



# DAS MANIFEST

Elf führende Neurowissenschaftler über Gegenwart und Zukunft der Hirnforschung

## Was wissen und können Hirnforscher heute?

**A**ngesichts des enormen Aufschwungs der Hirnforschung in den vergangenen Jahren entsteht manchmal der Eindruck, unsere Wissenschaft stünde kurz davor, dem Gehirn seine letzten Geheimnisse zu entreißen. Doch hier gilt es zu unterscheiden: Grundsätzlich setzt die neurobiologische Untersuchung des Gehirns

auf drei verschiedenen Ebenen an. Die oberste erklärt die Funktion größerer Hirnareale, beispielsweise spezielle Aufgaben verschiedener Gebiete der Großhirnrinde, der Amygdala oder der Basalganglien. Die mittlere Ebene beschreibt das Geschehen innerhalb von Verbänden von hunderten oder tausenden Zellen. Und die unterste Ebene umfasst die Vor-

gänge auf dem Niveau einzelner Zellen und Moleküle. Bedeutende Fortschritte bei der Erforschung des Gehirns haben wir bislang nur auf der obersten und der untersten Ebene erzielen können, nicht aber auf der mittleren.

Verschiedene Methoden ermöglichen einen Einblick in die oberste Organisationsebene des Gehirns: Bildgebende Verfahren wie die Positronen-Emissionstomografie (PET) und die funktionelle Magnetresonanztomografie (fMRT), die den Energiebedarf von Hirnregionen

- ▶ Prof. Dr. Hannah Monyer, Ärztliche Direktorin der Abteilung für Klinische Neurobiologie, Universität Heidelberg
- ▶ Prof. Dr. Frank Rösler, Abteilung Psychologie, Philipps-Universität Marburg
- ▶ Prof. Dr. Dr. Gerhard Roth, Direktor am Institut für Hirnforschung der Universität Bremen und Rektor des Hanse-Wissenschaftskollegs in Delmenhorst
- ▶ Prof. Dr. Henning Scheich, Direktor am Leibniz-Institut für Neurobiologie, Magdeburg
- ▶ Prof. Dr. Wolf Singer, Direktor am Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Abteilung Neurophysiologie, Frankfurt am Main





- ▶ Prof. Dr. Christian E. Elger, Direktor der Klinik für Epileptologie, Uni Bonn
- ▶ Prof. Dr. Angela D. Friederici, Abteilung Neuropsychologie, Direktorin am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften Leipzig
- ▶ Prof. Dr. Christof Koch, California Institute of Technology (Caltech), Computation and Neural Systems, Pasadena
- ▶ Prof. Dr. Heiko Luhmann, Institut für Physiologie und Pathophysiologie, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
- ▶ Prof. Dr. Christoph von der Malsburg, Institut für Neuroinformatik, Ruhr-Universität Bochum sowie Computational Vision Lab der University of Southern California, Los Angeles
- ▶ Prof. Dr. Randolph Menzel, Abteilung Neurobiologie, Freie Universität Berlin

messen, besitzen eine gute räumliche Auflösung, bis in den Millimeterbereich. Zeitlich gesehen hinken sie den Vorgängen allerdings mindestens um Sekunden hinterher. Die klassische Elektroencephalografie (EEG) dagegen misst die elektrische Aktivität von Nervenzellverbänden quasi in Echtzeit, gibt aber nicht genau Aufschluss über den Ort des Geschehens. Etwas besser – etwa im Zentimeterbereich – liegt die räumliche Auflösung bei der neueren Magnetencephalografie (MEG), mit der sich die Änderung von Magnetfeldern um elektrisch aktive Neuronenverbände millisekundengenau sichtbar machen lässt.

### DREI EBENEN DER ERKENNTNIS

Insbesondere durch die Kombination mehrerer dieser Technologien können wir das Zusammenspiel verschiedener Hirnareale darstellen, das uns kognitive Funktionen wie Sprachverstehen, Bilder erkennen, Tonwahrnehmung, Musikver-

arbeitung, Handlungsplanung, Gedächtnisprozesse sowie das Erleben von Emotionen ermöglicht. Damit haben wir eine thematische Aufteilung der obersten Organisationsebene des Gehirns nach Funktionskomplexen gewonnen.

Auch hinsichtlich der untersten neuronalen Organisationsebene hat die Entwicklung völlig neuartiger Methoden wie etwa der Patch-clamp-Technik, der Fluoreszenzmikroskopie oder des Xenopus-Oocyten-Expressionssystems zu einem Erkenntnisprung geführt. Inzwischen wissen wir sehr viel mehr über die Ausstattung der Nervenzellmembran mit Rezeptoren und Ionenkanälen sowie über deren Arbeitsweise, die Funktion von Neurotransmittern, Neuropeptiden und Neurohormonen, den Ablauf intrazellulärer Signalprozesse oder die Entstehung und Fortleitung neuronaler Erregung. Selbst was in einem einzelnen Neuron passiert, können wir mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung ana-

lyisieren sowie in Computermodellen simulieren. Dies ist von großer Bedeutung für das grundlegende Verständnis der Arbeitsweise von Sinnesorganen und Nervensystemen sowie für die gezielte Behandlung neurologischer und psychischer Erkrankungen.

Zweifellos wissen wir also heute sehr viel mehr über das Gehirn als noch vor zehn Jahren. Zwischen dem Wissen über die obere und untere Organisationsebene des Gehirns klafft aber nach wie vor eine große Erkenntnislücke. Über die mittlere Ebene – also das Geschehen innerhalb kleinerer und größerer Zellverbände, das letztlich den Prozessen auf der obersten Ebene zu Grunde liegt – wissen wir noch erschreckend wenig.

Auch darüber, mit welchen Codes einzelne oder wenige Nervenzellen untereinander kommunizieren (wahrscheinlich benutzen sie gleichzeitig mehrere solcher Codes), existieren allenfalls plausible Vermutungen. Völlig unbekannt ist ▶





FRANK RÖSLER

ROLF K. WEGST, GIESSEN

## Es gibt Grenzen der Erkenntnis – auch für die Hirnforschung!

Die Individualität und Plastizität des menschlichen Gehirns macht eine genaue Vorhersage des Verhaltens einer einzelnen Person prinzipiell unmöglich.

**IN NEUROWISSENSCHAFTLICHEN DISKUSSIONEN** – etwa der um den »freien Willen« – vertreten Hirnforscher gern die These, das Gehirn funktioniere nach den Gesetzen der klassischen Physik. Demnach wäre es durch die aktuellen Aktivierungszustände determiniert, die wiederum vom Genom, der Lerngeschichte und den momentanen Reizgegebenheiten abhängen. Soweit keine Einwände. Aber! Oft wird dabei der Eindruck vermittelt, das Gehirn sei so mechanistisch zu verstehen wie eine Uhr. Eine unangenehme Vorstellung, denn dann wäre das individuelle Verhalten tatsächlich in derart schlichter Weise festgelegt und man könnte es – genaue Kenntnisse über die »Hirnmechanik« vorausgesetzt – exakt vorhersagen.

*»Um abzusehen, ob jemand in einer bestimmten Situation einen Mord begeht, reicht es nicht, die aktuelle Aktivität aller seiner Neurone zu kennen«*

Vergegenwärtigt man sich einige Zahlen, wird rasch klar, dass es sich dabei um einen Trugschluss handelt. Das menschliche Gehirn besitzt circa  $10^{12}$  Nervenzellen. Jedes Neuron interagiert über synaptische Verbindungen mit 10 000 bis 15 000 anderen Neuronen; die Gesamtzahl der Synapsen liegt folglich in der Größenordnung von  $10^{16}$ .

Angenommen, zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$  seien an einem Übergang des Systems Gehirn von einem Zustand zum nächsten zehn Prozent des Gesamtsystems beteiligt. Ein naturwissenschaftlicher Beobachter, der den Zustand zum Zeitpunkt  $t$  erkennen und den zum Zeitpunkt  $t+1$  voraussehen möchte, müsste nicht nur gleichzeitig die Aktivität von  $10^{11}$

Neuronen ( $100\,000\,000\,000$ ) registrieren, sondern auch die Übergangsregeln kennen, mit denen aus diesem Neuronenzustand der nächste extrapoliert werden kann. Dies wiederum erfordert genaueste Kenntnis über den Zustand aller  $10^{15}$  beteiligten Synapsen, die den Einfluss der Neurone aufeinander vermitteln.

Möchte ein Hirnforscher vorhersagen, ob jemand in einer bestimmten Situation einen Mord begehen wird, müsste er also nicht nur die aktuelle Aktivität der  $10^{11}$  Neurone dieses Individuums unter dem Einfluss einer bestimmten Reizkonstellation kennen, sondern auch wissen, wie sich die Neuronenaktivität bis zum Zeitpunkt der Entscheidung entwickeln wird. Dieser Prozess aber wird bestimmt durch

die jeweils beteiligte Makro- und Mikrostruktur des Gehirns bis hinunter zur molekularen Ebene einer Synapse – eben das, was Theoretiker bei neuronalen Netzen in Zahlenwerte für synaptische Empfindlichkeiten zu fassen versuchen. Natürlich ist die funktionale Struktur des Gehirns nicht bei jedem Menschen gleich. Sie hängt ab von den genetischen Anlagen sowie der individuellen Lerngeschichte – und sie ändert sich ständig: Das Gehirn lernt permanent!

Angenommen, der relevante psychische Zeittakt dauert eine zehntel Sekunde. Bereits nach einer Minute hat das Gehirn 600 Zustandsveränderungen durchlaufen und dabei auch seine Mikrostruktur verändert. Allein um den Über-

gang von  $t$  zu  $t+1$  exakt vorhersagen zu können, müsste ein Wissenschaftler nicht nur das menschliche Gehirn im Prinzip verstehen, sondern auch alle am Übergang beteiligten Strukturen dieses individuellen Gehirns binnen einer zehntel Sekunde bis ins aller kleinste Detail erfassen!

**KLAR IST DAMIT:** Auch der akribischste Forscher wird diese Zustandsbeschreibung in absehbarer Zeit nicht leisten können. Für die Neurowissenschaften und für unser Verständnis von Verhalten und Hirnfunktionen folgt daraus: Auch wenn das Gehirn deterministisch funktioniert, ist es in seiner Komplexität niemals vollständig beschreib- und verstehbar.

Dies schließt natürlich nicht aus, dass sich Verhaltenstendenzen überzufällig richtig vorhersagen lassen. Ebenso kann ein Meteorologe voraussagen, ob es morgen mit großer Wahrscheinlichkeit in Heidelberg regnen wird. Wie viel Regen genau fallen wird, zu welcher Uhrzeit und über welchen Stadtteilen, bleibt aber offen – trotz all unseres Wissens über die deterministischen Gesetze von Luftdruck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit sowie über die Molekularbewegungen in Gasen. Es ist nur eine wahrscheinliche, niemals eine exakte Vorhersage möglich.

Kein Grund freilich, sich entmutigen zu lassen. Denn dass wir mittlerweile überhaupt solche Erkenntnisgrenzen beschreiben können, verdanken wir vor allem dem in den letzten fünfzig Jahren immens gewachsenen Wissen über die Funktionsweise des Gehirns.

**FRANK RÖSLER** ist Professor für allgemeine und biologische Psychologie an der Philipps-Universität Marburg.

▷ zudem, was abläuft, wenn hundert Millionen oder gar einige Milliarden Nervenzellen miteinander »reden«.

Nach welchen Regeln das Gehirn arbeitet; wie es die Welt so abbildet, dass unmittelbare Wahrnehmung und frühere Erfahrung miteinander verschmelzen; wie das innere Tun als »seine« Tätigkeit erlebt wird und wie es zukünftige Aktionen plant, all dies verstehen wir nach wie vor nicht einmal in Ansätzen. Mehr noch: Es ist überhaupt nicht klar, wie man dies mit den heutigen Mitteln erforschen könnte. In dieser Hinsicht befinden wir uns gewissermaßen noch auf dem Stand von Jägern und Sammlern.

Die Beschreibung von Aktivitätszentren mit PET oder fMRT und die Zu-

raumzeitlichen Aktivitätsmustern in diesen neuronalen Netzwerken. Um diesen Signalcode zu entschlüsseln, bedarf es wahrscheinlich paralleler Ableitetechniken, die eine gleichzeitige Messung an vielen Stellen des Gehirns erlauben.

Doch auch wenn viele Geheimnisse noch darauf warten gelüftet zu werden, hat die Hirnforschung bereits heute einige ganz erstaunliche Erkenntnisse gewonnen. Beispielsweise wissen wir im Wesentlichen, was das Gehirn gut leisten kann und wo es an seine Grenzen stößt. Mit am eindrucksvollsten ist seine enorme Adaptions- und Lernfähigkeit, die – und das ist wohl der überraschendste Punkt – zwar mit dem Alter abnimmt, aber bei weitem nicht so stark wie vermutet.

Nervenzellen bilden. Zum jetzigen Zeitpunkt verstehen wir noch nicht, wie sich bei dieser »Neurogenese« neue Nervenzellen in alte Verschaltungen einfügen und welche Funktionen sie dann übernehmen. Die Frage, ob sich eine medikamentös induzierte Neurogenese für ursächliche Therapien von neurodegenerativen Erkrankungen einsetzen lässt, können wir daher im Moment noch nicht beantworten.

### DIE NATUR DES GEISTES

Wir haben herausgefunden, dass im menschlichen Gehirn neuronale Prozesse und bewusst erlebte geistig-psychische Zustände aufs Engste miteinander zusammenhängen und unbewusste Prozesse bewussten in bestimmter Weise vo-

## »Mittlerweise können wir beurteilen, welche Lernkonzepte – etwa für die Schule – am besten an die Funktionsweise des Gehirns angepasst sind«

ordnung dieser Areale zu bestimmten Funktionen oder Tätigkeiten hilft hier kaum weiter. Dass sich all das im Gehirn an einer bestimmten Stelle abspielt, stellt noch keine Erklärung im eigentlichen Sinne dar. Denn »wie« das funktioniert, darüber sagen diese Methoden nichts, schließlich messen sie nur sehr indirekt, wo in Haufen von Hunderttausenden von Neuronen etwas mehr Energiebedarf besteht. Das ist in etwa so, als versuchte man die Funktionsweise eines Computers zu ergründen, indem man seinen Stromverbrauch misst, während er verschiedene Aufgaben abarbeitet.

### HOCHDYNAMISCHE NETZWERKE

Vieles spricht dafür, dass neuronale Netzwerke als hochdynamische, nichtlineare Systeme betrachtet werden müssen. Das bedeutet, sie gehorchen zwar mehr oder weniger einfachen Naturgesetzen, bringen aber auf Grund ihrer Komplexität völlig neue Eigenschaften hervor. Repräsentationen von Inhalten – seien es Wahrnehmungen oder motorische Programme – entsprechen hochkomplexen

Lange Zeit dachte man, die Hirnentwicklung sei irgendwann in der Jugend abgeschlossen und die neuronalen Netzwerke seien endgültig angelegt. Mittlerweile steht aber fest, dass sich auch im erwachsenen Gehirn zumindest im Kurzstreckenbereich – auf der Ebene einzelner Synapsen – noch neue Verschaltungen bilden können. Außerdem können für bestimmte Aufgaben zusätzliche Hirnregionen rekrutiert werden – etwa beim Erlernen von Fremdsprachen in fortgeschrittenem Alter.

Dank dieser Plastizität kann Hans also durchaus noch lernen, was Hänchen nicht gelernt hat – auch wenn es mit den Jahren deutlich schwerer fällt. Die molekularen und zellulären Faktoren, die der Lernplastizität zu Grunde liegen, verstehen wir mittlerweile so gut, dass wir beurteilen können, welche Lernkonzepte – etwa für die Schule – am besten an die Funktionsweise des Gehirns angepasst sind.

Vor allem aus Tierversuchen wissen wir seit einigen Jahren außerdem, dass sich selbst im erwachsenen Gehirn – zumindest an einigen Stellen – noch neue

rausgehen. Die Daten, die mit modernen bildgebenden Verfahren gewonnen wurden, weisen darauf hin, dass sämtliche innerpsychischen Prozesse mit neuronalen Vorgängen in bestimmten Hirnarealen einhergehen – zum Beispiel Imagination, Empathie, das Erleben von Empfindungen und das Treffen von Entscheidungen beziehungsweise die absichtsvolle Planung von Handlungen. Auch wenn wir die genauen Details noch nicht kennen, können wir davon ausgehen, dass all diese Prozesse grundsätzlich durch physikochemische Vorgänge beschreibbar sind. Diese näher zu erforschen ist die Aufgabe der Hirnforschung in den kommenden Jahren und Jahrzehnten.

Geist und Bewusstsein – wie einzigartig sie von uns auch empfunden werden – fügen sich also in das Naturgeschehen ein und übersteigen es nicht. Und: Geist und Bewusstsein sind nicht vom Himmel gefallen, sondern haben sich in der Evolution der Nervensysteme allmählich herausgebildet. Das ist vielleicht die wichtigste Erkenntnis der modernen Neurowissenschaften. ▷

## Was wissen und können Hirnforscher in zehn Jahren?

**W**as wir in zehn Jahren über den genaueren Zusammenhang von Gehirn und Geist wissen werden, hängt vor allem von der Entwicklung neuer Untersuchungsmethoden ab. Das »Wo« im Gehirn, über das uns heute die funktionelle Kernspintomografie Auskunft gibt, sagt uns noch nicht, »wie« kognitive Leistungen durch neuronale Mechanismen zu beschreiben sind. Für einen echten Fortschritt in diesem Bereich benötigen wir ein Verfahren, das die Registrierung beider Aspekte in einem ermöglicht.

Wie entstehen Bewusstsein und Ich-Erleben, wie werden rationales und emotionales Handeln miteinander verknüpft, was hat es mit der Vorstellung des »freien Willens« auf sich? Die großen Fragen der Neurowissenschaften zu stellen ist heute schon erlaubt – dass sie sich bereits in den nächsten zehn Jahren beantworten lassen, allerdings eher unrealistisch. Selbst ob wir sie bis dahin auch nur sinnvoll angehen können, bleibt fraglich. Dazu müssten wir über die Funktionsweise des Gehirns noch wesentlich mehr wissen.

Sehr wohl aber kann es der Hirnforschung innerhalb der nächsten Dekade gelingen, Erkenntnisse zu erarbeiten, die

*»In absehbarer Zeit wird eine neue Generation von Psychopharmaka entwickelt, die selektiv in bestimmten Hirnregionen an definierten Nervenzellrezeptoren angreift. Dies könnte die Therapie psychischer Störungen revolutionieren«*

für Antworten auf diese übergeordneten Fragen entscheidend sein werden. So wollen wir herausfinden, wie Schaltkreise von hunderten oder tausenden Neuronen im Verbund des ganzen Gehirns Information codieren, bewerten, speichern und auslesen. Die mittlere Ebene – die Untersuchung der Arbeitsweise von kleineren Bereichen des Nervensystems, von Mikroschaltkreisen – gelangt also zuneh-

mend in den Mittelpunkt der Forschung. Das bisher übliche Verfahren, solche Fragen an Gehirnschnitten zu untersuchen, gehört dann wahrscheinlich der Vergangenheit an, da es nur Momentaufnahmen in einem nicht mehr als Ganzen funktionierenden Schaltwerk darstellen kann. Stattdessen können wir in zehn Jahren wahrscheinlich die räumliche und zeitliche Verteilung von neuronaler Erregung bis auf die Ebene aller beteiligten Neurone in einem Mikroschaltkreis mit bildgebenden Verfahren hoher zeitlicher Auflösung im intakten Nervensystem erfassen. Multiple-Photonen-Mikroskopie, funktionelle Farbstoffe und molekulargenetische Methoden versetzen uns in die Lage, die Regeln des Informationsflusses innerhalb einzelner Neurone und im Verbund von Neuronen zu erkennen.

Voraussetzung für all diese Experimente ist aber, dass die untersuchten Tiere – denn an diesen werden die Versuche vor allem stattfinden – nicht narkotisiert sind und auf Grund schmerzfreier Verfahren ihr natürliches Verhalten zeigen. Nur dann ist es möglich, die Hirnaktivität dieser Tiere beim aktiven Lösen von Aufgaben zu beobachten und dabei die wichtigste Funktion des Gehirns, sei-

ne Produktivität und Spontaneität, in die Analyse miteinzubeziehen.

Ganz wesentlich unterstützt wird das Verständnis der Arbeitsweise von Mikroschaltkreisen durch eine detailreiche Modellierung mit Hochleistungsrechnern. Diese Modellierung orientiert sich zukünftig allerdings weniger an den heutigen Konzepten der Informatik und künstlichen Intelligenz als vielmehr ▷



WOLFGANG PRINZ

**ICH BIN PSYCHOLOGE, NICHT HIRNFORSCHER.** Psychologen untersuchen, wie kognitive Leistungen von inneren und äußeren Bedingungen abhängen und ziehen daraus Rückschlüsse auf die zu Grunde liegenden Mechanismen. Beim Blick auf die Hirnforschung frage ich mich also vor allem, was sie zum Verständnis dieser Funktionsmechanismen beitragen kann. Dabei sehe ich Licht und Schatten: zum einen immer detaillierteres Wissen darüber, wie kognitive Prozesse mit Hirnfunktionen zusammenhängen, zum anderen große Defizite im theoretischen Verständnis dieser Zusammenhänge. Kurz gesagt: Wir wissen viel, verstehen aber nur wenig. Kein Wunder, dass dann bisweilen Streit darüber entsteht, wie es mit dem Verstehen weitergehen kann.

Man kann Leistungen von Gehirnen unter drei Gesichtspunkten betrachten: Verhalten, Repräsentation und Subjektivität. Wie nicht anders zu erwarten, entzündet sich Streit vor allem am letzten Punkt.

Die Evolution hat Gehirne hervorgebracht, um bedürfnis- und situationsgerechtes Verhalten sicherzustellen. Sie setzen Information aus dem Organismus und seiner Umwelt in Verhalten um. Aus dieser Perspektive bereitet die Beschreibung neuronaler Funktionen und Leistungen konzeptuell keine Probleme; alle Größen lassen sich bruchlos zueinander in Beziehung setzen. Gehirne generieren bei gegebener innerer und äußerer Situation das jeweils optimale Verhalten. Die Regeln für diese Zuordnungen können sie lernen.

Auch Repräsentationen dienen zunächst der Verhaltensregulierung. Sie

# Neue Ideen tun Not

Um Phänomene wie Bewusstsein und Subjektivität zu erklären, brauchen wir eine neue Rahmentheorie, die kulturelle und soziale Einflüsse berücksichtigt.

machen Information verfügbar, die über die aktuelle innere und äußere Situation hinausgeht. Genau darin liegt aber die Schwierigkeit. Denn Repräsentationen sind Vorgänge oder Zustände im Gehirn, die sich auf etwas beziehen, was von ihnen selbst verschieden ist. Sie sind interne Stellvertreter für Sachverhalte außerhalb des Systems. Wie bringt das Gehirn es fertig, solche Sachverhalte zu repräsentieren? Welche Eigenschaften von Vorgängen im Gehirn stehen für welche Eigenschaften von Vorgängen in der Welt? Einiges wissen wir, aber von einem Verständnis der Grundprinzipien sind wir noch weit entfernt.

**NOCH HILFLOSER SIND WIR**, wenn es um die Subjektivität geht – also um die Frage, wie Gehirnprozesse Bewusstsein hervorbringen. Wir gehen zwar davon aus, dass Bewusstsein eine wichtige kognitive und verhaltenssteuernde Funktion besitzt. Worin diese besteht, in was für Gehirnen sie sich entwickeln kann und unter welchen Bedingungen, verstehen wir aber nicht. Vielleicht kann man nach dem Sitz des Bewusstseins im Gehirn gar nicht so suchen wie nach dem Sitz der Sprache oder des Sehens. Was die Beziehung zwischen Gehirnprozessen und Bewusstsein betrifft, wissen wir de facto also nicht einmal, wie wir die Frage genau stellen sollen.

Was können wir tun, um am Ende doch zu verstehen? Ich denke, dass es unterschiedliche Antworten auf die angesprochenen Probleme geben muss. Um zu klären, wie Gehirne Repräsentationen hervorbringen, gilt es zu ergründen, wie die Beziehungen zwischen kognitiven Prozessen und Gehirnfunktionen im Detail beschaffen sind. Hier bin ich zuver-

sichtlich, dass wir mit wachsendem empirischem Wissen auch zu einem tieferen Verständnis gelangen.

Was Subjektivität und Bewusstsein angeht, glaube ich dagegen nicht, dass mehr Wissen automatisch zu mehr Verstehen führt. Was hier nämlich fehlt, ist eine übergeordnete Theorie, die die objektive Sprache, in der wir über Gehirnprozesse reden, und die subjektive Sprache der Bewusstseinsphänomene zueinander in Beziehung setzt und im Rahmen eines einheitlichen Systems den objektiven und den subjektiven Sachverhalten ihren Platz zuweist. Bisher haben wir das weit gehend den Philosophen überlassen – mit mäßigem Erfolg. Wenn wir hier wirklich weiterkommen wollen, müssen wir in dieses Geschäft selbst einsteigen. Denn neue theoretische Ideen tun Not – egal woher sie kommen.

**ALLERDINGS – UND JETZT KOMMT DER STREITPUNKT** – glaube ich, anders als die Autoren des Manifests, nicht, dass der Ideenvorrat der Hirnforschung ausreichen kann, um die Natur von Subjektivität und Bewusstsein aufzuklären, das heißt dass diese Phänomene vollständig verstanden sind, sobald ihre Funktionsgrundlagen verstanden sind. Gewiss ist es notwendig, die natürlichen Funktionsgrundlagen zu durchschauen – hinreichend ist es aber keineswegs. Für eine einigermaßen vollständige Erklärung brauchen wir vielmehr eine umfassende Rahmentheorie, die neben den natürlichen auch die sozialen und kulturellen Grundlagen von Subjektivität und Bewusstsein in Betracht zieht.

Ich weiß natürlich, dass man soziale und kulturelle Prozesse auch als Inter-

aktionen zwischen Gehirnen darstellen kann, und ich halte dies auch für einen charmanten und manchmal sogar produktiven Gedanken. Das ändert aber nichts daran, dass man hier eine Analyse- und Integrationsebene betritt, die den Horizont der Hirnforschung überschreitet.

Die Autoren des Manifests – so scheint es mir – reden hier einem Reduktionismus das Wort, gegen den sie sich an anderer Stelle zu Recht zur Wehr setzen. Denn ebenso wenig wie sich Gehirnfunktionen auf Physik und Chemie reduzieren lassen, lassen sich soziale und kulturelle Phänomene auf Hirnphysiologie zurückführen.

**DASS ALSO »UNSEREM« MENSCHENBILD BETRÄCHTLICHE ERSCHÜTTERUNGEN** ins Haus stehen und wir deshalb ein ganz neues brauchen, halte ich noch längst nicht für ausgemacht. Sonderbar und rätselhaft übrigens, dass die Dinge bei Bach'schen Fugen ganz anders bestellt zu sein scheinen als bei Menschen. Ihre Schönheit, so lesen wir, bleibt von jeglicher Reduktion und Dekonstruktion ganz und gar unberührt. Warum nicht auch unser Bild vom Menschen? Reduktionist muss man schon ganz oder gar nicht sein. Halb oder manchmal geht nicht.

Was sicher revidiert werden muss, ist der kaum reflektierte Naturalismus, der dieses Menschenbild und auch das mancher Hirnforscher prägt. Menschen sind aber das, was sie sind, nun einmal nicht nur durch ihre Natur, sondern vor allem auch durch ihre Kultur – und das durch und durch, bis in die tiefsten Wurzeln ihrer kognitiven Leistungen und die hintersten Winkel und Windungen ihrer Gehirne. Deshalb kann Hirnforschung hier zwar sicher vieles, aber gewiss nicht alles ausrichten. Als neue Leitdisziplin der Humanwissenschaften, die sie gerne wäre, taugt sie jedenfalls nicht.

---

**WOLFGANG PRINZ** ist Direktor am MPI für Kognitions- und Neurowissenschaften in München.

▷ an den wirklichen physiologischen Vorgängen. Und zwar nicht nur an denen der unteren Ebene – einzelnen Neuronen mit ihren Ausstattungen an Kanälen und Rezeptoren, ihren wahren Gestalten und ihren plastischen Eigenschaften –, sondern vor allem auch an den neuronalen Prozessen der bisher noch so wenig verstandenen mittleren Ebene, wie sie beim Lernen, beim Erkennen und Planen von Handlungen vorkommen. So wird sich neben der experimentellen Neurobiologie die theoretische Neurobiologie als Forschungsdisziplin durchsetzen, die dann ähnlich wie die theoretische Physik innerhalb der Physik eine große Eigenständigkeit besitzt.

Am Ende der Bemühungen werden die Neurowissenschaften sozusagen das kleine Einmaleins des Gehirns verstehen. Daraus lassen sich dann strenge Hypothesen zum Studium übergeordneter Hirnfunktionen ableiten: beispielsweise wie das Gehirn seine zahlreichen Subsysteme so koordiniert, dass kohärente Wahrnehmungen und koordinierte Aktionen entstehen können. Ohne diesen entscheidenden Zwischenschritt über die

mittlere Organisationsebene bleiben die Aussagen über den Zusammenhang zwischen neuronal beobachtbarer Aktivität und kognitiven Leistungen weiterhin spekulativ.

### MEDIZINISCHE FORTSCHRITTE

Vor allem was die konkreten Anwendungen angeht, stehen uns in den nächsten zehn Jahren enorme Fortschritte ins Haus. Wahrscheinlich werden wir die wichtigsten molekularbiologischen und genetischen Grundlagen neurodegenerativer Erkrankungen wie Alzheimer oder Parkinson verstehen und diese Leiden schneller erkennen, vielleicht von vornherein verhindern oder zumindest wesentlich besser behandeln können.

Ähnliches gilt für einige psychische Krankheiten wie Schizophrenie und Depression. In absehbarer Zeit wird eine neue Generation von Psychopharmaka entwickelt werden, die selektiv und damit hocheffektiv sowie nebenwirkungsarm in bestimmten Hirnregionen an definierten Nervenzellrezeptoren angreift. Dies könnte die Therapie psychischer Störungen revolutionieren – auch wenn

von der Entwicklung zum anwendungsfähigen Medikament noch etliche Jahre vergehen werden.

Zudem werden Neuroprothesen wie intelligente Ersatzgliedmaßen oder das künstliche Ohr immer weiter perfektioniert. In zehn Jahren haben wir wahrscheinlich eine künstliche Netzhaut entwickelt, die nicht im Detail programmiert ist, sondern sich nach den Prinzipien des Nervensystems organisiert und lernt. Das wird unseren Blick auf das Sehen, auf die Wahrnehmung, vielleicht auf alle Organisationsprozesse im Gehirn tief greifend verändern.

Ebenso werden uns die zu erwartenden weiteren Fortschritte in der Hirnforschung vermehrt in die Lage versetzen, psychische Auffälligkeiten und Fehlentwicklungen, aber auch Verhaltensdispositionen zumindest in ihrer Tendenz vorauszusehen – und »Gegenmaßnahmen« zu ergreifen. Solche Eingriffe in das Innenleben, in die Persönlichkeit des Menschen sind allerdings mit vielen ethischen Fragen verbunden, deren Diskussion in den kommenden Jahren intensiviert werden muss.

## Was werden Hirnforscher eines Tages wissen und können?

Die Hirnforschung wird in absehbarer Zeit, also in den nächsten 20 bis 30 Jahren, den Zusammenhang zwischen neuroelektrischen und neurochemischen Prozessen einerseits und perzeptiven, kognitiven, psychischen und motorischen Leistungen andererseits so weit erklären können, dass Voraussagen über diese Zusammenhänge in beiden Richtungen mit einem hohen Wahrscheinlichkeitsgrad möglich sind. Dies bedeutet, man wird widerspruchsfrei Geist, Bewusstsein, Gefühle, Willensakte und Handlungsfreiheit als natürliche Vorgänge ansehen, denn sie beruhen auf biologischen Prozessen.

Eine vollständige Erklärung der Arbeit des menschlichen Gehirns, das heißt eine durchgängige Entschlüsselung auf der zellulären oder gar molekularen Ebene,

erreichen wir dabei dennoch nicht. Insbesondere wird eine vollständige Beschreibung des individuellen Gehirns und damit eine Vorhersage über das Verhalten einer bestimmten Person nur höchst eingeschränkt gelingen. Denn einzelne Gehirne organisieren sich auf Grund genetischer Unterschiede und nicht reproduzierbarer Prägungsvorgänge durch Umwelteinflüsse selbst – und zwar auf sehr unterschiedliche Weise, individuellen Bedürfnissen und einem individuellen Wertesystem folgend. Das macht es generell unmöglich, durch Erfassung

von Hirnaktivität auf die daraus resultierenden psychischen Vorgänge eines konkreten Individuums zu schließen.

Im Endeffekt könnte sich eine Situation wie in der Physik ergeben: Die klassische Mechanik hat deskriptive Begriffe für die Makrowelt eingeführt, aber erst mit den aus der Quantenphysik abgeleiteten Begriffen ergab sich die Möglichkeit einer einheitlichen Beschreibung. Auf lange Sicht werden wir dementsprechend eine »Theorie des Gehirns« aufstellen, und die Sprache dieser Theorie wird vermutlich eine andere sein als jene, die wir heute in der Neurowissenschaft kennen. Sie wird auf dem Verständnis der Arbeitsweise von großen Neuronenverbänden beruhen, den Vorgängen auf

*»Was unser Bild von uns selbst betrifft, stehen uns in sehr absehbarer Zeit beträchtliche Erschütterungen ins Haus«*

der mittleren Ebene. Dann lassen sich auch die schweren Fragen der Erkenntnistheorie angehen: nach dem Bewusstsein, der Ich-Erfahrung und dem Verhältnis von erkennendem und zu erkennenden Objekt. Denn in diesem zukünftigen Moment schickt sich unser Gehirn ernsthaft an, sich selbst zu erkennen.

Dann werden die Ergebnisse der Hirnforschung, in dem Maße, in dem sie einer breiteren Bevölkerung bewusst werden, auch zu einer Veränderung unseres Menschenbilds führen. Sie werden dualistische Erklärungsmodelle – die Trennung von Körper und Geist – zunehmend verwischen. Ein weiteres Beispiel: das Verhältnis von angeborenem und erworbenem Wissen. In unserer momentanen Denkweise sind dies zwei unterschiedliche Informationsquellen, die unserem Wahrnehmen, Handeln und Denken zu Grunde liegen. Die Neurowissenschaft der nächsten Jahrzehnte wird aber ihre innige Verflechtung aufzeigen und herausarbeiten, dass auf der mittleren Ebene der Nervenetze eine solche Unterscheidung gar keinen Sinn macht. Was unser Bild von uns selbst betrifft, stehen uns also in sehr absehbarer Zeit beträchtliche Erschütterungen ins Haus. Geisteswissenschaften und Neurowissenschaften werden in einen intensiven Dialog treten müssen, um gemeinsam ein neues Menschenbild zu entwerfen.

Aller Fortschritt wird aber nicht in einem Triumph des neuronalen Reduktionismus enden. Selbst wenn wir irgendwann einmal sämtliche neuronalen Vorgänge aufgeklärt haben sollten, die dem Mitgefühl beim Menschen, seinem Verliebtsein oder seiner moralischen Verantwortung zu Grunde liegen, so bleibt die Eigenständigkeit dieser »Innenperspektive« dennoch erhalten. Denn auch eine Fuge von Bach verliert nichts von ihrer Faszination, wenn man genau verstanden hat, wie sie aufgebaut ist. Die Hirnforschung wird klar unterscheiden müssen, was sie sagen kann und was außerhalb ihres Zuständigkeitsbereichs liegt, so wie die Musikwissenschaft – um bei diesem Beispiel zu bleiben – zu Bachs Fuge einiges zu sagen hat, zur Erklärung ihrer einzigartigen Schönheit aber schweigen muss. ◀