtung vor subjektiven Phänomenen.

Das Wort *Bewusstsein* ist im allgemeinen Sprachgebrauch mit unscharfen Bedeutungen befrachtet, die ein breites Spektrum komplexer Erscheinungen abdecken. Unsere erste Aufgabe wird also darin bestehen, Ordnung in diesen verworrenen Stand der Dinge zu bringen. Wir müssen unseren Gegenstand auf einen genau umrissenen Bereich verengen, der präzisen Experimenten unterzogen werden kann. Wie wir sehen werden, unterscheidet die aktuelle Wissenschaft vom Bewusstsein mindestens drei Vorstellungen: Vigilanz – der Wachzustand, der sich verändert, wenn wir einschlafen oder aufwachen; Aufmerksamkeit – sie fokussiert unsere mentalen Ressourcen auf eine spezifische Information; und bewusster Zugang – die Tatsache, dass einiges von der beachteten Information schließlich unsere bewusste Wahrnehmung erreicht und anderen mitgeteilt werden kann.

Als eigentliches Bewusstsein zählt, wie ich darlegen werde, der bewusste Zugang – die einfache Tatsache, dass gewöhnlich alles, worauf wir im wachen Zustand unsere Aufmerksamkeit richten, bewusst werden kann. Weder Vigilanz noch Aufmerksamkeit allein reicht dazu aus. Wenn wir vollkommen wach und aufmerksam sind, können wir manchmal ein Objekt sehen und anderen mitteilen, was wir wahrgenommen haben. Doch manchmal können wir das nicht – vielleicht war das Objekt zu undeutlich, oder es blitzte zu kurz auf, um sichtbar zu sein. Im ersten Fall heißt es, uns gelinge der *bewusste Zugang*, im zweiten gelingt er uns angeblich nicht (obwohl unser Gehirn, wie wir noch sehen werden, die Information vielleicht unbewusst verarbeitet).

In der neuen Wissenschaft vom Bewusstsein ist der bewusste Zugang ein gut definiertes und von Vigilanz und Aufmerksamkeit getrenntes Phänomen. Zudem kann es problemlos im Labor

untersucht werden. Wir kennen inzwischen Dutzende Möglichkeiten, wie ein Stimulus die Grenze zwischen nicht wahrgenommen und wahrgenommen oder zwischen unsichtbar und sichtbar überschreiten kann. Dadurch können wir sondieren, was diese Überschreitung im Gehirn verändert.

Bewusster Zugang ist auch das Tor zu komplexeren Formen bewusster Erfahrung. In der Alltagssprache vereinen wir unser Bewusstsein oft mit unserem Selbstgefühl – wodurch das Gehirn einen Standpunkt schafft, ein »Ich«, das von einem bestimmten Aussichtspunkt aus auf seine Umgebung blickt. Bewusstsein kann auch rekursiv sein: Unser »Ich« kann auf sich selbst blicken, seine eigene Leistung beurteilen und sogar wissen, wann es etwas nicht weiß. Die gute Nachricht lautet, dass selbst diese höheren Bedeutungen von Bewusstsein für Experimente nicht mehr unzugänglich sind. Im Labor haben wir zu quantifizieren gelernt, was das »Ich« im Hinblick sowohl auf die äußere Umgebung als auch auf sich selbst empfindet und mitteilt. Wir können das Selbstgefühl sogar so weit manipulieren, dass Probanden ein außerkörperliches Erlebnis haben, während sie in einem Magnetresonanztomographen liegen.

Manche Philosophen glauben dennoch, dass keine der oben genannten Vorstellungen ausreichen wird, das Problem zu lösen. Ihrer Ansicht nach liegt der Kern des Problems in einem anderen Sinn von Bewusstsein, den sie als »phänomenales Gewahrsein« bezeichnen: das in uns allen vorhandene intuitive Gefühl, unsere inneren Erfahrungen besäßen exklusive Eigenschaften – einzigartige Qualia wie die einmalige Schärfe von Zahnschmerzen oder das unnachahmliche Grün eines frischen Blattes. Diese inneren Qualitäten, behaupten sie, könnten nie auf eine wissenschaftliche neuronale Beschreibung reduziert werden; sie seien ihrer Natur nach persönlich und subjektiv, weshalb sie sich jeder erschöpfenden verbalen Mitteilung an andere widersetzen. Ich bin jedoch anderer Ansicht und meine, dass die Vorstellung von einem phänomenalen Bewusstsein, das sich von bewusstem Zugang unterscheidet, äußerst irreführend ist und Gefahr läuft,

in den Dualismus abzugleiten. Wir sollten mit dem Einfachen anfangen und zunächst den bewussten Zugang untersuchen. Sobald wir geklärt haben, wie eine beliebige sensorische Information Zugang zu unserem Geist finden und mitteilbar werden kann, wird das unüberwindliche Problem unserer unauslöschlichen Erfahrungen verschwinden.

Sehen oder nicht sehen

Bewusster Zugang ist auf trügerische Weise trivial: Wir richten unsere Augen auf ein Objekt, und scheinbar augenblicklich werden uns Form, Farbe und Art des Gegenstandes bewusst. Doch hinter unserer sinnlichen Wahrnehmung verbirgt sich eine komplizierte Lawine von Gehirnaktivitäten, an denen Milliarden visuelle Neuronen beteiligt sind; es kann fast eine halbe Sekunde dauern, bis diese Aktivitäten abgeschlossen sind und sich Bewusstsein einstellt. Wie können wir diese lange Verarbeitungskette analysieren? Wie können wir erkennen, welcher Teil rein unbewussten und automatischen Funktionen entspricht, und welcher Teil zu unserem bewussten Gefühl des Sehens führt?

An dieser Stelle kommt die zweite Komponente der modernen Wissenschaft vom Bewusstsein ins Spiel: Mittlerweile verfügen wir über einen starken experimentellen Zugang zu den Mechanismen der bewussten Wahrnehmung. In den vergangenen 20 Jahren haben Kognitionswissenschaftler eine erstaunliche Vielfalt von Möglichkeiten entdeckt, das Bewusstsein zu manipulieren. Selbst eine winzige Veränderung der Versuchsanordnung kann uns dazu bringen, zu sehen oder nicht zu sehen. Wir können ein Wort so kurz aufleuchten lassen, dass Beobachter es nicht sehen. Wir können eine sorgfältig überfrachtete visuelle Szene erschaffen, in der eine Komponente für den Probanden völlig unsichtbar bleibt, weil die anderen Komponenten im inneren Wettstreit um die bewusste Wahrnehmung stets gewinnen. Wir können auch die Aufmerksamkeit ablenken: Wie jeder

Zauberer weiß, kann eine offensichtliche Bewegung vollkommen unsichtbar werden, wenn die Gedanken des Zuschauers in eine andere Richtung gelenkt werden. Und wir können Gehirne sogar veranlassen, die Zauberei selbst auszuführen: Wenn jedem Auge ein anderes Bild präsentiert wird, oszilliert das Gehirn spontan und lässt einen mal das eine, mal das andere Bild wahrnehmen, aber nie beide zugleich.

Das wahrgenommene Bild, das es ins Bewusstsein schafft, und das unterlegene Bild, das im unbewussten Vergessen verschwindet, können sich auf der Eingabeseite minimal unterscheiden. Doch im Gehirn muss dieser Unterschied verstärkt werden, weil man am Ende nur von dem einen, nicht aber von dem anderen sprechen kann. Herauszufinden, wo und wann diese Verstärkung genau vonstatten geht, ist Gegenstand der neuen Wissenschaft vom Bewusstsein.

Die experimentelle Strategie, einen minimalen Kontrast zwischen bewusster und unbewusster Wahrnehmung zu erzeugen, war die entscheidende Idee – mit ihr sind die Türen zu dem vermeintlich unzugänglichen Heiligtum des Bewusstseins weit aufgestoßen worden.⁸ Im Lauf der Jahre haben wir viele passende experimentelle Gegenüberstellungen entdeckt, bei denen eine Variante zu bewusster Wahrnehmung führte, die andere nicht. Das entmutigende Problem des Bewusstseins war auf das experimentelle Ziel reduziert worden, jene Gehirnmechanismen zu entschlüsseln, die sich aus zwei unterschiedlichen Versuchsanordnungen ergeben – ein sehr viel leichter zu bearbeitendes Problem.

Verwandlung von Subjektivität in Wissenschaft

Diese Forschungsstrategie war recht einfach, hing jedoch von einem umstrittenen Schritt ab, den ich persönlich für den dritten zentralen Bestandteil der neuen Wissenschaft vom Bewusstsein halte – subjektive Schilderungen ernst zu nehmen. Es reichte nicht aus, Probanden mit zwei Typen visueller Stimuli zu kon-

frontieren; als Versuchsleiter mussten wir sorgfältig aufzeichnen, was sie davon hielten. Die Selbstbeobachtung des Probanden war entscheidend – erst sie definierte das Phänomen, das wir untersuchen wollten. Wenn der Versuchsleiter ein Bild sehen konnte, der Teilnehmer aber verneinte, es zu sehen, dann zählte die Antwort des Letzteren – das Bild musste als unsichtbar gewertet werden. Damit waren Psychologen gezwungen, möglichst genaue neue Möglichkeiten zur Aufzeichnung subjektiver Introspektion zu finden.

Für die Psychologie war diese Betonung des Subjektiven eine Revolution. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts hatten Behavioristen wie John B. Watson (1878–1958) die Introspektion nachdrücklich aus der Psychologie verbannt:

»Aus Sicht des Behavioristen ist die Psychologie ein rein objektiver experimenteller Zweig der Naturwissenschaft. Ihr theoretisches Ziel ist die Vorhersage und Kontrolle von Verhalten. Introspektion stellt keinen wesentlichen Bestandteil ihrer Methoden dar, und der wissenschaftliche Wert ihrer Daten hängt nicht von der Bereitschaft ab, mit der sie sich für eine Interpretation in Begriffen des Bewusstseins heranziehen lassen.«⁹

Obwohl der Behaviorismus selbst schließlich ebenfalls verworfen wurde, hat er ein dauerhaftes Zeichen hinterlassen: Das ganze 20. Jahrhundert hindurch blieb jeglicher Rückgriff auf Selbstbeobachtung in der Psychologie höchst verdächtig. Ich meine jedoch, dass diese dogmatische Position absolut falsch ist. Sie fasst zwei unterschiedliche Fragen zusammen: Selbstbeobachtung oder Introspektion als Forschungsmethode und Selbstbeobachtung als Lieferant von Rohdaten. Der Introspektion als Forschungsmethode kann man nicht vertrauen.¹⁰ Offenkundig können wir nicht darauf zählen, dass naive Probanden uns mitteilen, wie ihr Denken funktioniert, denn sonst wäre unsere Wissenschaft zu einfach. Und wir sollten ihre subjektiven Erfahrungen nicht zu wörtlich nehmen – etwa, wenn sie behaupten, eine

außerkörperliche Erfahrung gemacht und zur Zimmerdecke geflogen oder im Traum ihrer Großmutter begegnet zu sein. Doch in gewissem Sinne muss man auch so bizarren Introspektionen vertrauen: Sofern das Subjekt nicht lügt, entsprechen sie echten mentalen Ereignissen, die nach einer Erklärung verlangen.

Subjektive Schilderungen sind vielmehr als Rohdaten anzusehen.¹¹ Wenn jemand behauptet, eine außerkörperliche Erfahrung gemacht zu haben, so *fühlt* er sich ja wirklich zur Decke gehoben, und wir werden über keine Wissenschaft vom Bewusstsein verfügen, wenn wir uns nicht ernsthaft der Frage widmen, warum solche Gefühle auftreten. Tatsächlich nutzt die neue Wissenschaft vom Bewusstsein in großem Umfang rein subjektive Phänomene, wie zum Beispiel visuelle Illusionen, falsch wahrgenommene Bilder, psychiatrische Wahnvorstellungen und andere Ausgeburten der Fantasie. Nur diese Ereignisse erlauben uns, objektive physische Reize von subjektiver Wahrnehmung zu unterscheiden und deshalb nicht nach Korrelaten der Ersteren, sondern nach Korrelaten der Letzteren im Gehirn zu suchen. Nichts erfreut uns Wissenschaftler des Bewusstseins mehr als eine neue visuelle Vorführung, die subjektiv entweder gesehen oder nicht gesehen wird, oder ein Ton, der manchmal als hörbar und manchmal als unhörbar geschildert wird. Solange wir bei jedem Durchgang sorgfältig aufzeichnen, was unsere Probanden fühlen, sind wir im Geschäft, weil wir dann die Durchläufe nach bewussten und unbewussten sortieren und nach Aktivitätsmustern im Gehirn suchen können, in denen sie sich unterscheiden.

Signaturen bewusster Gedanken

Diese drei Komponenten – Konzentration auf den bewussten Zugang, Manipulation bewusster Wahrnehmung und sorgfältige Aufzeichnung der Selbstbeobachtung – haben das Studium des Bewusstseins in eine normale experimentelle Wissenschaft ver-

wandelt. Wir können sondieren, in welchem Ausmaß ein Bild, von dem Menschen behaupten, es nicht bemerkt zu haben, in Wahrheit vom Gehirn verarbeitet wird. Wie wir noch sehen werden, läuft unter der Oberfläche unseres bewussten Denkens eine eindrucksvolle Menge unbewusster Verarbeitung ab. Forschung mithilfe unterschwelliger Bilder hat eine solide Plattform geschaffen, auf der die Gehirnmechanismen bewusster Erfahrung untersucht werden können. Mit modernen bildgebenden Verfahren für das Gehirn lässt sich herausfinden, wie weit ein unbewusster Stimulus im Gehirn vorankommen kann und wo genau sein Weg endet. Damit wird definiert, welche Muster neuronaler Aktivität ausschließlich mit bewusster Verarbeitung verbunden sind.

Seit mittlerweile 15 Jahren benutzt mein Forschungsteam jedes verfügbare Werkzeug, von der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) bis zur Elektro- und Magnetoenzephalographie, und sogar tief ins menschliche Gehirn eingeführte Elektroden. Damit versuchen wir, die zerebralen Grundlagen des Bewusstseins ausfindig zu machen. Wie viele andere Labore in aller Welt betreiben wir eine systematische experimentelle Suche nach Aktivitätsmustern des Gehirns, die dann und nur dann auftreten, wenn die Versuchsperson eine bewusste Erfahrung macht – ich bezeichne diese Muster als »Signaturen des Bewusstseins«. Und unsere Suche hatte Erfolg. Experiment um Experiment zeigen sich dieselben Signaturen: Sobald ein Proband ein Bild, ein Wort, eine Ziffer oder einen Ton bewusst wahrnimmt, verändern sich mehrere Marker der Gehirnaktivität sehr stark. Diese Signaturen sind bemerkenswert stabil und lassen sich bei einer großen Vielfalt visueller, auditiver, taktiler und kognitiver Stimulationen beobachten.

Die empirische Entdeckung reproduzierbarer Signaturen des Bewusstseins, die in allen bewussten Menschen vorhanden sind, ist nur ein erster Schritt. Wir müssen auch vom theoretischen Ende her arbeiten: Wie entstehen diese Signaturen? Warum zeigen sie ein bewusstes Gehirn an? Warum verursacht nur eine bestimmte Art von Gehirnzustand eine innere bewusste Erfah-

rung? Zurzeit kann kein Wissenschaftler behaupten, diese Probleme gelöst zu haben, aber wir verfügen über einige starke und überprüfbare Hypothesen. Meine Mitarbeiter und ich haben eine Theorie ausgearbeitet, die wir als »globalen neuronalen Arbeitsbereich« bezeichnen. Unsere Hypothese lautet, dass Bewusstsein globale Informationsverbreitung innerhalb des Kortex, also der Großhirnrinde, ist; es geht aus einem neuronalen Netzwerk hervor, dessen Daseinszweck die massive Verteilung relevanter Informationen über das ganze Gehirn ist.

Der Philosoph Daniel Dennett bezeichnet diese Vorstellung zutreffend als »Aufsehen im Gehirn«. Dank des globalen neuronalen Arbeitsbereiches können wir jede Idee, die bei uns einen starken Eindruck hinterlässt, beliebig lange im Kopf behalten und sicherstellen, dass sie in unsere Zukunftspläne einbezogen wird, welche das auch immer sein mögen. Demnach kommt dem Bewusstsein in der Berechnungsökonomie des Gehirns eine präzise Rolle zu – es wählt aus, verstärkt und leitet relevante Gedanken weiter.

Welcher Schaltkreis ist für diese Verbreitungsfunktion des Bewusstseins zuständig? Wir glauben, dass eine spezielle Gruppe von Neuronen bewusste Botschaften im ganzen Gehirn verbreitet: Riesenzellen, deren lange Axone kreuz und quer durch den Kortex verlaufen und ihn zu einem integrierten Ganzen verschalten. Computersimulationen dieser Architektur haben unsere wichtigsten experimentellen Befunde bestätigt. Wenn genügend Gehirnregionen hinsichtlich der Wichtigkeit einer eingehenden sensorischen Information übereinstimmen, synchronisieren sie sich in großem Maßstab zu einem Zustand globaler Kommunikation. Ein breites Netzwerk wird erregt und löst einen hohen Aktivierungsschub aus – und die Art dieser Anregung erklärt unsere empirischen Signaturen des Bewusstseins.

Obwohl auch unbewusste Verarbeitung tief reichen kann, wird beim bewussten Zugang eine weitere Funktionsschicht einbezogen. Die Verbreitungsfunktion des Bewusstseins ermöglicht uns einzigartig wirkungsvolle Operationen. Der globale neuronale

Arbeitsbereich eröffnet einen inneren Raum für Gedankenexperimente – rein gedankliche Abläufe, die von der Außenwelt abgelöst werden können. Er erlaubt uns, wichtige Daten beliebig lange im Gedächtnis zu behalten. Wir können sie an jeden beliebigen anderen mentalen Vorgang weiterleiten, was unserem Gehirn jene Art von Flexibilität verleiht, nach der Descartes gesucht hat. Sobald eine Information bewusst ist, kann sie in eine lange Reihe beliebiger Operationen eintreten – sie wird nicht mehr über Reflexe verarbeitet, sondern kann willentlich durchdacht und neu ausgerichtet werden. Und dank einer Verknüpfung zu Spracharealen können wir sie anderen mitteilen.

Ebenso grundlegend für den globalen neuronalen Arbeitsbereich ist seine Autonomie. Wie neuere Studien gezeigt haben, ist das Gehirn ein Ort intensiver spontaner Aktivität. Es wird ständig von globalen inneren Aktivitätsmustern durchlaufen, die nicht in der äußeren Welt entstanden sind, sondern von innen kommen; sie entstammen der eigentümlichen Fähigkeit der Neuronen, sich auf teils willkürliche Weise selbst zu aktivieren. Demnach – und ganz im Gegensatz zu Descartes' Metapher von den Organen – arbeitet unser globaler neuronaler Arbeitsbereich nicht nach dem Input-Output-Modell und wartet auf Reize, ehe er seinen Output erzeugt. Im Gegenteil – selbst in völliger Dunkelheit verbreitet er unablässig globale neuronale Aktivitätsmuster und verursacht so das, was William James als »Strom des Bewusstseins« bezeichnet hat – einen ununterbrochenen Fluss lose verknüpfter Gedanken, die vor allem von unseren aktuellen Zielen gestaltet werden und nur gelegentlich Informationen der Sinnesorgane hinzuziehen. René Descartes hätte sich keine solche Maschine vorstellen können, in der ständig Absichten, Gedanken und Pläne auftauchen, um unser Verhalten zu prägen. Was dabei herauskommt, ist meiner Meinung nach eine Maschine »mit freiem Willen«, die Descartes' Herausforderung löst und allmählich aussieht wie ein gutes Modell für das Bewusstsein.

Die Zukunft der Bewusstseinsforschung

Unser Verständnis des Bewusstseins bleibt rudimentär. Was hält die Zukunft bereit? Am Ende dieses Buches werden wir zu den tiefgründigen philosophischen Fragen zurückkehren, allerdings mit besseren wissenschaftlichen Antworten. Dort werde ich ausführen, dass unser wachsendes Verständnis des Bewusstseins nicht nur dazu beitragen wird, einige unserer grundlegenden Fragen über uns selbst zu beantworten, sondern auch helfen kann, schwierige gesellschaftliche Entscheidungen anzugehen und sogar neue Technologien zu entwickeln, welche die Rechenleistung des menschlichen Geistes nachvollziehen.

Eines ist sicher: Viele Einzelheiten müssen erst noch endgültig bewiesen werden, aber die Wissenschaft vom Bewusstsein ist schon mehr als eine bloße Hypothese. Mittlerweile sind medizinische Anwendungen zum Greifen nahe. In unzähligen Kliniken weltweit liegen Tausende Patienten, deren Koma oder vegetativer Zustand sie in schrecklicher Isolation leben lässt – bewegungslos, sprachlos, das Gehirn durch einen Schlaganfall, Unfall oder durch vorübergehenden Sauerstoffmangel zerstört. Werden sie je wieder zu Bewusstsein kommen? Könnte es sein, dass einige von ihnen schon bei Bewusstsein, aber vollständig »locked-in« und nicht imstande sind, uns das mitzuteilen? Können wir ihnen helfen, indem wir unsere Studien zur Gehirndarstellung in ein Echtzeit-Überwachungsprogramm bewusster Erfahrung umwandeln?

In meinem Labor werden zurzeit leistungsfähige neue Tests entwickelt, die erste verlässliche Aussagen darüber zulassen, ob eine Person bei Bewusstsein ist oder nicht. Die schon verfügbaren objektiven Signaturen des Bewusstseins helfen Koma-Kliniken in aller Welt und werden bald auch Informationen für die damit verwandte Frage liefern, ob und wann Säuglinge bei Bewusstsein sind. Auch wenn keine Wissenschaft jemals ein *Ist* in ein *Sollte* verwandeln wird, bin ich davon überzeugt, dass wir bessere ethische Entscheidungen treffen werden, sobald es uns

gelingt, objektiv zu bestimmen, ob in Patienten oder in Säuglingen subjektive Empfindungen vorhanden sind.

Eine weitere faszinierende Anwendung der Wissenschaft vom Bewusstsein betrifft die Computertechnologie. Werden wir je in der Lage sein, Gehirn-Schaltkreise *in Silizium* nachzubilden? Reicht unser derzeitiges Wissen aus, einen Computer zu konstruieren, der über Bewusstsein verfügt? Falls nicht, was wäre dazu erforderlich? Mit der weiter verbesserten Theorie des Bewusstseins sollte es möglich werden, künstliche Architekturen für elektronische Chips zu erschaffen, welche die Funktionen des Bewusstseins in realen Neuronen und Schaltkreisen nachahmen. Wird der nächste Schritt zu einer Maschine führen, die sich ihres eigenen Wissens bewusst ist? Können wir ihr ein Selbstgefühl und sogar die Erfahrung eines freien Willens zugestehen?

Ich lade Sie nun ein zu einer Reise in die innovative Wissenschaft vom Bewusstsein, zu einer Suche, die dem griechischen Motto »Erkenne dich selbst« eine tiefere Bedeutung sichern wird.

Bewusstsein erreicht das Labor

Wie wurde das Studium des Bewusstseins zu einer Wissenschaft? Zunächst mussten wir die einfachste mögliche Definition des Problems finden. Wir stellten die irritierenden Themen »freier Wille« und »Bewusstsein seiner selbst« zurück und konzentrierten uns auf die enger gefasste Frage des bewussten Zugangs – warum manche unserer Empfindungen zu bewussten Wahrnehmungen werden, während andere unbewusst bleiben. Viele einfache Experimente erlaubten uns daraufhin, minimale Kontraste zwischen bewusster und unbewusster Wahrnehmung zu schaffen. Heute können wir ein Bild nach Belieben buchstäblich sichtbar oder unsichtbar machen und alle Aspekte des Experiments vollständig kontrollieren. Durch die Bestimmung von Schwellenbedingungen, unter denen ein und dasselbe Bild nur in der Hälfte der Zeit wahrgenommen wird, können wir den Stimulus sogar konstant halten und die Umschaltung dem Gehirn überlassen. In diesem Moment wird es entscheidend, die Selbstbeobachtung des Betrachters einzufangen, weil sie die Inhalte des Bewusstseins definiert. Am Ende kommen wir zu einem simplen Forschungsprogramm – der Suche nach objektiven Mechanismen subjektiver Zustände, systematischen »Signaturen« in der Gehirnaktivität, die den Übergang vom Unbewussten zum Bewusstsein anzeigen.

Werfen Sie einen Blick auf die optische Täuschung in Abb. 3. Zwölf hellgrau gedruckte Punkte liegen rund um ein schwarzes Kreuz. Starren Sie nun konzentriert auf das Kreuz in der Mitte. Nach wenigen Sekunden sollten Sie sehen, wie einige der grauen Punkte verschwinden und wieder auftauchen. Für einige Sekunden verschwinden sie aus Ihrer Wahrnehmung, dann sind sie plötzlich wieder da. Manchmal geht das ganze Arrangement verloren und lässt Sie mit einer leeren Seite zurück – nur um ein paar Sekunden später in scheinbar dunklerer Grauschattierung wieder sichtbar zu werden.

Eine objektiv vorhandene visuelle Anordnung kann mehr oder weniger zufällig in unsere subjektive Wahrnehmung eintreten oder daraus verschwinden. Diese profunde Beobachtung bildet die Basis der modernen Wissenschaft vom Bewusstsein. In den 1990er-Jahren erkannten der verstorbene Nobelpreisträger Francis Crick und der Neurobiologe Christof Koch, dass solche visuellen Illusionen der Wissenschaft ein Mittel an die Hand gaben, um das Schicksal bewusster bzw. unbewusster Stimuli im Gehirn zu verfolgen.¹

Zumindest im Ansatz wirft dieses Forschungsprogramm keine bedeutenden Probleme auf. Während des Versuchs mit den zwölf Punkten können wir beispielsweise die Entladungen von Neuronen an verschiedenen Orten des Gehirns in Momenten aufzeichnen, in denen die Punkte gesehen werden, und diese Aufzeichnungen mit denen vergleichen, die wir erhalten, wenn die Punkte nicht gesehen werden. Crick und Koch hoben das Sehen als ein Gebiet heraus, das für solche Untersuchungen reif war – nicht nur, weil wir allmählich sehr detailliert verstehen, auf welchen neuronalen Pfaden visuelle Informationen von der Retina zum Kortex gelangen, sondern auch, weil es Myriaden visueller

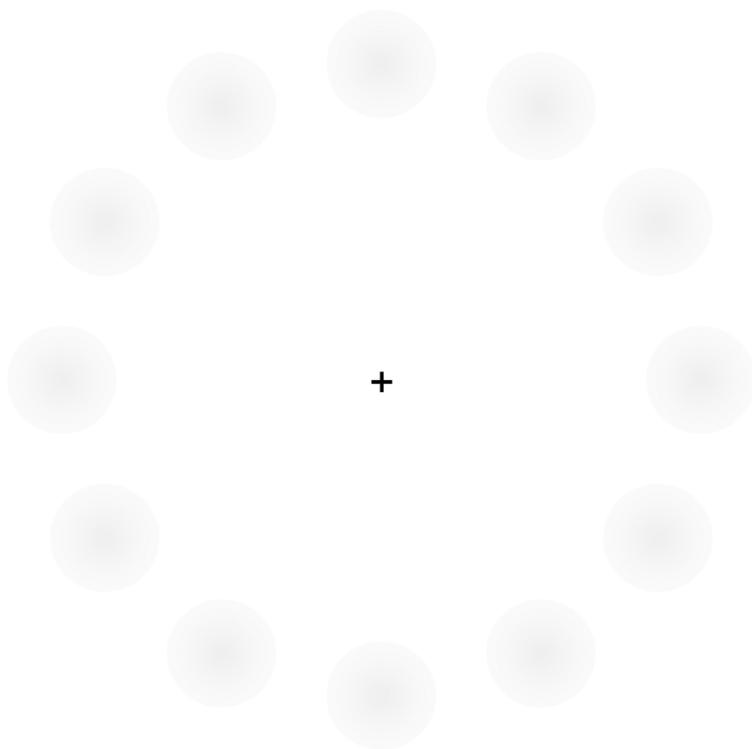


Abb. 3. Eine als »Troxler-Effekt« bezeichnete optische Täuschung illustriert eine der vielen Möglichkeiten, mit denen der subjektive Bewusstseinsinhalt manipuliert werden kann. Man starrt konzentriert auf das Kreuz in der Mitte. Nach wenigen Sekunden sollten einige der grauen Punkte verschwinden und zu zufälligen Zeitpunkten wieder erscheinen. Der objektive Stimulus bleibt konstant, doch seine subjektive Deutung ändert sich fortwährend. Etwas muss sich im Gehirn verändern – können wir es nachverfolgen?

Illusionen gibt, die dazu verwendet werden können, sichtbare und unsichtbare Stimuli gegenüberzustellen.² Haben sie irgend etwas gemeinsam? Gibt es ein einzelnes Muster der Gehirnaktivität, das allen bewussten Zuständen zugrunde liegt und eine vereinheitlichende »Signatur« des bewussten Zugangs im Gehirn liefert? Würde ein solches Signaturmuster gefunden, wäre das für die Bewusstseinsforschung ein großer Schritt nach vorn.

In ihrer praxisbezogenen Art hatten Crick und Koch das Problem offengelegt. Ihrem Beispiel folgend, fingen Dutzende Labore an, das Bewusstsein anhand elementarer optischer Illusionen (wie in dem oben gezeigten Beispiel) zu untersuchen. Drei Merkmale dieses Forschungsprogramms rückten die bewusste Wahrnehmung plötzlich in die Reichweite von Experimenten. Erstens benötigten die Illusionen keinen ausgearbeiteten Bewusstseinsbegriff – es ging nur um den einfachen Akt von Sehen oder Nichtsehen, den ich als bewussten Zugang bezeichnet habe. Zweitens standen für die Untersuchung sehr viele Illusionen zur Verfügung – wie wir sehen werden, haben Kognitionswissenschaftler Dutzende Techniken entwickelt, mit denen man Wörter, Bilder, Töne und sogar Gorillas beliebig verschwinden lassen kann. Und drittens sind solche Illusionen überaus subjektiv – nur der Betreffende kann erkennen, wann und wo die Punkte in seinem Geist verschwinden. Dennoch sind die Ergebnisse reproduzierbar: Jeder, der die Figur betrachtet, hat die gleiche Art von Erlebnis. Es bringt nichts, das zu leugnen: Wir sind uns alle einig, dass in unserer bewussten Wahrnehmung etwas Reales, Besonderes und Faszinierendes geschieht. Wir müssen es ernst nehmen.

Ich behaupte, dass drei entscheidende Komponenten das Bewusstsein in die Reichweite der Wissenschaft gerückt haben: die Konzentration auf den bewussten Zugang; die Verwendung einer Vielzahl von Tricks zur beliebigen Manipulation des Bewusstseins; und die Behandlung subjektiver Schilderungen als echte wissenschaftliche Daten. Sehen wir uns nun der Reihe nach jeden dieser Punkte an.

Die vielen Facetten des Bewusstseins

Bewusstsein: Wahrnehmungen, Gedanken und Gefühle haben; Gewährsein. Der Begriff kann nur in Ausdrücken definiert werden, die ohne eine Vorstellung von dem, was Bewusstsein bedeutet, nicht fassbar sind. (...) Nichts, was die Lektüre wert wäre, ist darüber geschrieben worden.

Stuart Sutherland, International Dictionary of Psychology (1996)

Wissenschaft schreitet oft voran, indem sie neue Unterscheidungen herausarbeitet, welche die verschwommenen Kategorien der natürlichen Sprache verbessern. Ein klassisches Beispiel aus der Geschichte der Wissenschaft ist die Trennung der Vorstellungen von Wärme und Temperatur. Die alltägliche Anschauung behandelt sie als ein und dasselbe. Denn wenn man einem Gegenstand Wärme zuführt, steigt die Temperatur, oder? Falsch – ein Eisblock, den man erwärmt, schmilzt zwar, behält aber die Temperatur von 0 Grad Celsius bei. Ein Material mag eine hohe Temperatur aufweisen (etwa der Funke eines Feuerwerks, der einige tausend Grad heiß sein kann), aber so wenig Wärme enthalten, dass es die Haut nicht verbrennt (weil seine Masse so gering ist). Im 19. Jahrhundert war die Unterscheidung zwischen Wärme (der übertragenen Energie) und Temperatur (der mittleren kinetischen Energie in einem Körper) entscheidend für Fortschritte in der Thermodynamik.

Das Wort *Bewusstsein*, wie wir es im täglichen Gespräch verwenden, ähnelt dem Begriff *Wärme* bei Laien: Es vereint eine Vielfalt von Bedeutungen, die für beträchtliche Verwirrung sorgen. Um Ordnung in dieses Gebiet zu bringen, müssen wir diese zunächst klären. In diesem Buch gehe ich davon aus, dass eine dieser Bedeutungen, der *bewusste Zugang*, eine gut definierte Frage beschreibt, die hinreichend fokussiert ist, um mit modernen experimentellen Werkzeugen untersucht werden zu können, und gute Chancen bietet, das ganze Problem zu erhellen.

Was also meine ich mit bewusstem Zugang? Unsere Sinnes-

organe nehmen zu jedem beliebigen Zeitpunkt einen enormen Strom von Reizen auf, doch unser bewusstes Denken scheint nur einen sehr geringen Anteil davon aufzugreifen. Auf dem Weg zur Arbeit komme ich jeden Morgen an denselben Häusern vorbei, ohne je die Farbe ihrer Dächer oder die Anzahl der Fenster zur Kenntnis zu nehmen. Wenn ich am Schreibtisch sitze und mich auf die Arbeit an diesem Buch konzentriere, wird meine Retina mit Informationen über die mich umgebenden Gegenstände, Fotos und Gemälde samt deren Formen und Farben bombardiert. Gleichzeitig werden meine Ohren durch Musik, Vogelgesang und Geräusche aus der Nachbarschaft angeregt – und doch bleiben all diese störenden Fragmente im unbewussten Hintergrund, während ich mich auf das Schreiben konzentriere.

Bewusster Zugang ist zugleich außergewöhnlich offen und ungeheuer selektiv. Sein *potenzielles* Repertoire ist sehr weit gespannt. Ich kann meine Aufmerksamkeit zu jedem beliebigen Zeitpunkt verlagern und mir eine Farbe, einen Duft, einen Ton, eine verlorene Erinnerung, ein Gefühl, eine Strategie, einen Fehler bewusst machen – und sogar die vielfältigen Bedeutungen des Wortes *Bewusstsein*. Wenn ich einen großen Fehler mache, kann ich sogar *meiner selbst bewusst werden* – das heißt, Emotionen, Strategien, Irrtümer und Bedauern treten in mein bewusstes Denken ein. Doch das *tatsächliche* Repertoire des Bewusstseins ist jederzeit sehr begrenzt. Im Grunde sind wir auf so ziemlich einen bewussten Gedanken auf einmal beschränkt (obwohl ein einzelner Gedanke ein beträchtlicher »Brocken« mit mehreren Unterbestandteilen sein kann – etwa, wenn wir über die Bedeutung eines Satzes nachdenken).

Wegen seiner begrenzten Kapazität muss das Bewusstsein sich von einem Gegenstand zurückziehen, wenn es Zugang zu einem anderen erlangen soll. Unterbrechen Sie für einen Augenblick die Lektüre und achten Sie auf die Stellung Ihrer Beine – möglicherweise spüren Sie hier einen Druck oder dort einen Schmerz. Diese Wahrnehmung ist nun bewusst. Doch eine Sekunde zuvor war sie *vorbewusst* – zugänglich, aber nicht aufgegriffen,

lag sie schlafend inmitten der umfangreichen Fundgrube unbewusster Zustände. Dort blieb sie nicht zwangsläufig unbearbeitet: Als Reaktion auf derlei Körpersignale korrigieren wir unsere Haltung ständig, ohne uns dessen bewusst zu sein. Doch der bewusste Zugang machte sie für unser Denken verfügbar – auf einen Schlag wurde sie zugänglich für unser Sprachsystem und viele andere Prozesse wie Gedächtnis, Aufmerksamkeit, Absicht und Planung. Genau dieses Umschalten von vorbewusst auf bewusst, das plötzlich eine Information ins Bewusstsein eintreten lässt, werde ich im folgenden Kapitel behandeln. Was dabei im Einzelnen abläuft, hoffe ich in diesem Buch aufklären zu können: die Gehirnmechanismen des bewussten Zugangs.

Zu diesem Zweck müssen wir den bewussten Zugang noch weiter von bloßer Aufmerksamkeit trennen – ein heikler, aber unumgänglicher Schritt. Was ist Aufmerksamkeit? In seinem wegweisenden Werk *The Principles of Psychology* (1890) hat William James eine berühmte Definition vorgeschlagen. Aufmerksamkeit, erklärte er, sei »das Besitzergreifen durch den Verstand, in einer klaren und lebhaften Form. Eines wird aus dem herausgegriffen, was wie mehrere gleichzeitig mögliche Objekte oder Gedankengänge scheint.«³ Leider vereint diese Definition zwei Begriffe, die mit verschiedenen Gehirnfunktionen in Verbindung stehen: *Selektion* und *Zugang*. Was bei William James »Besitzergreifung durch den Verstand« heißt, entspricht im Wesentlichen dem, was ich als bewussten Zugang bezeichnet habe. Dabei wird eine Information an die vorderste Front unseres Denkens befördert, so dass sie zu einem bewussten mentalen Objekt wird, das wir »im Gedächtnis behalten«. Dieser Aspekt der Aufmerksamkeit fällt fast definitionsgemäß mit dem Bewusstsein zusammen: Wenn ein Objekt in der Weise von unserem Geist Besitz ergreift, dass wir es (verbal oder durch Gesten) mitteilen können, dann sind wir uns seiner bewusst.

Doch James' Definition umfasst noch eine zweite Vorstellung: das Herauslösen eines Aspekts aus vielen möglichen Gedankengängen, das wir inzwischen als »selektive Aufmerksamkeit« be-

zeichnen. Durch unsere sensorische Umgebung schwirren in jedem Augenblick unzählige potenzielle Sinneswahrnehmungen. In ähnlicher Weise wimmelt es in unserem Gedächtnis von Wissen, das im nächsten Augenblick wieder in unserem Bewusstsein auftauchen könnte. Um eine Informationsüberflutung zu vermeiden, verwenden viele unserer Gehirnsysteme einen selektiven Filter. Was aus unzähligen potenziellen Gedanken in unserem bewussten Denken ankommt, ist die *Crème de la Crème*, das Resultat eines überaus komplexen Filtervorgangs, den wir Aufmerksamkeit nennen. Rücksichtslos verwirft unser Gehirn die irrelevanten Informationen und arbeitet letztlich ein einziges bewusstes Objekt heraus; dabei stützt es sich darauf, wie sehr es herausragt oder wie relevant es für unsere augenblicklichen Ziele ist. Dieser Stimulus wird dann verstärkt und in die Lage versetzt, unser Verhalten zu lenken.

Daraus wird klar, dass die meisten, wenn nicht alle diese selektiven Funktionen der Aufmerksamkeit außerhalb unserer bewussten Wahrnehmung ablaufen müssen. Wie kämen wir denn je zum Denken, wenn wir zunächst alle infrage kommenden Gegenstände unserer Gedanken bewusst durchsieben müssten? Das Sieb der Aufmerksamkeit arbeitet weitgehend unbewusst – Aufmerksamkeit kann von bewusstem Zugang abgelöst werden. Tatsächlich ist unsere alltägliche Umgebung oft vollgestopft mit anregenden Informationen, und wir müssen ihnen genug Aufmerksamkeit widmen, um auswählen zu können, welchen Aspekt wir aufgreifen. Somit dient Aufmerksamkeit häufig als Tor zum Bewusstsein.⁴ Im Labor können Forscher dagegen einfache Situationen herstellen, in denen nur eine einzelne Information vorliegt – dann ist kaum Selektion erforderlich, ehe diese Information in die bewusste Wahrnehmung des Subjekts gelangt.⁵ Im Gegensatz dazu arbeitet die Aufmerksamkeit in manchen Fällen im Geheimen und verstärkt oder unterschlägt eingehende Informationen, auch wenn es das Endergebnis nie in unsere bewusste Wahrnehmung schafft. Kurz, selektive Aufmerksamkeit und bewusster Zugang sind unterschiedliche Prozesse.

Es gibt noch eine dritte Vorstellung, die wir sorgfältig abgrenzen müssen: *Vigilanz* oder Wachzustand als Bezeichnung des Zustands, der vorherrscht, wenn wir nicht schlafen, ohnmächtig werden oder unter Narkose stehen. Selbst diese beiden Begriffe sollten womöglich voneinander getrennt werden: *Wachzustand* bezieht sich vorwiegend auf den Zyklus von Schlafen und Wachsein, der aus subkortikalen Prozessen hervorgeht, während *Vigilanz* das Erregungsniveau in den Netzwerken des Kortex und des Thalamus bezeichnet, welche die bewussten Zustände tragen. Beide Vorstellungen unterscheiden sich jedoch stark vom bewussten Zugang. Wachzustand, *Vigilanz* und Aufmerksamkeit sind lediglich ermöglichende Bedingungen zum bewussten Zugang. Sie sind notwendig, aber nicht immer hinreichend, um uns die bewusste Wahrnehmung einer spezifischen Information zu ermöglichen. Beispielsweise können manche Patienten nach einem kleinen Schlaganfall in der Sehrinde farbenblind werden. Diese Patienten sind immer noch wach und aufmerksam: Ihre *Vigilanz* ist intakt, und das gilt auch für ihre Fähigkeit zur Teilnahme. Doch der Verlust eines kleinen, auf die Farbwahrnehmung spezialisierten Schaltkreises hindert sie am Zugang zu diesem Aspekt der Welt. In Kapitel 6 werden wir Patienten in einem vegetativen Zustand begegnen, die nach wie vor morgens aufwachen und nachts einschlafen, aber in ihrer wachen Zeit anscheinend keinen bewussten Zugang zu irgendwelchen Informationen haben. Ihr Wachzustand ist intakt, doch ihr geschädigtes Gehirn scheint nicht mehr in der Lage zu sein, bewusste Zustände aufrechtzuerhalten.

In diesem Buch werden wir zumeist die Frage nach dem »Zugang« stellen: Was geht vor sich, während ein Gedanke bewusst ist? In Kapitel 6 hingegen werden wir zu dem Aspekt von Bewusstsein zurückkehren, den wir mit »*Vigilanz*« bezeichnen, und überlegen, wie die zunehmenden wissenschaftlichen Kenntnisse über das Bewusstsein auf Patienten im Koma, in einem vegetativen Zustand oder mit verwandten Störungen angewendet werden können.

Das Wort *Bewusstsein* hat noch andere Bedeutungen. Viele

Philosophen und Wissenschaftler glauben, Bewusstsein als subjektiver Zustand sei eng mit dem Selbstgefühl verbunden. Das »Ich« scheint ein wesentlicher Bestandteil des Rätsels zu sein: Wie können wir je bewusste Wahrnehmung verstehen, ohne zunächst herauszufinden, wer diese Wahrnehmung vollbringt? In einem üblichen Klischee stammelt der Held, der nach dem Niederschlag wieder zu sich kommt, als Erstes: »Wo bin ich?« Mein Kollege, der Neurologe Antonio Damasio, definiert Bewusstsein als »das Selbst im Akt des Wissens« – diese Definition impliziert, dass wir das Rätsel des Bewusstseins erst lösen können, wenn wir wissen, was ein Selbst ist.

Die gleiche Anschauung ist Grundlage von Gordon Gallups klassischem Spiegeltest zur Selbsterkennung, der prüft, ob Kinder und Tiere sich in einem Spiegel erkennen.⁶ Selbstwahrnehmung wird einem Kind zugeschrieben, das den Spiegel dafür benutzt, Zugang zu verborgenen Teilen seines Körpers zu finden – zum Beispiel, um einen roten Aufkleber ausfindig zu machen, den man ihm heimlich auf die Stirn geklebt hat. Kinder erlangen die Fähigkeit, den Aufkleber mithilfe eines Spiegels zu finden, üblicherweise in einem Alter von 18 bis 24 Monaten. Schimpansen, Gorillas, Orang-Utans und sogar Delfine, Elefanten und Elstern sollen diesen Test angeblich auch bestehen⁷ – was eine Gruppe von Kollegen dazu gebracht hat, in der Cambridge-Erklärung zum Bewusstsein (7. Juli 2012) glattweg zu behaupten, das »Gewicht der Beweise [deute] darauf hin, dass Menschen nicht die Einzigen sind, die über die neurologischen Substrate verfügen, die Bewusstsein hervorbringen«.

Doch ich wiederhole: Wissenschaft erfordert, dass wir die Begriffe schärfer fassen. Selbsterkennung im Spiegel muss nicht zwangsläufig auf Bewusstsein hindeuten. Sie könnte auch durch ein vollkommen unbewusstes Verfahren geleistet werden, das lediglich vorausberechnet, wie der Körper aussehen und sich bewegen sollte, und das seine Bewegungen regelt, indem es diese Vorausberechnungen mit der tatsächlichen visuellen Stimulation abgleicht – so wie ich ohne nachzudenken einen Spiegel ver-

wende, wenn ich mich rasiere. Tauben können dazu abgerichtet werden, den Test zu bestehen – wenn auch erst nach erheblichem Training, das sie im Grunde in Automaten verwandelt, die einen Spiegel nutzen.⁸ Der Spiegeltest zur Selbsterkennung prüft möglicherweise nur das Ausmaß, in dem ein Organismus genug über seinen Körper gelernt hat, um Erwartungen über das eigene Aussehen zu entwickeln, und genug über Spiegel, um mit ihrer Hilfe die Erwartung mit der Realität zu vergleichen – zweifellos eine interessante Kompetenz, aber weit entfernt von einem Lackmустest für den Besitz eines Selbstkonzeptes.⁹

Am wichtigsten ist aber, dass die Verknüpfung zwischen bewusster Wahrnehmung und Wissen um das eigene Selbst nicht notwendig ist. Wenn ich ein Konzert besuche oder einen überwältigenden Sonnenuntergang betrachte, so kann mich das in einen gehobenen Bewusstseinszustand versetzen, ohne dass ich mich ständig erinnern müsste, *ich* sei dabei, mich *meiner selbst* zu erfreuen. Mein Körper und mein Selbst bleiben im Hintergrund, wie wiederkehrende Geräusche oder Bühnenbeleuchtung – es sind potenzielle Objekte für meine Aufmerksamkeit, die außerhalb meiner bewussten Wahrnehmung liegen. Ich kann mich ihnen zuwenden und sie ins Zentrum stellen, wenn es nötig wird. Meiner Ansicht nach ähnelt das Bewusstsein seiner selbst dem Bewusstsein von Farbe oder Ton. Wenn mir ein Aspekt von mir selbst bewusst wird, könnte es sich einfach um eine andere Form des bewussten Zugangs handeln, bei dem die aufgegriffene Information nicht sensorischer Natur ist, sondern eine der vielfältigen mentalen Repräsentationen meines »Ich« bildet – mein Körper, mein Verhalten, meine Gefühle oder meine Gedanken.

Das Besondere und Faszinierende am Bewusstsein seiner selbst ist, dass es eine seltsame Rückbezüglichkeit einzuschließen scheint.¹⁰ Wenn ich über mich selbst nachdenke, tritt das »Ich« zweimal auf, als Wahrnehmender, aber auch als das Wahrgenommene. Wie ist das möglich? Dieser rekursive Sinn des Bewusstseins wird von Kognitionswissenschaftlern als *Metakognition* bezeichnet: die Fähigkeit, über den eigenen Geist

nachzudenken. Der französische positivistische Philosoph Auguste Comte (1798–1857) hielt das für logisch unmöglich. »Der Einzelne«, schrieb er, »kann sich während seines Denkens nicht in zwei Persönlichkeiten teilen, von denen die eine nachdenkt, während die andere dieses Nachdenken beobachtet. Da das beobachtete Organ in diesem Falle dasselbe wie das beobachtende Organ ist, wie könnte da eine Beobachtung stattfinden?«¹¹

Doch Comte irrte sich: Wie John Stuart Mill sofort anmerkte, löst sich das Paradoxon auf, wenn der Beobachter und das Beobachtete zu verschiedenen Zeiten oder in verschiedenen Systemen enkodiert werden. So könnte das eine Gehirnsystem es bemerken, wenn das andere versagt. Das machen wir ständig, so etwa, wenn uns ein Wort »auf der Zunge liegt« (wir wissen, dass wir es wissen sollten), wenn wir einen Denkfehler bemerken (wir wissen, dass wir uns geirrt haben) oder wenn wir über einem nicht bestandenen Examen brüten (wir wissen, wir haben gelernt, wir glaubten die Antworten zu kennen, und wir können uns nicht vorstellen, warum wir durchgefallen sind). Manche Bereiche des präfrontalen Kortex überwachen unsere Pläne, unterlegen unsere Entscheidungen mit Zuversicht und spüren unsere Fehler auf. In enger Zusammenarbeit mit unserem Langzeitgedächtnis und unserer Fantasie funktionieren sie wie ein Simulator für Rückkopplungen und halten damit ein inneres Selbstgespräch aufrecht, das uns ohne äußere Hilfe über uns selbst nachdenken lässt. (Schon das Wort *Reflexion* verweist auf die Spiegelfunktion, durch die manche Hirnareale die Aktivität anderer Bereiche »re-präsentieren« und bewerten.)

Alles in allem stehen wir als Wissenschaftler besser da, wenn wir mit dem einfachsten Bewusstseinsbegriff beginnen: dem bewussten Zugang, dem Weg, auf dem wir eine bestimmte Information bewusst wahrnehmen. Die heikleren Fragen des Selbst und des rekursiven Bewusstseins sollten besser auf einen späteren Zeitpunkt verschoben werden. Wenn wir uns auf den bewussten Zugang konzentrieren und ihn sorgfältig von den verwandten Vorstellungen wie Aufmerksamkeit, Wachzustand, Vigilanz,

Bewusstsein seiner selbst und Metakognition abtrennen, erhalten wir den ersten Bestandteil unserer zeitgenössischen Wissenschaft vom Bewusstsein.¹²

Minimale Kontraste

Der zweite Bestandteil, der die Wissenschaft vom Bewusstsein ermöglicht, ist das Spektrum experimenteller Manipulationen, mit denen die Inhalte unseres Bewusstseins zu beeinflussen sind. In den 1990er-Jahren erkannten Kognitionspsychologen plötzlich, dass sie mit dem Bewusstsein herumspielen konnten, wenn sie bewusste und unbewusste Zustände einander gegenüberstellten. Bilder, Wörter und sogar Filme konnten unsichtbar gemacht werden. Was geschah mit diesen geistigen Bildern auf der Ebene des Gehirns? Durch sorgfältige Eingrenzung der Fähigkeiten und Grenzen unbewusster Verarbeitung konnte man anfangen, die Umrisse des Bewusstseins selbst wie in einem Fotonegativ zu umreißen. In Kombination mit Gehirndarstellungsverfahren lieferte diese einfache Idee eine stabile experimentelle Grundlage zur Erforschung der zerebralen Mechanismen des Bewusstseins.

In seinem wichtigen Buch mit dem ambitionierten Titel *A Cognitive Theory of Consciousness* (1989)¹³ trug der Psychologe Bernard Baars überzeugend vor, dass es tatsächlich Dutzende Experimente gibt, die direkte Exkurse in die Natur des Bewusstseins ermöglichen. Baars fügte eine zentrale Beobachtung hinzu: Viele dieser Experimente liefern einen »Minimalkontrast« – von zwei experimentellen Situationen, die sich minimal unterscheiden, wird nur eine bewusst wahrgenommen. Solche Fälle sind ideal, weil sie es Wissenschaftlern erlauben, bewusste Wahrnehmung als experimentelle Variable zu behandeln, die sich beträchtlich verändert, obwohl der Stimulus praktisch konstant bleibt. Wenn die Forscher sich auf solche Minimalkontraste konzentrieren und zu verstehen versuchen, was sich im Gehirn verändert, können sie von all den irrelevanten Gehirnaktivitäten



Stanislas Dehaene
Denken
Wie das Gehirn
Bewusstsein schafft

„Der beste Beitrag zur Bewusstseinsdebatte. Ein gewaltiges Buch.“ Eric Kandel

KNAUS

Stanislas Dehaene

Denken

Wie das Gehirn Bewusstsein schafft

Gebundenes Buch mit Schutzumschlag, 480 Seiten, 13,5 x 21,5 cm
ISBN: 978-3-8135-0420-0

Knaus

Erscheinungstermin: September 2014

"Der beste Beitrag zur Bewusstseinsdebatte. Ein gewaltiges Buch." Eric Kandel

Wie entstehen bewusste Gedanken? Welches Bewusstsein haben Koma-Patienten? Oder Säuglinge? Haben wir einen freien Willen? Wie weit sind wir von künstlichen Intelligenzen entfernt, die sich ihres eigenen Wissens bewusst sind?

Stanislas Dehaenes Theorie des Bewusstseins ist ein Meilenstein der Gehirnforschung.

Noch immer müssen viele Einzelheiten endgültig bewiesen werden, aber die Wissenschaft vom Bewusstsein liefert inzwischen mehr als bloße Hypothesen. Stanislas Dehaene gibt einen aufregenden Überblick über die Fortschritte der Gehirnforschung und entwickelt eine neue, empirische Theorie wie wir wahrnehmen, fühlen, denken. Ein Schlüsselwerk über die vielfältigen Prozesse der Informationsverarbeitung, die unser Gehirn, ein in der Evolution entstandenes Netzwerk aus Milliarden Neuronen, vollbringt.

Obwohl wir alle den gleichen Gesamtbestand an Neuronen haben, ist ihre jeweilige Organisation das Ergebnis einer andauernden Entwicklung, die jedes Gehirn anders formt, woraus schließlich unsere jeweils einzigartige Persönlichkeit hervorgeht.



[Der Titel im Katalog](#)