

MOMENTAUFNAHMEN DES GEISTES?

Liefert uns die funktionelle Bildgebung wirklich objektive Erkenntnisse darüber, wie das Gehirn funktioniert? Kritiker meinen, man müsse die Bilder aus dem Tomografen eher als Kunstwerke betrachten.

VON ALEXANDER GRAU

Ob Felix Bloch den gegenwärtigen Boom in der Hirnforschung vorausgesehen hatte? Immerhin war er an der Entwicklung nicht ganz unbeteiligt. Im Jahr 1945 gelang es dem Physiker von der Stanford University zeitgleich mit Edward Purcell von der Harvard University, die so genannte Kernspinresonanz in Flüssigkeiten und Festkörpern zu messen – was beiden Forschern den Nobelpreis für Physik einbrachte. Nebenbei schafften sie damit auch die Grundlage für die diagnostische Kernspintomografie, heute auch Magnetresonanztomografie (MRT) genannt.

Als dann Seiji Ogawa und seine Mitarbeiter im Jahr 1992 schließlich bewiesen, dass sich mit dem Kernspintomografen die so genannte Oxygenierung des Hämoglobins in Blutkörperchen und damit indirekt auch der Blutfluss in Gehirn millimetergenau verfolgen lassen, horchten vor allem Neurowissenschaftler auf. Der Schluss lag nahe: Hirnareale, die stark durchblutet werden, sind vermutlich besonders aktiv. Zudem erlaubt die Technik Messungen am wachen Menschen, der im Vollbesitz seiner geistigen Kräfte in der Scannerröhre liegt und auf Wunsch Denkaufgaben löst. Der japanische Pionier brachte das Aufregende dieser funktionellen Anwendung der MRT gleich auf den Punkt: »Jetzt können wir das Gehirn nicht nur sehen, sondern es auch bei der Arbeit beobachten.«

Zugegeben – es war auch schon einige Jahre vorher möglich gewesen, Hirn-

aktivität beim Menschen halbwegs genau abzubilden, etwa mit der Positronen-Emissionstomografie (PET). Allerdings müssen sich die Versuchspersonen dafür radioaktive Isotope injizieren lassen. Die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT) dagegen gilt als so harmlos, dass die Forscher zu Testzwecken auch schon einmal selbst ihren Kopf hinhalten.

Seither überschwemmt eine Flut von Studien und Messreihen die einschlägigen Wissenschaftsjournale. Die eingängigsten Forschungsergebnisse finden sich in den Gazetten wieder: »Liebe leuchtet!« heißt es da, oder: »Gottesmodul in Schläfenlappen gefunden!«, als sei das Gehirn nach dem Baukastenprinzip zusammengesetzt. Doch in den letzten Jahren werden zunehmend grundsätzliche Zweifel an der Aussagefähigkeit der farbenfrohen Computerbilder hörbar. Was sagen die bunten Flecken eigentlich aus? Wie objektiv sind die Messergebnisse? Und inwieweit fließt die Perspektive des jeweiligen Forschers in

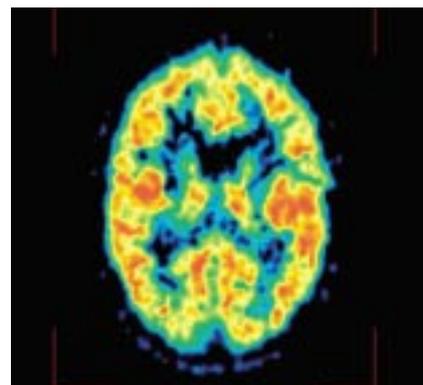
die Aussage mit ein? Um diese Fragen zu beantworten, muss man wissen, wie solche Bilder zu Stande kommen.

Funktionelle Bildgebungsverfahren machen sich zur Untersuchung des Nervensystems die »neurovaskuläre Kopplung« zu Nutze: In einem Hirnareal, das während einer bestimmten kognitiven, sensorischen, motorischen oder auch emotionalen Aufgabe aktiv ist, steigt die Stoffwechselaktivität. Damit erhöht sich örtlich der Verbrauch an Sauerstoff- und Glucose, was wiederum den Blutfluss und das Blutvolumen an dieser Stelle steigert.

Bei der PET beruhen die Bilder letztlich auf einer Strahlung, die von einem radioaktiven Isotop im Gewebe ausgeht, das vorher injiziert oder inhaliert wurde. Bringt man beispielsweise radioaktiv markiertes Wasser ($H_2^{15}O$) ins Blut, so wächst die in einem Hirnareal detektierbare Strahlung proportional mit dem Blutfluss. Allerdings dauert es eine Weile, bis sich die Isotope im jeweiligen

STRAHLENDES GEHIRN

Für eine PET-Messung injiziert man einer Versuchsperson so genannte Positronenstrahler, beispielsweise radioaktiv markiertes Wasser, in die Armvene. Diese reichern sich in wenig mehr als einer Minute im Gehirn an. Je stärker ein Hirnareal durchblutet ist, desto höher ist die messbare Strahlung.



J. PETER, DNEZ, HEIDELBERG

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

IN DIE RÖHRE GESCHAUT

Bei der PET-Messung ist der Kopf des Probanden von einem ringförmigen Detektor umgeben. Dadurch lässt sich der Ort im Gehirn bestimmen, von dem ein gemessenes Signal ausgeht.

Gewebe messbar angereichert haben. Durch empfindlichere Geräte ist es in den letzten Jahren gelungen, die notwendige Messdauer auf wenige Sekunden zu reduzieren. Doch das ist immer noch ein langer Zeitraum, wenn man kognitive Prozesse studieren will, die sich im Millisekundenbereich abspielen. Naturgemäß limitiert also die Trägheit der Methode die untersuchbaren Fragestellungen wie die Aussagefähigkeit der PET-Bilder erheblich.

Die funktionelle MRT kompensiert einige Nachteile der PET, da sie keine radioaktiven Isotope benötigt und zeitlich präziser ist. Die MRT, wie sie von Paul Lauterbur und Raymond Damadian Anfang der 1970er Jahre entwickelt wurde, baut darauf auf, dass der elektrisch geladene Atomkern des Wasserstoffs rotiert (man sagt, er besitzt einen »Kernspin«) und dabei ein schwaches Magnetfeld erzeugt. Folglich verhält er sich wie ein kleiner Magnet. Der menschliche Körper besteht zu einem Großteil aus Wasser. Sobald man einen Patienten in das Magnetfeld des Tomografen fährt, richten sich seine zuvor ungeordneten Wasserstoffatome darin aus. Mithilfe eines Hochfrequenzimpulses werden die Atome dann aus dieser

geordneten Position ausgelenkt und gelangen dabei in einen energiereicheren Zustand.

Wird die Hochfrequenzstrahlung wieder abgestellt, klappen die Protonen im Sekundenbereich in ihre geordnete Lage zurück und geben dabei Energie ab, die vom Tomografen gemessen wird. Wie lange dieses Zurückklappen – die so genannte Relaxation – dauert, hängt von den jeweiligen Eigenschaften der Gewebes ab. Daher erlauben es die Unterschiede in den Relaxationszeiten, in den MRT-Bildern verschiedene Gewebe zu unterscheiden.

WO VIEL BLUT FLIESST

Ein Jahr nachdem Sir Peter Mansfield das erste Magnetresonanzbild eines menschlichen Körperteils – eines Fingers – veröffentlicht hatte, gelang es Raymond Damadian 1977, den ersten Ganzkörper-tomografen zu konstruieren. In den Folgejahren wurde die MRT-Technologie so weiter entwickelt, dass sie in bis dahin nicht gekannter Qualität Bilder von Weichteilen und Blutgefäßen lieferte.

Ende der 1980er Jahre beobachtete George Radda mit seinen Mitarbeitern in Oxford, dass sich mithilfe der MRT auch Änderungen im Sauerstoffgehalt des Blutes nachweisen lassen. Das Phänomen beruht auf den magnetischen Eigenschaften des Hämoglobins der roten Blutkörperchen, das den Sauerstoff im Blut transportiert. Im Jahr 1990 schließlich erkannte Seiji Ogawa von den AT&T Bell Laboratories, wie sauerstoffarmes Hämoglobin das magnetische Feld in sei-

ner unmittelbaren Umgebung beeinflusst – und genau dies konnte er detektieren! Die so genannte BOLD-Messung (Blood Oxygen Level Dependent) beruht nun darauf, dass sich in aktivierten Hirnarealen die Durchblutung mit sauerstoffreichem Blut so stark erhöht, dass sie den Sauerstoffverbrauch des Gewebes sogar übersteigt – deshalb sinkt die Konzentration des sauerstoffarmen Blutes im Verhältnis dazu. Damit war die funktionelle Magnetresonanztomographie geboren: Jetzt war es möglich, nicht nur die anatomischen Strukturen des Gewebes abzubilden, sondern auch zu erkennen, welche Regionen des Gehirns gerade besonders gut durchblutet sind.

Obwohl die Entwicklung von PET und fMRT unbestritten einen enormen Fortschritt darstellt, ist eines zu bedenken: Keines der beiden Verfahren misst neuronale Prozesse direkt. Wie die messbaren Veränderungen der Sauerstoffkonzentration oder Durchblutung mit der eigentlichen neuronalen Aktivität des Gewebes zusammenhängen, war vielmehr bis vor kurzem eher vage bekannt. So war die von George Bush sen. im Jahr 1990 ausgerufene »Dekade des Gehirns« schon vorbei, als Nikos Logothetis mit seinen Mitarbeitern vom Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen vor knapp zwei Jahren erstmals nachwies, dass die gemessenen Signale tatsächlich auch Veränderungen der Neuronenaktivität entsprechen. Dabei stellte sich heraus, dass die Messwerte weniger mit den Ausgangssignalen der Nervenzellen eines Areal, sondern eher mit dem Eingang

VON EINSTEIN ZUM ERSTEN POSITRONEN-DETEKTOR

DER WEG ZUM ERSTEN FUNKTIONIERENDEN PET-SCANNER beginnt bei Einstein und seiner berühmten Formel $E=mc^2$. Masse (m) und Energie (E) sind äquivalent. Ursprünglich geht diese Formel aus einer anderen hervor: $E^2=(mc^2)^2$. Zieht man hiervon die Wurzel, erhält man aber streng genommen gleich zwei Lösungen für E: nämlich $+mc^2$ und $-mc^2$.

Der englische Mathematiker Paul Dirac kam 1928 schließlich zu dem Schluss, es müsse ein Gegenstück zu der gewöhnlichen Materie geben. Während sich Letztere aus einem positiv geladenen Atomkern und (negativ geladenen) Elektronen zusammensetzt, bestünde »Antimaterie« aus einem negativen Kern und Teilchen, die das positiv geladene Gegenstück zu einem Elektron darstellen.



GORDON BROWNELL

ERSTER KLINISCHER POSITRONEN-DETEKTOR

Im Jahr 1952 stellte Gordon Brownell (links im Bild, zusammen mit Saul Aronow) den ersten Positronenscanner für die Hirndiagnostik vor.

BIS DAHIN HATTE NOCH KEIN MENSCH ANTIMATERIE BEOBSACHTET, und daher blieben viele Physiker skeptisch. Hier half der Zufall: Der Amerikaner Carl Anderson untersuchte 1932 die Höhenstrahlung in der Atmosphäre. Dazu benutzte er eine Nebelkammer, in der Elementarteilchen beim Durchfliegen Spuren in Form kleiner Wassertröpfchen hinterlassen. Ein Magnetfeld krümmt die Flugbahn der Teilchen. Wie stark, hängt von Masse und Geschwindigkeit des Teilchens ab, die Krümmungsrichtung aber von seinem Ladungsvorzeichen. Am 2. August 1932 entdeckte Anderson etwas Seltsames: die Spur eines positiv geladenen Teilchens, das genau die Masse eines Elektrons haben musste. Anderson hatte das vier Jahre zuvor von Dirac postulierte Teilchen empirisch nachgewiesen: das Positron. Damit war der Grundstein zur PET gelegt.

SCHON ANFANG DER 1950ER JAHRE bauten Gordon L. Brownell und William H. Sweet vom Massachusetts General Hospital (MGH) einen Positronen-Detektor, mit dessen Hilfe sie der Tumordiagnostik neue Möglichkeiten erschließen wollten (siehe Bild links). Trifft ein Positron auf ein im Körper vorhandenes Elektron, so zerfallen sie in zwei Photonen. Physiker nennen diesen Vorgang Annihilation. Die beiden Photonen fliegen dabei genau diametral auseinander. Dies erlaubt es, den Ursprungsort der Annihilation einzugrenzen, denn er muss sich auf der Verbindungslinie zwischen zwei Detektoren befinden, die gleichzeitig ein Photon registrierten (»Koinzidenz«).

Bei den heutigen Tomografen sind viele Detektoren ringförmig um den Kopf des Probanden angeordnet. Durch die Auswertung vieler solcher Koinzidenzereignisse lässt sich die Position der zerfallenden Radionuklide schließlich so genau lokalisieren, dass ein Bild daraus konstruiert werden kann.

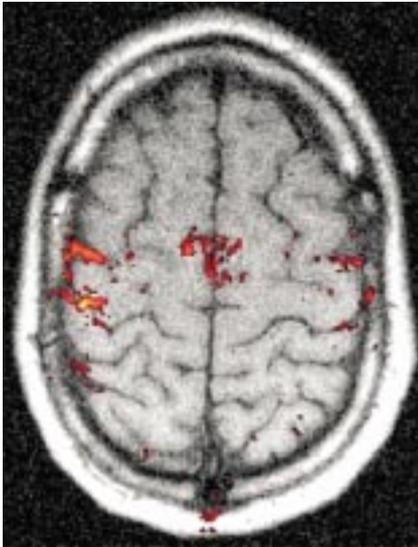
In der PET kommen heute verschiedene Radionuklide zum Einsatz. Sie werden dem Patienten oder Probanden beispielsweise in Form von $H_2^{15}O$ oder Fluordesoxyglucose injiziert. Die gemessene Gammastrahlung lässt Rückschlüsse über Blutversorgung oder Glucoseverbrauch eines Hirnareals zu.

▷ von Signalen in eine Hirnregion und der dortigen Verarbeitung einhergehen.

Folgeschwerer ist jedoch ein methodologisches Problem, das sich fMRT und PET ebenfalls teilen. Wer sich eine mit diesem Verfahren erstellte Aufnahme ansieht, ist fasziniert von der Kontrastschärfe der violett über blau-grün, gelb bis rot changierenden Bilder. Diese Kontraste sind jedoch das Produkt einer Idealisierung. Die tatsächlichen, von den Detektoren gemessenen Werte unterscheiden sich kaum. Der Grund: Anders als die

Aufnahmen suggerieren, arbeiten nicht nur Teile, sondern das gesamte Gehirn permanent – und nur manche Regionen eben noch ein bisschen mehr. Wenn beispielsweise eine Versuchsperson Wörter liest, so sind nicht nur, wie auf entsprechenden Aufnahmen dargestellt, jene Hirnareale aktiv, die für die visuelle Wahrnehmung und die Sprachverarbeitung zuständig sind. Parallel dazu laufen im Gehirn unzählige andere neuronale Prozesse ab, die mit dem getesteten Reiz wenig zu tun haben.

Darüber hinaus ist das Signal-Rausch-Verhältnis der aufgezeichneten Werte äußerst schlecht. Aus diesem Grund werden die gemessenen Signale mittels statistischer Verfahren optimiert. Das bedeutet: Es fließt eine Reihe von Entscheidungen in die Erstellung der Bilder mit ein. PET-Aufnahmen sind also Konstruktionen anhand von theoretischen Vorannahmen und zwar mit Blick auf die angestrebten Ergebnisse! Hinzu kommt: Mit den so gewonnenen Daten fällt es immer noch alles andere als



AUSGERECHNET

Das graue anatomische Hirnbild stammt aus einer MRT-Aufnahme. Farblich überlagert ist der aus funktionellen MRT-Messungen berechnete Unterschied der Hirnaktivität bei zwei verschiedenen Versuchsbedingungen: In der ersten lag der Proband ruhig, in der zweiten bewegte er einen Finger. In die statistische Auswertung flossen je dreißig Originalmessungen ein. Die Farbgebung richtet sich nach der so genannten Glühskala: Je »heißer« (gelb), desto wahrscheinlicher der Aktivitätsunterschied.

leicht, nur jene Hirnaktivitäten darzustellen, die tatsächlich auf die interessierenden Reizeigenschaft zurückzuführen sind. Wie kann man beispielsweise die Hirnaktivität, die durch das Lesen entsteht, von derjenigen trennen, die das Verarbeiten jeglicher Bildinformation erzeugt? Die Forscher behelfen sich mit oft trickreich ausgedachten Kontrollreizen. Im »Lese-Experiment« präsentieren sie den Probanden Ketten von Pseudowörtern, Wörtern also, die aussehen wie solche, aber keinen Sinn ergeben. Daraufhin werden die Messergebnisse von Reiz und Kontrollreiz voneinander subtrahiert. So möchte man erreichen, dass nur jene Daten berücksichtigt werden, die wirklich mit dem verstehenden Lesen von Worten zu tun haben und nicht mit dem bloßen Betrachten irgendwelcher Buchstabenketten. Damit ist klar, dass die Wahl des Kontrollreizes das Aussehen der Bilder ganz erheblich beeinflusst.

Die Datenprozessierung kann aber noch weiter gehen: Um die individuellen Merkmale einzelner Probanden zu unterdrücken, werden in größeren Studien die Bilder gemittelt. Dazu werden die Daten auf ein »Standardhirn« übertragen und dann aufsummiert (siehe Bild unten). Die

in Publikationen präsentierten Aufnahmen sind also zum einen Konstruktionen auf Grund biologischen Wissens und theoretischer Annahmen und darüber hinaus mithilfe von Substraktion und Mittelung bearbeitete Datenmengen. Sie suggerieren dabei eine Kontrastschärfe, die mit dem tatsächlichen Signal-Rausch-Verhältnis wenig zu tun hat. So erstaunt es eigentlich nicht, dass unterschiedliche Messreihen von Forschern, die sich mit annähernd gleichen kognitiven Leistungen befasst haben, zum Teil nur grob ähnliche Muster finden.

Die Verwendung der funktionellen bildgebenden Verfahren in der Kognitionsforschung beruht auf der so genannten Lokalisationsthese, nach der einzelne kognitive, motorische, sensorische oder emotionale Leistungen halbwegs eindeutig auf bestimmte Orte in der Großhirnrinde begrenzt sind. In der Tat stützen die wissenschaftlichen Erkenntnisse der letzten hundert Jahre diese These im Großen und Ganzen. Bei etlichen PET- oder fMRT-Studien kann man sich nicht des

Eindrucks erwehren, dass sie vor allem der nochmaligen Bestätigung schon lange bekannter Gegebenheiten dienen. So zeigen viele Untersuchungen meist nur noch einmal das, was aus der Läsionsforschung, der Pathologie und der Neuropsychologie schon seit längerem, teilweise seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert, bekannt ist. Doch nicht nur die altbackenen Schlussfolgerungen aus manchen Messreihen machen deutlich, dass es an der Zeit ist, die Bilderflut in der Hirnforschung etwas nüchterner zu betrachten.

VERMESSENE GEFÜHLE

Zumindest für Laien erwecken die kontrastscharfen PET- und fMRT-Bilder den Eindruck, das Gehirn arbeite hochgradig seriell und modular. Beispiele sind etwa die von Andreas Bartels und Semir Zeki vorgelegte Studie über die neuronale Grundlage der Liebe (siehe Gehirn&Geist 3/2002, S. 40), Jonathan Cohens Versuch, den Ort des moralischen Urteilens zu finden, oder aber Andrew Newbergs über den Sitz Gottes, die mit der Single-Photon-Emission-Computertomografie (SPECT), einem der PET ähnlichen Verfahren, durchgeführt wurden (siehe Gehirn&Geist 2/2002, S. 10).

Das Problem dieser Studien besteht nicht darin, dass sie versuchen, die neuronalen Grundlagen dieser Phänomene zu erforschen. Lieben ebenso wie eine moralische Entscheidung fällen oder eine religiöse Vorstellung haben bedeutet selbstverständlich, in einem neuronalen Zustand zu sein. Der Haken an diesen oder ähnlich gelagerten Studien ist vielmehr, dass die gemessene Hirnaktivität auf Stimulationen beruht, man also eine, am besten *die* Stimulierung finden muss, die charakteristischerweise Liebe, moralische Zwänge oder religiöse Gefühle hervorruft.

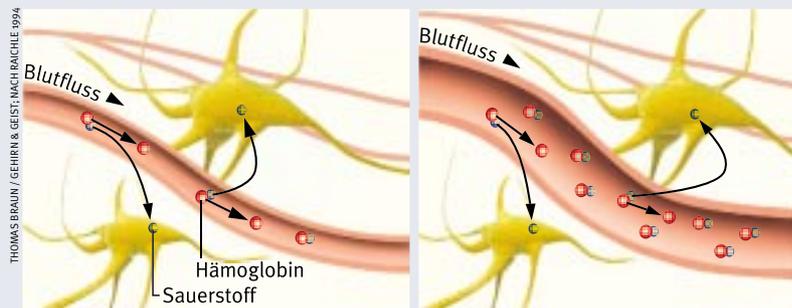
Es braucht keine seitenlangen philosophischen Reflexionen, um sich klar zu machen, dass die neuronale Reaktion auf

STANDARDHIRN

Die Messergebnisse aus vielen Versuchsreihen mit verschiedenen Probanden werden auf ein so genanntes Standardhirn übertragen. Dargestellt ist hier die mit PET-Messungen bestimmte Hirnaktivität bei verschiedenen Sprachaufgaben.

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

WAS MISST DIE FUNKTIONELLE MAGNETRESONANZTOMOGRAFIE?



SCHON 1935 ENTDECKTEN LINUS PAULING UND CHARLES D. CORYELL, dass die magnetischen Eigenschaften des Blutfarbstoffs Hämoglobin mit dessen Sauerstoffbeladung variieren. Seiji Ogawa demonstrierte dann 1990, dass sich diese Änderungen als »BOLD«-Signal (Blood Oxygen Level Dependent) kernspintomografisch erfassen lassen. Das unbeladene Hämoglobin schwächt das Magnetresonanzsignal des umgebenden Gewebes. In Hirnarealen, die gesteigert durchblutet

werden, erhöht sich die Konzentration an sauerstoffbeladenem Hämoglobin in den venösen Gefäßen (rechtes Bild), da die Nervenzellen weniger Sauerstoff verbrauchen, als angeliefert wird. Damit sinkt die Konzentration an unbeladenem Hämoglobin und das MR-Signal wird stärker. Doch wie hängt diese Beobachtung mit der Hirnaktivität zusammen? Nikos Logothetis und Mitarbeiter konnten 2001 durch zeitgleiche Messungen mit Spezialelektroden zeigen, dass das BOLD-Signal weniger mit dem Feuern der Neurone einhergeht als mit dem Einlaufen von Signalen aus anderen Hirnregionen sowie deren Verarbeitung. Ein fehlendes fMRT-Signal bedeutet also nicht unbedingt, dass in diesem Hirnareal keine Neurone aktiv sind. Demnach könnte die übliche Auswertung der fMRT-Daten die Ausdehnung der neuronalen Aktivität im Gehirn systematisch unterschätzen.

▷ die Präsentation von Fotos geliebter Menschen bestenfalls das Erregungsmuster der Verarbeitung von Fotos geliebter Menschen erzeugt, nicht aber das der Liebe. Und selbst wenn Liebe identisch wäre mit dem emotionalen Zustand beim Anschauen des Fotos der Person, die ich liebe, so ist doch sehr zweifelhaft, ob der subjektive Zustand des Verliebtseins wirklich auf ein einziges neuronales Erregungsmuster reduzierbar ist. Kurz: Auch wenn den Wissenschaftlern die begrenzte Aussagekraft ihrer Ergebnisse klar sein mag, so laufen Studien der angesprochenen Art Gefahr, unter der Hand einen besonders naiven Reduktionismus zu propagieren.

Abgesehen von den angesprochenen verfahrenstechnisch und wissenschaftstheoretisch bedingten Einwänden haben die funktionellen Aufnahmen aber noch eine weitere, scheinbar triviale Eigenschaft: Sie sind Bilder. Ein Bild ist zunächst einmal ein Zeichen: Es steht für etwas.

Wenn ich Katze Minki fotografiere, so reflektiert Minki elektromagnetische Wellen eines gewissen Spektrums, die durch den Linsenapparat auf den Film fallen und dort ein Abbild erzeugen. Bei der Entwicklung des Films entsteht dann ein Foto, das ein Objekt mit den Konturen einer Katze zeigt und Licht in einem mehr oder minder ähnlichen Spektralbereich reflektiert wie ehemals Minki. Zeichentheoretisch ist das Foto von Minki ein Zeichen, das kausal verursacht wurde, für etwas steht (nämlich Minki) und dem Abgebildeten ähnlich sieht. Was solche

Bilder bezeichnen, hängt also vom Verfahren ab, mit dem sie erzeugt werden.

Die Aufnahmen der bildgebenden Verfahren sind allerdings alles andere als Fotos. Zwar sind auch sie kausal verursacht, doch zugleich mittels einer Unmenge an Vorwissen, Theorien und Annahmen erzeugt. Noch mehr: PET- oder fMRT-Bilder sind konventionsbedingte und arbiträre – also beliebige – Konstruktionen. Zeichentheoretisch gesehen haben PET- oder fMRT-Bilder daher mit einem Gemälde mehr zu tun als mit einer Fotografie.

PATHOSFORMELN IN DER WISSENSCHAFT

Abgesehen davon, dass Zeichen erzeugt sind und nur für etwas stehen, haben Bilder eine inhaltliche, assoziative Seite, in der das Bildwissen und die nur zum Teil bewusste Bilderkompetenz des Betrachters einfließt. In der Zeichentheorie würde man von der »Intension« – vom Sinn – eines Zeichens sprechen. Die Intension eines Bildes ergibt sich aus dem kulturellen Umfeld, dem Symbolkontext seines Betrachters und der von ihm verinnerlichten Bildsprache. Genau dieser Punkt macht Bilder so faszinierend, aber auch so problematisch.

Der Kunsthistoriker und Kulturwissenschaftler Aby Warburg hat den Begriff der Pathosformel eingeführt. Er meinte damit die bildliche Darstellung eines gesteigerten Gefühlsausdrucks, einer Geste, die formelhaft in der Geschichte wieder und wieder aufgegriffen wird, sei es bei Statuen, Bildern, Münzen oder in an-

deren Medien. Warburgs Interesse galt besonders dem Studium der Bildersprache im Bereich des Politischen. Doch auch naturwissenschaftliche Darstellungen haben ihre Pathosformeln, also ihre tradierten Perspektiven, Aufschnitte, Kontexte, Gestaltungsweisen und Motivarrangements, die aus der Kunstgeschichte und der Geschichte wissenschaftlicher Illustration übernommen wurden. Eine wissenschaftliche Auseinandersetzung über Grenzen und Schwierigkeiten im Umgang mit PET- oder fMRT-Darstellungen darf sich deshalb nicht auf die technischen, biologischen und wissenschaftstheoretischen Probleme der Verfahren beschränken, sondern muss lernen, diese Bilder als Bilder zu betrachten. ◀



ALEXANDER GRAU ist promovierter Philosoph und arbeitet zurzeit am Seminar für Allgemeine und Vergleichende Literaturwissenschaft der Freien Universität Berlin.

Literaturtipps

Logothetis, N. K. et al.: Neurophysiological Investigation of the Basis of the fMRI Signal. In: Nature 412, 2001, S. 150.

Raichle, M. E.: Bildliches Erfassen von kognitiven Prozessen. In: Spektrum der Wissenschaft, Juni 1994, S. 56.



VON DE ANDRÉS

MICHAEL BOCK

ist promovierter Physiker und forscht am Deutschen Krebsforschungszentrum (DKFZ) in Heidelberg

ALLES ANDERE ALS KUNST

JEDE NEUE WISSENSCHAFTLICHE METHODE ruft automatisch Diskussionen über die Aussagekraft ihrer Ergebnisse hervor. Da fehlt es selten an kritischen Stimmen. So analysiert Alexander Grau im nebenstehenden Artikel »Momentaufnahmen des Geistes?« die neueren funktionellen bildgebenden Verfahren, namentlich Positronen-Emissionstomografie (PET) und funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT). Sein Augenmerk richtet er dabei vor allem auf die Interpretation der Messergebnisse: Seiner Meinung nach entstehen die PET- und fMRT-Aufnahmen willkürlich – geleitet durch Wunsch- und Zielvorstellungen der Forscher. Und daher will er die Bilder eher als Kunstwerke denn als Messergebnisse verstanden wissen.

Tatsächlich leiden beide Techniken unter chronischer Signalarmut. Werden bestimmte Hirnareale aktiviert, so schlägt sich das etwa in der fMRT in Signalschwankungen nieder, die nur wenige Prozent des Gesamtsignals ausmachen. Um den Effekt überhaupt sichtbar zu machen, bedarf es daher vieler Messwiederholungen sowie komplizierter statistischer Datenanalysen.

Grundsätzlich lässt sich gegen ein solches Vorgehen aber nichts einwenden. Um schwache Signale zu detektieren, muss nun einmal ein größerer Aufwand betrieben werden. Um exotische Elementarteilchen nachzuweisen, nehmen Forscher in der modernen Hochenergiephysik oder Astronomie sogar Messzeiten von Monaten bis Jahren in Kauf.

Grau kritisiert zu Recht, dass die farbige markierten Hirnareale oft von räumlich deutlich geringer aufgelösten Aufnahmen stammen als die gestochen scharfen,

schwarz-weißen anatomischen Bilder, denen sie dann überlagert werden. Da zudem fMRT-Aufnahmen örtlich verzerrt sein können, gestaltet es sich manchmal tatsächlich schwierig, die aktivierten Areale den anatomischen Strukturen genau zuzuordnen. Nur sind diese Probleme den damit befassten Wissenschaftlern schon lange bekannt. Und eben deshalb wurden auch Methoden entwickelt, um diese Effekte zu messen und zu korrigieren.

ÜBER SINN ODER UNSINN DER REIZE, mit denen Forscher ihre Testpersonen im Tomografen stimulieren, lässt sich trefflich debattieren: So ist sicher richtig, dass man mit einem bildgebenden Verfahren nicht der gesamten Komplexität eines Gefühls wie der Liebe gerecht wird. Andererseits ist aber auch klar, dass dieses äußerst subjektive und emotionsbehaftete Erlebnis eine physiologische Grundlage hat, die sich durchaus experimentell untersuchen lässt. Wäre es nicht interessant herauszufinden, wie es die legendären Schmetterlinge schaffen, gerade immer im Bauch ihr Unwesen zu treiben?

Studien, in denen lange bekannte Hirnareale wie der motorische Cortex untersucht werden, erscheinen Grau hingegen zu banal. Dabei ist es ein Gebot wissenschaftlicher Seriosität, dass eine sich etablierende Technik wie die fMRT zunächst einmal zeigt, inwiefern ihre Resultate mit denen der entsprechenden Standardverfahren vergleichbar sind. Und selbst diese scheinbar simplen Ergebnisse werden ungeheuer wichtig, wenn es darum geht, bei einem Patienten mit Hirntumor den Zugangsweg für den Neurochirurgen zu planen.

Die grauen Bilder mit bunten Klecksen mögen einen künstlerischen Eindruck erwecken – entstanden ist die Farbmarkierung jedoch aus simpler Notwendigkeit: Die anatomischen Schnittbilder werden seit ihrer Einführung in Graustufen dargestellt, einfach weil es lange Zeit keine farbigen Röntgenfilme gab. Um nun die funktionellen Hirnareale abzugrenzen, blieb als einziger Ausweg die Flucht in die Farbe. Kunstgeschichtliche Traditionen haben hier und bei der Wahl der Schnittführungen sicherlich keine Rolle gespielt. Letztere werden vielmehr so gewählt, dass mit möglichst geringem Messaufwand ein Maximum an Information gewonnen wird.

MANCHER HIRNFORSCHER MAG SICH GESCHMEICHEL FÜHLEN, wenn seine Bilder als Kunstwerke betrachtet werden. Eine ästhetische Darstellung der Daten widerspricht jedoch nicht der Tatsache, dass es sich um wissenschaftlich relevante, quantitative Ergebnisse handelt. Die Aufnahmen als Kunst anzusehen, rückt sie in die Nähe schöner, aber beliebiger und willkürlicher Artefakte, die weder exakt noch reproduzierbar sein müssen.

Den Vorwurf der Beliebigkeit kann man den Bildern nun aber gerade nicht machen. Im Gegensatz zu einem Foto, bei dem der Fotograf nur selten angibt, mit welcher Kamera auf welchem Film er es bei welcher Belichtungszeit geschafft hat, die triste Landschaft in Schönheit erstrahlen zu lassen, werden bei PET- oder fMRT-Studien Messparameter und Randbedingungen stets exakt dokumentiert: Wer schon einmal diagnostische Aufnahmen betrachtet hat, wird sich vielleicht über die kryptischen Angaben am Rand gewundert haben. Sie geben dem Experten jedoch genaue Auskunft über die technischen Details der Bilder.

Unbestritten sind funktionelle Hirnaufnahmen faszinierend, rufen kontroverse Diskussionen hervor und bedürfen vieler Erläuterungen. Doch von Kunstwerken oder gar Zufallsprodukten sind sie weit entfernt. ◀