

BUNT TAPEZIERTES OBERSTÜBCHEN Ein MRT-Scanner stellt das Gehirngewebe in vielen Schnittebenen dar (hier: von oben nach unten). Wie die Schwarz-Weiß-Bilder eingefärbt werden, bleibt dem Forscher überlassen.

Warum das Gehirn kein SCHWEIZER TASCHENMESSER ist

Bunte Bilder aus dem Hirnscanner sind heute allgegenwärtig. Doch die leuchtenden Farben verleiten uns zu falschen Vorstellungen vom Denkorgan: fünf Gründe für mehr Scannerskepsis.

VON MICHAEL SHERMER

Seit Jahrhunderten bemühen Wissenschaftler bildhafte Vergleiche, um die erstaunlichen Leistungen unseres Gehirns zu erklären. Dabei wählten sie stets zeitgemäße Technologien als Vorbilder: So nannten Forscher des 18. Jahrhunderts das Denkorgan einen »hydraulischen Apparat«, im 19. Jahrhundert wurde daraus eine mechanische Rechenmaschine, und im 20. Jahrhundert schließlich stellte man das Gehirn gern einem Computer gegenüber. Doch alle diese Vergleiche hinkten beträchtlich.

Heute, zu Beginn des 21. Jahrhunderts, beherrscht eine neue Metapher das Denken – diesmal inspiriert von den farbenfrohen Bildern aus dem Hirnscanner. Und wieder ist sie verfehlt. Geben wir es ruhig zu: Wir stellen uns das Gehirn gewöhnlich als eine Art Schweizer Taschenmesser vor, eine Ansammlung von Modulen, die sich im Lauf der Evolution zur Lösung bestimmter Probleme entwickelt haben. Unsere Sprache etwa, damit wir uns verständigen können, einen Gesichtsdetektor, um zwischen Freund und Feind zu unterscheiden, eine Abteilung für Risikoabschätzung, um das Überleben

des Einzelnen oder der Gruppe zu sichern, oder auch ein »Gotteszentrum«, das uns Trost spendet durch den Glauben an ein Jenseits.

Auch viele Neurowissenschaftler bedienen sich dieser Modul-Metapher. So behaupten sie oft, eine bestimmte Hirnregionen sei »für XY zuständig« – wobei »XY« eine beliebige Aufgabe sein kann, die eine Versuchsperson gerade löst, während sie im Tomografen liegt und ihr Gehirn scannen lässt. Eine solche Aufgabe kann etwa sein, sich zwischen zwei Marken zu entscheiden (wie Coca-Cola oder Pepsi) oder auch zwischen Politikern, die bei der nächsten Wahl antreten.

Forscher benutzen bildhafte Vergleiche wie das Schweizer Taschenmesser, um komplexe Prozesse anschaulich und verständlich zu machen. Damit vereinfachen sie automatisch auch die Realität. Denn die farbigen Hirnareale, die wir auf den Bildern sehen, haben keineswegs so klar definierte Funktionen, wie es scheint. »Es gibt im Gehirn keine Module, die für sich allein genommen funktionieren und Informationen an eine Art zentralen Prozessor senden«,

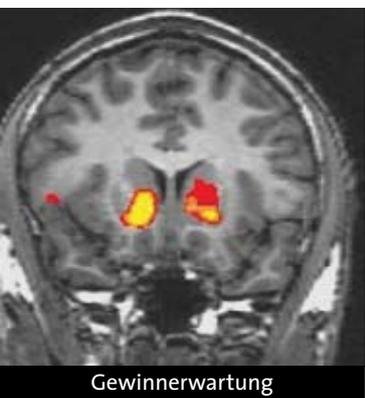
AUF EINEN BLICK

Trügerische Bilder

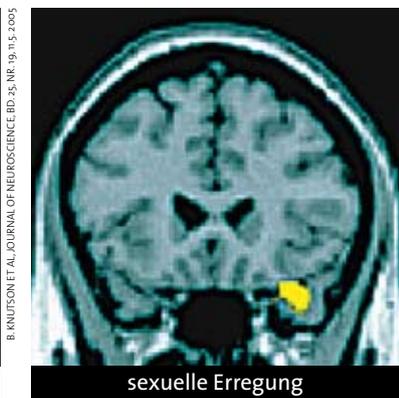
1 Komplizierte wissenschaftliche Phänomene lassen sich mit Hilfe von Metaphern veranschaulichen.

2 Bildgebende Verfahren führten zur Metapher vom Gehirn als »Schweizer Taschenmesser«: eine Region – eine Aufgabe.

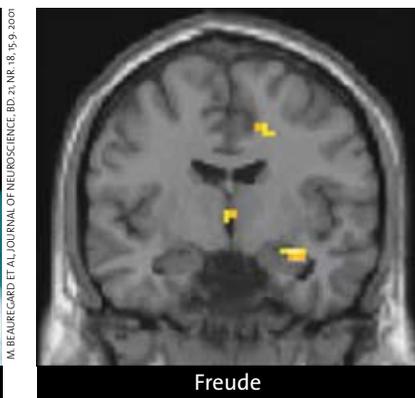
3 Dieses Bild geht jedoch an der Realität vorbei: Im Gehirn gibt es kaum spezialisierte Module, sondern vielmehr flexible Netzwerke.



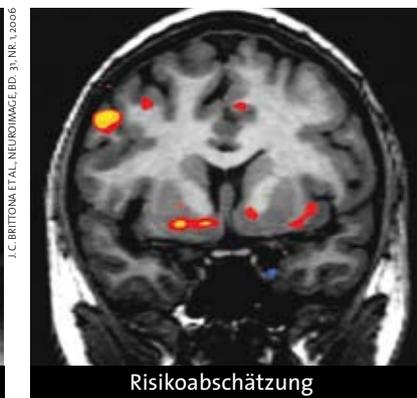
Gewinnerwartung



sexuelle Erregung



Freude



Risikoabschätzung

B. KNUTSON ET AL. JOURNAL OF NEUROSCIENCE, BD. 25, NR. 19, 15. 2005

M. BEAUREGARD ET AL. JOURNAL OF NEUROSCIENCE, BD. 21, NR. 18, 15. 9. 2001

J.C. BRITTON ET AL. NEUROIMAGE, BD. 31, NR. 1, 2006

GALERIE DES DENKENS
Mit Hilfe der funktionellen Magnetresonanztomografie können Forscher messen, wo sich im Gehirn bei bestimmten geistigen Zuständen der Sauerstoffgehalt im Blut ändert. Die Einfärbung einzelner Regionen, die auf vielen Hirnscan-Bildern zu sehen ist, entsteht erst später im Computer.

sagt die Neurophilosophin Patricia Smith Churchland von der University of California in San Diego. »Es gibt zwar spezialisierte Regionen, auch ganze Netzwerke – aber sie sind nicht zwangsläufig einer bestimmten Aufgabe zugeordnet.«

Bildgebende Verfahren wie die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) mögen der Neurowissenschaft bereits zu vielen neuen Einsichten verholfen haben. Doch blindes Vertrauen in ihre Nützlichkeit verführt dazu, sich stark vereinfachte, oft sogar irreführende Vorstellungen über die Arbeitsweise unseres Denkor-gans zu machen.

Hier ist Vorsicht geboten: Was können Aufnahmen des arbeitenden Gehirns wirklich zeigen und was nicht? Anhand der Funktionsweise des wohl verbreitetsten bildgebenden Verfahrens, der fMRT, lassen sich fünf Gründe herausdestillieren, warum die Interpretation der Resultate schwierig ist.

1. Der Hirnscanner ist eine unnatürliche Umgebung für Denkprozesse

Um mein eigenes Gehirn einmal mit einem Magnetresonanztomografen scannen zu lassen, habe ich dem Neurowissenschaftler Russell Poldrack einen Besuch abgestattet. Ein MRT-Koloss, wie er in Poldracks Labor an der University of California in Los Angeles steht, wiegt um die zwölf Tonnen und kostet rund 2,5 Millionen Dollar – ohne Installation, Einweisung und Wartung, für die man eine weitere Million Dollar veranschlagen kann. Schnell merkte ich, was für ein unnatürliches Gefühl es ist, in dieser sargartigen Hightech-Röhre zu liegen. Doch es kam noch schlimmer: Ich musste das Experiment abbrechen, bevor es richtig begonnen hatte.

Plötzlich hatte mich Klaustrophobie übermannt – ein Gefühl, das mir völlig neu war. Da-

mit bin ich nicht allein. Poldrack schätzt, dass bis zu jede fünfte seiner Versuchspersonen un-verhofft von Raumangst erfasst wird. Offenbar kann nicht jeder halbwegs locker bleiben, wäh-rend er in einer engen Röhre liegt. Daher leiden fMRT-Studien unter einem Selektionsproblem: Die Forscher können ihre Probanden nicht beliebig auswählen. Ihre Ergebnisse spiegeln des-halb auch nicht jeden Gehirntyp gleicherma-ßen wider.

Bevor Wissenschaftler eine Versuchsperson in die Röhre schieben, fixieren sie deren Kopf mit Schaumstoffkeilen in einer Kopfspule, auch »Käfig« genannt. Dies soll Bewegungen verhin-dern, die zu unscharfen Aufnahmen führen wür-den. Ein MRT-Scanner macht alle zwei Sekun-den ein Bild vom Gehirn. Der Proband kann sich währenddessen zum Beispiel Fotos anse-hen, die ihm auf kleinen Bildschirmen auf der Innenseite einer Brille gezeigt werden. Um sich zwischen zwei Alternativen zu entscheiden, etwa für das fotografierte Produkt, das er am ehesten kaufen würde, muss er auf eine Taste drücken.

Wenn Sie also das nächste Mal irgendwo le-sen, was alles im Gehirn von Versuchspersonen passiert, die gerade einkaufen: Bedenken Sie, dass die untersuchten Menschen nicht wirklich zwischen Regalreihen umherliefen, Waren aus dem Regal zogen und dabei vielleicht ein paar Elektroden am Kopf kleben hatten. Die Wirklich-keit sieht viel trister aus.

2. Die MRT misst die Aktivität von Nervenzellen nur indirekt

Oft heißt es, bei fMRT-Scans habe eine be-stimmte Hirnregion »aufgeleuchtet«, wenn der Proband an Geld, Sex, Gott oder was auch im-mer dachte. Aber was macht die Maschine, wäh-rend der Mensch gurbelt? Der Scanner ist ein

großer Elektromagnet: eine Spule aus äußerst leitfähigem, mit Helium gekühltem Metall, die gewaltige magnetische Felder aufbaut.

Diese Felder sind 25 000- bis 80 000-mal so stark wie das natürliche Magnetfeld der Erde. Die Probanden müssen alle metallischen Gegenstände ablegen, bevor sie den abgeschirmten Bereich betreten. Es wurden schon Menschen durch Stahlflaschen getötet, die von dem MRT-Apparat angezogen wurden. Patienten mit Herzschrittmacher oder Metallimplantaten dürfen noch nicht einmal den Raum betreten, in dem ein Scanner steht. Die Wände der Räume sind gepanzert und schallgedämpt, um den Lärm zu dämmen, den die Maschinen bei ihrer Arbeit verursachen.

Liegt ein Mensch in der Röhre, richten sich einige Teilchen seines Gewebes in Richtung des Magnetfelds aus – allerdings nur etwa eins von einer Millionen Atomen. Das reicht jedoch aus, da der Körper aus rund sieben Quadrilliarden (also sieben Billionen Billiarden) Atomen besteht. In einem Gewebewürfel von zwei mal zwei mal fünf Millimetern reagieren somit mehrere Billiarden Atome auf das Scanner-Magnetfeld – genug Material für die »Bildgebung«.

Dafür sendet das Gerät einige Millisekunden lang ein zweites Magnetfeld aus, worauf die Protonen im Körper der Versuchsperson sich kurz zur Seite neigen und sich entlang dem neuen Feld ausrichten – sie geraten in »Resonanz«. Nach kurzer Zeit drehen sie sich dann wieder in ihre ursprüngliche Lage zurück, wobei sie selbst Energie in Form eines sehr schwachen Magnetfelds abgeben. Diese Energie kann der Scanner messen und daraus ein plastisches Bild erstellen, da sich die Atome aus verschiedenen Gewebarten unterschiedlich verhalten. Die Aktivität von Hirnregionen wird deshalb sehr indirekt gemessen: indem man sich das Phänomen zu Nutze macht, dass das Blut um rege arbeitende Neurone herum seine magnetischen Eigenschaften ändert (siehe Punkt 3).

3. Farbeeekte überzeichnen die tatsächlichen Prozesse im Gehirn

Bilder des Gehirns mit scharf voneinander abgegrenzten, bunt eingefärbten Regionen sind irreführend, denn sie suggerieren, es gäbe klar definierte Verarbeitungseinheiten oder Module. Tatsächlich ist die neuronale Aktivität je nach Aufgabe auf ein Netzwerk von Gehirnzellen verteilt. Aber wie kommt die Einfärbung mancher Hirnregionen überhaupt zu Stande?

Prinzipiell sind sich Wissenschaftler darin einig, dass eine bessere Durchblutung und Sauerstoffversorgung von Hirnregionen auf eine höhere Aktivität der dortigen Neurone hinweisen. Wenn Nervenzellen feuern, verbrauchen sie mehr Sauerstoff, den sie sich aus dem Hämoglobin der roten Blutkörperchen besorgen. Um den Mangel auszugleichen, fließt dort, wo viele Hirnzellen aktiv sind, kurzzeitig mehr sauerstoffreiches Blut. Da das Eisen in dem Sauerstofftransporter Hämoglobin auf Magnetfelder reagiert, gibt es messbare magnetische Unterschiede zwischen Blutzellen mit viel und solchen mit wenig Sauerstoff. Diese Unterschiede kann man per fMRT messen und darstellen.

Die Einfärbung der Hirnareale entsteht erst später am Computer. Und die übliche Praxis, dabei ganze Regionen einzufärben, ist besonders irreführend, wie Patricia Churchland erklärt: »In Wahrheit ist der Unterschied zwischen den Aktivitätsniveaus der Neurone sehr gering. Wenn man diese kleinen Unterschiede rot einfärbt und alles andere grau lässt, wirkten sie riesengroß und werden damit maßlos übertrieben.«

Auch die Einfärbung ganzer Areale, die bestimmte Funktionen haben sollen, sei irreführend, so Churchland. »Nehmen Sie den Gyrus cinguli, ein Hirnareal, das zum Beispiel bei der Verarbeitung von Konflikten beteiligt ist. Man kann es dazu bringen, sich zu regen, indem man Menschen Bilder von Hillary Clinton zeigt. Aber das Zingulum ist genauso für mindestens 57 weitere Dinge »zuständig«.

Der größte Teil der Hirnaktivität ist außerdem gar keine Reaktion auf irgendwelche Reize,

»Der Unterschied zwischen den Aktivitätsniveaus der Neurone ist sehr gering«

Patricia Smith Churchland,
Neurophilosophin

NICHTS FÜR KLAUSTROPHOBIKER

Die enge MRT-Röhre ruft bei vielen Probanden Beklemmung hervor – so auch beim Autor des Artikels, hier bei seinem Selbstversuch an der University of California.



MIT FRIEDRICH VON MICHAEL-SHERMER

ZU HÄSSLICH FÜR »NATURE«

Die ersten MRT-Scans, die 1971 dem Chemiker Paul Lauterbur von der University of Illinois gelungen, waren ästhetisch noch nicht sehr ansprechend. Die Fachzeitschrift »Nature« lehnte eine Veröffentlichung der Aufnahmen zunächst ab – sie waren den Redakteuren zu »verschwommen« und sahen unprofessionell aus. Erst als Lauterbur vehement protestierte, besann sich das renommierte Journal eines Besseren. Der Forscher, der für seine Methode 2003 den Medizinobelpreis erhielt, witzelte deshalb später: »Es wäre wohl möglich, die Geschichte der modernen Naturwissenschaften anhand von Artikeln zu erzählen, die von Fachzeitschriften abgelehnt wurden.«

LITERATURTIPPS

Koch, C.: Bewusstsein – ein neurobiologisches Rätsel. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2005.

Pinker, S.: Wie das Denken im Kopf entsteht. Kindler, Berlin 2002.

sondern läuft ganz spontan ab – und wir wissen noch gar nicht, wozu die ganze Betriebsamkeit gut ist. Mit anderen Worten: Viele Gehirnareale sind permanent mit irgendwelchen Prozessen beschäftigt, und um diese unterscheiden zu können, braucht es besonders sorgfältige Versuchsanordnungen.

4. Scanner-Bilder zeigen keine echten Gehirne, sondern statistische Mittelungen

Während eines Experiments macht der Scanner alle zwei Sekunden ein Bild vom »Dauerfeuer« der Nervenzellen. Das ergibt ein paar hundert bis einige tausend Bilder pro Sitzung, die zwischen 15 Minuten und zwei Stunden dauern kann. Dann werden die einzelnen Messwerte kombiniert und aus den Daten aller Probanden und Versuchsdurchgänge Mittelwerte berechnet.

Das muss man im Hinterkopf behalten, wenn man einen bunten Hirnscan sieht, bei dem steht: »Das ist Ihr Gehirn, wenn Sie XY machen.« Das Bild zeigt in der Regel niemandes Gehirn. Es ist eine statistische Berechnung aus einem ganzen Pool von Daten verschiedener Versuchspersonen, mit künstlichen Farben, die jene Regionen hervorheben, in denen sich eine kleine Abweichung bei einem bestimmten Reiz oder einer bestimmten Aufgabe zeigte.

5. Hirnareale arbeiten nicht eigenständig, sondern als Teile von Netzwerken

Es sei Wissenschaft und Kunst zugleich, die Aufnahmen der fMRT zu interpretieren, meint Russell Poldrack. »Die Versuchung ist groß, auf einen dieser Flecken zu zeigen und zu sagen: Dort passiert dieses und jenes in deinem Gehirn. Dabei würde dasselbe Areal auch bei vielen anderen Aufgaben aktiv werden«, erklärt er. »Der rechte präfrontale Kortex etwa ist offenbar Teil eines ganzen Netzwerks, das bei quasi jeder schwierigen Entscheidung feuert. Entsprechend wird dieser Teil des Gehirns bei vielen Tätigkeiten aktiviert.« Will man Genaueres herausfinden, muss man eine ganze Reihe verschiedener Aufgaben miteinander vergleichen. Wirklich aussagekräftig lassen sich mit der fMRT daher nur Fragestellungen untersuchen, die zu klaren Kontrasten führen und dem Wissenschaftler damit deutliche Aktivitätsunterschiede liefern.

Was aber hat es mit Forschungsprojekten auf sich, die beispielsweise Unterschiede zwischen

»rationalen« und »emotionalen« Hirnteilen aufzeigen? Entspringen Gefühle den tieferen Teilen des Gehirns, während der Verstand im Bereich der Großhirnrinde sitzt? »Es gibt tatsächlich emotionale und rationale Denkweisen«, sagt Poldrack. »Allerdings hat es sich gezeigt, dass beide stark interagieren.«

Die Amygdala – also jene Hirnregion, die vor allem mit der Entstehung von Angst in Verbindung gebracht wird – rührt sich auch bei positiven Gefühlen: »Wenn ich jemanden in Angst versetze, wird seine Amygdala aktiv. Doch das bedeutet nicht, dass er immer, wenn sich seine Amygdala regt, Angst empfindet. Jedes Gehirnareal ist potenziell an vielen verschiedenen Gemütszuständen beteiligt. Uns fehlt oft noch ausreichend Datenmaterial, um sagen zu können, wie selektiv ein Areal arbeitet.«

In manchen Fällen kann man Netzwerke von Neuronen identifizieren, die untereinander wiederum stark vernetzt sind und so etwas wie modulartige Einheiten bilden. Doch diese Netzwerke sind dann meist weiträumig über das Gehirn verstreut. Die Metapher von der »verteilten Intelligenz«, mit der manchmal die Macht des World Wide Web beschrieben wird, beschreibt die Aufgabenverteilung im Gehirn viel besser als die Idee eines Schweizer Taschenmessers.

Natürlich gibt es durchaus Hirnareale, die auf bestimmte Verarbeitungsweisen spezialisiert sind, wie die Sehrinde im hinteren Teil des Gehirns oder das Broca-Areal für Sprache im linken Frontallappen. Dennoch sind viele Hirnforscher heute davon überzeugt, dass das Bild der verteilten Netzwerke dem der »mental Module« überlegen ist. Die Modulvorstellung verleitet dazu, das Gehirn als eine Ansammlung in sich abgeschlossener Organe zu sehen, von denen jedes nur auf eine Funktion spezialisiert ist. Das Netzwerk-Modell entspricht viel eher dem, was die moderne Forschung über die kognitiven Abläufe in unserem Gehirn weiß.

Bildgebende Verfahren wie die fMRT werden uns auch in Zukunft reichlich Daten über das Gehirn liefern und uns zu bildhaften Vergleichen anregen. Wir sollten daher unsere Netzwerke für gesunde Skepsis aktiv halten, um besser zu erkennen, welche Funktionen neuronale Prozesse haben und wie sie mit unserem Verhalten zusammenhängen. ~

Michael Shermer ist Chefredakteur des Magazins »Skeptic« und Kolumnist bei »Scientific American«, der amerikanischen Edition von »Spektrum der Wissenschaft«.