

Gerhard Roth Das Gehirn und seine Wirklichkeit

Kognitive Neurobiologie und
ihre philosophischen Konsequenzen

**suhrkamp taschenbuch
wissenschaft**

suhrkamp taschenbuch
wissenschaft 1275

In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat die Erforschung der neurobiologischen Grundlagen menschlicher Wahrnehmungs- und Erkenntnisleistungen und mental-geistiger Zustände wie Denken, Erinnern, Vorstellen und Handlungsplänen und des Verhältnisses bewußter und unbewußter Prozesse große Fortschritte gemacht. Die hieraus ergebenden neuen Einsichten sind, zusammen mit denen der experimentellen Psychologie, dazu angetan, bisherige philosophische Anschauungen über den Erkenntnisprozeß und seine Verläßlichkeit, das Verhältnis von Bewußtsein und Gehirn, die Existenz des Ich, die Möglichkeit oder Unmöglichkeit wahrer Erkenntnisse und insbesondere die Beziehung unserer Erlebniswelt, der Wirklichkeit, zur bewußtseinsunabhängigen Welt, der Realität, zu überprüfen. Diese Überprüfung aufgrund eines neurobiologisch fundierten Konstruktivismus ist Gegenstand dieses Buches.

Das Buch wendet sich an Leser mit Interesse an den Bereichen Neurowissenschaften/Hirnforschung, Biologie, Philosophie, Psychologie, Kognitions- und Kommunikationswissenschaften und Informatik. Es ist allgemeinverständlich geschrieben und setzt keine speziellen Vorkenntnisse voraus.

Gerhard Roth
Das Gehirn
und seine Wirklichkeit

Kognitive Neurobiologie
und ihre philosophischen Konsequenzen

Suhrkamp

Diese Taschenbuchausgabe ist text- und seitenidentisch
mit der fünften, überarbeiteten Auflage 1996

12. Auflage 2025

Erste Auflage 1997

suhrkamp taschenbuch wissenschaft 1275

Originalausgabe

© 1997, Suhrkamp Verlag GmbH, Berlin

Alle Rechte vorbehalten. Wir behalten uns auch
eine Nutzung des Werks für Text und Data Mining
im Sinne von § 44b UrhG vor.

Umschlag nach Entwürfen

von Willy Fleckhaus und Rolf Staudt

Druck: Libri Plureos GmbH, Hamburg

Printed in Germany

ISBN 978-3-518-28875-7

Suhrkamp Verlag GmbH

Torstraße 44, 10119 Berlin

info@suhrkamp.de

www.suhrkamp.de

Inhalt

Vorwort zur 5. Auflage	9
Vorwort zur 1. Auflage	11
1 Über die Schwierigkeiten, das Gehirn zu verstehen	15
2 Was ist Kognition?	26
3 Von Salamandern und Menschen – unser Gehirn im Vergleich	33
Ist das menschliche Gehirn einzigartig?	66
4 Was ist Wahrnehmung?	78
5 Wozu sind Sinnesorgane da?	88
Die Funktion der Sinnesorgane	92
6 Informationserzeugung und Informationsverarbeitung bei der Wahrnehmung	98
Information und Bedeutung	105
Die Konstitution der Wahrnehmungsinhalte	108
Parallele, konvergente und divergente Erregungsverarbeitung	121
7 Von Würmern und Antiwürmern: Das Schicksal des Detektorkonzepts im visuellen System »niederer« Wirbeltiere	126
Das Detektor-Konzept	129
Kann es überhaupt Detektorneurone geben?	140
Figur-Hintergrund-Erkennung	146
Ensemblecodierung statt Objektdetektoren	148
8 Von Blobs und Gesichterneuronen: Das visuelle System der Säugetiere	152

Parallelverarbeitung im visuellen System der Säuger . . .	156
Gibt es doch »Großmutterneurone«?	171
»Automatisierte« präkognitive Leistungen	175
 9 Kognition und Emotion: Die unauflösliche Einheit zwischen Großhirnrinde und limbischem System . .	178
Aufbau und Funktion des assoziativen Cortex	179
Das Ungerleider-Mishkin-Modell und seine Berechtigung	184
Kategoriale Wahrnehmung und kognitive Dissoziationen	188
Kognitive Modularität des assoziativen Cortex	182
Das limbische System als zentrales Bewertungssystem des Gehirns	194
Kognition ist nicht ohne Emotion möglich	211
 10 Gehirn und Bewußtsein	213
Was ist Bewußtsein?	213
Merkwürdige Bewußtseinsstörungen	215
Was ist notwendig von Bewußtsein begleitet und was nicht?	219
Die Gerichtetheit und Enge von Bewußtsein	220
Bewußtsein und Hirnstoffwechsel	221
Wo und wann entsteht Bewußtsein?	228
Die Funktion des Bewußtseins	231
Traum und Bewußtsein	243
Zusammenfassung	246
 11 Einheit der Wahrnehmung	248
Das Problem der Einheit der Wahrnehmung und die Rolle der Erfahrung	253
Gestaltgesetze der Wahrnehmung	258
Das Gedächtnis ist unser wichtigstes Sinnesorgan	261
Mögliche zelluläre Mechanismen des »Zusammenbindens« von Wahrnehmungsinhalten	263
Was wir bewußt sehen, sind »Gedächtnisbilder«	266

12	Geist und Gehirn	271
	Was ist Geist?	272
	Wie hängen Geist und Gehirn zusammen?	274
	Der Dualismus und seine Schwierigkeiten	278
	Probleme des reduktionistischen Identismus	284
	Der emergenztheoretische Materialismus	291
	Der Epiphänomenalismus und das Qualia-Problem	293
	Geist als physikalischer Zustand:	
	Eine nicht-reduktionistische Deutung	299
	Ist der Wille frei?	303
	Haben auch Tiere Geist und Bewußtsein?	311
13	Realität und Wirklichkeit	314
	Wirklichkeit als Konstrukt des Gehirns	314
	Wirklichkeitskriterien	321
	Die Unterscheidung von Realität und Wirklichkeit und was wir damit gewonnen haben	324
	Warum gibt es überhaupt eine phänomenale Welt?	326
	Wo existiert mein Gehirn? Wer bin/ist ich/Ich?	328
	Noch einmal: Geist und Gehirn	331
	Lebt jeder von uns in seiner einsamen Wirklichkeit?	333
14	Wirklichkeit und Wahrheit	339
	Ist objektive Erkenntnis möglich?	339
	Der Realismus der Evolutionären Erkenntnistheorie	344
	Ist der Konstruktivismus selbstwidersprüchlich?	349
	Was sind empirische Evidenzen?	351
	Was ist Wahrheit?	354
	Kann man sinnvoll über eine bewußtseinsunabhängige Welt sprechen?	358
	Die Auflösung der Paradoxien aus dem ersten Kapitel	362
	Literatur	364
	Register	379

Vorwort zur 5. Auflage

Die Tatsache, daß dieses Buch zwei Jahre nach seinem Erscheinen in die fünfte Auflage geht, ist nur eines von vielen Anzeichen für das wachsende Interesse einer breiteren Öffentlichkeit für Hirnforschung und kognitive Neurobiologie. In den letzten zwei Jahren sind eine ganze Reihe von Büchern zum Geist-Gehirn- bzw. Bewußtseins-Problem erschienen, allerdings nahezu ausschließlich als Übersetzungen englischsprachiger Autoren von wissenschaftlichem Rang wie Francis Crick (1994), Antonio Damasio (1994), Daniel Dennett (1994) und Roger Penrose (1995), um nur einige zu nennen. Diese Bücher bieten eine sehr unterschiedliche Mischung von neurobiologischem Fachwissen und philosophischen Erörterungen. Wenig davon – mit Ausnahme des Buches von Damasio – ist aus neurobiologischer Sicht fundiert. Auch wird von philosophischer Seite, z. B. von Dennett, das Bewußtseinsproblem geradezu totgeredet.

So erfreulich dieses Interesse an der Geist-Gehirn- bzw. Bewußtseins-Debatte ist, sie darf nicht bei der Erkenntnis stehenbleiben, *daß* Geist/Bewußtsein und Gehirn miteinander verknüpft sind, sondern muß auch die Frage beantworten, *wie* dies im Gehirn geschieht, und *welche Funktion* Geist bzw. Bewußtsein haben, wobei die gegenwärtige neurobiologische Erkenntnislage zu respektieren ist. Vor allem aber dürfen wir nicht aus dem Auge verlieren, daß geistige bzw. bewußte Akte nur einen kleinen und oft nicht einmal besonders wichtigen Teil dessen ausmachen, was wir sind und tun. Das allermeiste und komplexeste tun wir, ohne daß wir uns dessen bewußt sind. Die wirklich große Herausforderung an die kognitive Neurobiologie ist es, diese Vorgänge des Vor- und Unbewußten genauer zu verstehen, denn dann verstehen wir die eigentlichen Antriebe unseres Handelns. Dies betrifft vor allem das limbische Systems als das zentrale Bewertungssystem in unserem Gehirn. Kognitive Leistungen sind aufs Engste verbunden mit Emotionen, die ihrerseits eine Brücke zum völlig Unbewußten in uns bilden. Dieses völlig Unbewußte ist keineswegs nur das Angeborene,

Reflex- und Triebhafte, sondern der gewaltige Vorrat an Vorerfahrung, der aus dem aktuellen Bewußtsein abgesunken ist, aber dennoch – oder gerade deshalb – maßgeblich in die Steuerung unseres Denken und Handelns eingreift. Freilich sind diese Prozesse noch weitgehend unverstanden, und ihre Aufklärung wird eine der größten Herausforderungen an die Wissenschaft sein. Ich habe versucht, bei der Überarbeitung dieses Buches seinen Darstellungs- und Argumentationsrahmen weitgehend zu bewahren. Dabei habe ich neben sprachlichen Verbesserungen eine Reihe sachlicher Fehler korrigiert und einige der oben genannten neuesten Veröffentlichungen zum Geist-Gehirn- bzw. Bewußtseinsproblem berücksichtigt. In stärkerem Maße umgearbeitet habe ich das 3. Kapitel, was die Darstellung des Aufbaus des menschlichen Gehirns angeht, das 9. Kapitel, bei dem ich ausführlicher auf das limbische System eingegangen bin, sowie das 10. und das 12. Kapitel, wo es um Bewußtsein und die Beziehung zwischen Geist und Gehirn geht. In diesem Zusammenhang bin ich auch ausführlicher auf das Problem der Willensfreiheit aus neurobiologischer Sicht eingegangen. Es sind einige neue bzw. verbesserte Abbildungen hinzugekommen, welche hoffentlich die Verständlichkeit dieses Buches erhöhen.

Bremen, Juni 1996.

Vorwort zur 1. Auflage

Dieses Buch hat eine Vorgeschichte, die in meine frühe Studienzeit an der Universität Münster zurückreicht. Dort hatte ich im Jahre 1963 mit dem Studium in Philosophie, Germanistik und Geschichte angefangen (letzteres ersetzte ich bald durch Musikwissenschaft). Ich hatte mich entschlossen, Philosophie zu studieren, um zu erfahren, wie Wahrnehmung funktioniert und wie Erkenntnis und Wissen zustande kommen, was Geist ist und wie man wahre Aussagen von falschen unterscheidet. In vielen Vorlesungen erfuhr ich, was Platon, Aristoteles, Descartes, Leibniz, Kant und Hegel zu diesen Fragen gesagt hatten. Die Frage allerdings, die mich brennend interessierte, nämlich »wer hat womit recht?«, wurde nicht behandelt. Wenn ich sie in den Seminaren stellte, wurde ich belächelt; diese Frage galt als unpassend. Wichtig war es zu untersuchen, warum wer welche Frage in welchem historischen Kontext gestellt und wie beantwortet hatte. Hierin steckte – wie ich erst viel später erkannte – ein gutes Stück Ehrlichkeit; wie hätte man die Frage »Wer hat recht?« auch beantworten können!

Zur gleichen Zeit, kaum fünfhundert Meter in etwas verschiedenen Richtungen vom philosophischen Seminar der Universität entfernt, lehrten und forschten zwei hervorragende Wissenschaftler, die sich intensiv um eine Beantwortung der oben genannten Fragen bemühten, nämlich der Zoologe Bernhard Rensch und der Psychologe Wolfgang Metzger. Bernhard Rensch hatte sich als Evolutionsbiologe einen großen Namen gemacht; sein Werk »Neuere Probleme der Abstammungslehre« von 1947 war ein Meilenstein in der Ausformulierung des Neodarwinismus. Daneben betrieb er die verschiedensten anatomischen, physiologischen und verhaltensbiologischen Untersuchungen, unter anderem solche zu Intelligenzleistungen von Tieren, von denen die mit der Schimpansin Julia die bekanntesten sind. Sein populär gehaltenes Buch »Homo sapiens – vom Tier zum Halbgott« (Rensch, 1965) hat mich als jungen Philosophiestudenten zutiefst beeindruckt. Er schrieb eine Reihe von

philosophisch-erkenntnistheoretischen Abhandlungen, von denen vor allem das Buch »Biophilosophie auf erkenntnistheoretischer Grundlage« von 1968 zu nennen ist. Dieses Buch war ein heroischer Versuch, Philosophie, speziell Erkenntnistheorie, und naturwissenschaftliches, biologisches Wissen der damaligen Zeit miteinander zu vereinen, um die Frage nach der Herkunft und dem Wesen des Geistes zu beantworten. Diese »Ausflüge des Herrn Rensch in die Philosophie« wurden, wenn sie überhaupt im philosophischen Seminar wahrgenommen wurden, belächelt. Ich kann mich nicht daran erinnern, jemals dort eine ausführlichere Stellungnahme zu dem Buch »Biophilosophie« gehört zu haben.

Der Psychologe Wolfgang Metzger gehört zu den bedeutendsten Vertretern der Gestaltpsychologie. Sein Werk »Gesetze des Sehens« von 1936 (3. Auflage 1975) gehört genauso zum Rüstzeug des Wahrnehmungspsychologen wie sein Lehrbuch »Psychologie« (1. Auflage 1940, 5. Auflage 1975). Ebenso wie sein Kollege Wolfgang Köhler versuchte er, eine in sich konsistente Erklärung des »ontologischen« Status der phänomenalen Wirklichkeit zu liefern. Weder Metzger noch Köhler noch irgendein anderer Wahrnehmungspsychologe kamen in den philosophischen Seminaren über Erkenntnistheorie zur Sprache.

Dies liegt alles dreißig Jahre zurück, und man könnte meinen, es habe sich vieles geändert. Die Biologie und insbesondere die Neurobiologie und Hirnforschung haben einen ungeahnten Aufschwung erlebt. Es sieht nunmehr danach aus, als sei die Lösung der Frage, wie Wahrnehmen und Denken zustande kommen und in welchem Verhältnis Geist und Gehirn zueinander stehen, eine wirklich interdisziplinäre Angelegenheit geworden, bei der gleichberechtigt Philosophen, Psychologen, Computerwissenschaftler (»Informatiker«), Netzwerktheoretiker und Neurowissenschaftler zusammenarbeiten. Entsprechend wurden interdisziplinäre Forschungsprogramme und -institute ins Leben gerufen. Dabei hat sich jedoch gezeigt, daß die Schwierigkeiten interdisziplinärer Zusammenarbeit im kognitionswissenschaftlichen Bereich viel größer sind als angenommen. Eine fruchtbare Zusammenarbeit kommt in vielen Fällen erst nach Jahren zustande. Das größte Hindernis bei der ge-

meinsamen Arbeit sind Statusprobleme der beteiligten Wissenschaften, gefolgt von der weitgehenden Unkenntnis des Problembewußtseins, der Begriffssysteme, des Wissensstandes und des methodisch-praktischen Vorgehens in den jeweils anderen Disziplinen.

Ich verstehe mein Buch als einen (sicherlich unzulänglichen) Versuch des Brückenschlags zwischen Neurobiologie, Psychologie und Philosophie. Trotz aller Schwierigkeiten bei der interdisziplinären Zusammenarbeit hat sich gezeigt, daß es sich lohnt, diese Anstrengungen weiterzuführen.

Ich habe versucht, meine Argumentation im Rahmen der heute in den Neurowissenschaften akzeptierten oder zumindest ernsthaft diskutierten Daten und Konzepte zu führen und solche Daten und Konzepte zu kennzeichnen, die umstritten sind. Freilich sind bei der Darstellung der Fakten Fehler unvermeidlich; selbst dem Fachmann ist nur der allerkleinste Teil seines weiteren Fachgebietes durch eigene Erfahrung vertraut, und er muß sich notgedrungen auf Wissen aus zweiter oder gar dritter Hand verlassen. In einer stürmisch sich entwickelnden Wissenschaft wie der Hirnforschung stellt sich schnell etwas als Irrtum heraus, und vieles von dem, das heute als gesichert gilt, kann morgen schon falsch sein (und gelegentlich übermorgen doch wieder zutreffen).

Ganz herzlich möchte ich denjenigen Personen danken, die über eine Reihe von Jahren die hier vorgetragenen Ideen mit mir diskutiert und das Manuskript oder Teile davon kritisch gelesen haben. Diese sind in alphabetischer Reihenfolge Ursula Dicke, Reinhard Eckhorn, Hans Flohr, Ernst Florey, Rolf Henkel, Gerhard Schloßer, Helmut Schwegler, Wolfgang Walkowiak und Hanna-Maria Zippelius. Selbstverständlich sind alle in diesem Buch enthaltenen Fehler allein mir zuzurechnen. Den Herren Wolfgang Grunwald und Wolfgang Wiggers danke ich herzlich für die Hilfe bei der Anfertigung der Zeichnungen und Frau Ulrike Nagler für die Unterstützung bei der Anfertigung des Manuskripts.

Bremen, April 1994.

1 Über die Schwierigkeiten, das Gehirn zu verstehen

In seinem Buch »The Principles of Psychology« beginnt William James das Kapitel »The Functions of the Brain« mit einer Feststellung, die in freier Übersetzung lautet: »Unser Wissen über die genauere Anatomie und Physiologie des Gehirns ist eine Errungenschaft der heutigen Generation, oder besser gesagt: der letzten zwanzig Jahre. Viele Punkte sind noch ungeklärt und werden kontrovers diskutiert, aber ein Verständnis dieses Organs wurde hinsichtlich seiner allgemeinen Eigenschaften erreicht; dies betrifft insbesondere auch plausible Vorstellungen über die Art, wie Gehirnprozesse und mentale Prozesse miteinander interagieren.«

Bemerkenswert an dieser Feststellung ist vor allem, daß sie nicht heute, sondern im Jahr 1890, also vor mehr als hundert Jahren, geschrieben wurde. Unterlag James (1842-1910) – von Hause aus Physiologe und mit dem genannten Buch einer der Väter der modernen Psychologie – einem großen Irrtum, wenn er meinte, um 1890 habe man bereits brauchbare Vorstellungen darüber entwickelt, wie das Gehirn arbeitet und wie Geist und Gehirn miteinander zusammenhängen? Oder hat sich in den über hundert Jahren trotz allen Fortschritts in den Methoden und der durch sie ermöglichten Analyse anatomischer und funktionaler Details so wenig getan? Vielleicht hat mein verehrter Kollege Ernst Florey recht, wenn er vermutet, daß die wesentlichen Konzepte der Neurobiologie und Hirnforschung alle in der zweiten Hälfte des vorigen und in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts durch Forscher wie Müller, von Helmholtz, Du Bois-Reymond, Hering, Fechner, Mach und Ramon y Cajal entwickelt wurden und daß wir demgegenüber konzeptionell kaum Fortschritte gemacht haben. Vielmehr gehe man – so Florey – heute in der Gewißheit, man stehe kurz vor der Lösung des »Rätsels Gehirn«, außerordentlich leichtsinnig, ja gewissenlos mit Begriffen und Konzepten um. Im Vorwort zu dem sehr lesenswerten Buch »Das Gehirn – Organ der Seele? Zur Ideengeschichte der Neurobiologie« schreiben die Herausgeber Ernst

Florey und Olaf Breidbach: »Mit raffinierten neuen Methoden, welche die Bewegung und Umwandlung selbst einzelner Atome und Moleküle der Beobachtung zugänglich machen, hat die Forschung heute eine Beschreibungsebene erreicht, welche unentwegt neue und überraschende Daten erbringt, deren Zuordnung zu den primären Fragestellungen keineswegs immer möglich ist. Die Antworten kommen bereits vor den Fragen. Die chemischen und physikalischen Vorgänge, die sich an und in einzelnen Neuronen abspielen, sind heute bis in unglaubliche Details bekannt und werden immer weiter untersucht und beschrieben – die spezifische Bedeutung für das Funktionieren des Nervensystems bleibt meist künftiger Interpretation der Forschungsergebnisse vorbehalten.« Und die Autoren fahren in ihrer Kritik fort: »Das Dogma des Neuronenkonzepts wird als ausreichend betrachtet, menschliches und tierisches Verhalten zu erklären. Dabei wird mit erstaunlicher Selbstsicherheit der Bezug auf bewußtes Wahrnehmen, Denken, Fühlen, Erinnern oder bewußtes Verhalten weitgehend vermieden, und wenn schon von Bewußtsein die Rede ist, dann in der Überzeugung, daß das Bewußtsein lediglich eine Begleiterscheinung (ein Epiphänomen) neuronaler Prozesse darstellt. Die Dimension des Mentalen, des Psychischen, wird aus der Debatte verdrängt, da es in keiner Kausalkette notwendig unterzubringen ist« (Florey und Breidbach, 1993). Diese Kritik aus der Feder philosophisch gebildeter Wissenschaftler ist sehr ernst zu nehmen.

Die Beantwortung der Frage, inwieweit wir das Gehirn vom neurobiologischen Standpunkt aus bereits erklären können, hängt wesentlich davon ab, was wir unter »erklären« verstehen. In dem bereits genannten Kapitel »The Functions of the Brain« seines Buches schildert William James (ohne Rücksicht auf heute selbstverständliche Bedenken gegen Versuche an nicht-betäubten Tieren), was passiert, wenn man in einem Frosch vom Nervensystem nur das Rückenmark übrigläßt, bei einem anderen Frosch Medulla oblongata und Kleinhirn zusätzlich intakt läßt, bei einem weiteren zusätzlich das Mittelhirn mit dem Tectum opticum, dann das Zwischenhirn (so daß nur die Endhirnhemisphären zerstört sind), und wenn man schließlich das Verhalten dieser »Teilhirnfrösche« mit einem Frosch vergleicht,

der ein völlig intaktes Zentralnervensystem besitzt. Es vollzieht sich nach James der Übergang vom reinen Reflexwesen (»spinaler« Frosch) über eine »Maschine« (ein Frosch, bei dem das Endhirn fehlt), die auf alle Umweltreize völlig angemessen und »normal« reagiert, bis hin zu einem sich *spontan* verhaltenden Tier (ein Frosch mit intaktem Endhirn). James schreibt, er beschränke sich der Einfachheit halber auf die Verhältnisse beim Frosch, aber er läßt keinen Zweifel daran, daß diese »Hierarchie« der Gehirnteile bei der Erzeugung und Steuerung des Verhaltens für alle anderen Wirbeltiere einschließlich des Menschen gilt.

James hatte den Eindruck, mit dieser Beschreibung das Wesentliche des Gehirns als eines verhaltenssteuernden Organs erfaßt zu haben, denn sonst hätte er sie nicht als Beleg für die eingangs zitierte Behauptung angeführt, man verstehe bereits das Gehirn in seinen Grundzügen. Interessanterweise kommt in dem genannten Kapitel, in dem erstaunlich viele Kenntnisse über die Lokalisation verhaltenssteuernder und kognitiver Zentren dargestellt werden, das Wort »Nervenzelle« bzw. »Neuron« nicht vor. Die uns heute selbstverständlich erscheinende Idee, daß das Gehirn aus Nervenzellen aufgebaut ist – die Neuronenlehre –, entwickelte sich damals erst (der Begriff »Neuron« wurde 1891 von Waldeyer eingeführt) und wurde erst in diesem Jahrhundert durch den spanischen Neurobiologen Ramon y Cajal endgültig etabliert (hierzu ausführlich Breidbach, 1993).

Auf der Grundlage dieser Neuronenlehre wird kein Neurobiologe dasjenige als »Erklären« oder »Verstehen« des Gehirns akzeptieren, was James vorbringt; vielmehr geht es heute in den Augen der meisten Fachleute darum, die funktionale Organisation und die spezifischen verhaltenssteuernden und kognitiven Leistungen auf der Grundlage der Aktivität von *Nervenzellen* und *Nervenzellverbänden* zu erklären. Erst wenn dies gelungen ist – so die weitverbreitete Meinung –, haben wir das Gehirn erklärt. Freilich wird dabei nicht der Anspruch erhoben zu erklären, was Geist, Bewußtsein und freier Wille *ihrem Wesen nach* sind. Diese Wesensfrage wird von Neurobiologen und Naturwissenschaftlern allgemein als unbeantwortbar angesehen. Hingegen lauten typische Fragen der Hirnforschung: Was pas-

siert auf der Ebene einzelner Neurone und von kleineren und größeren Neuronenverbänden, wenn ein Affe nach einem Gegenstand greift oder ein Salamander eine Fliege als Beute identifiziert und fängt? Oder: Welche neuronalen Prozesse laufen im Gehirn eines Menschen ab, wenn er Sprache wahrnimmt und das Gehörte zu verstehen versucht?

Daß die Beantwortung derartiger Fragen bis heute nicht vollkommen gelungen ist, wird von keinem Hirnforscher und Neurobiologen bestritten; vielmehr unterscheidet man sich hinsichtlich der Einschätzung, wie weit die aktuelle Forschung vom Erreichen dieses Ziels entfernt ist. Viele meinen, man habe zumindest die Prinzipien erkannt und auch die Details würden in den nächsten zehn oder zwanzig Jahren »nachgeliefert«. In der Tat sind – wie auch Florey und Breidbach feststellen – manche Fortschritte in der Neurobiologie faszinierend und manche sogar atemberaubend, besonders in methodischer Hinsicht. Andere Forscher sind viel skeptischer und führen aus, es sei noch nicht einmal klar, welches überhaupt der »neuronale Code« ist, die Sprache also, in der sich die Nervenzellen »Informationen« mitteilen. Sind es wirklich die Aktionspotentiale (»Spikes«)? Wenn ja, ist der Code ihre mittlere Entladungsrate, das zeitliche Muster einer Salve von Aktionspotentialen oder das Auftreten des ersten Spikes? Oder kommt es allein auf die chemischen Botenstoffe an, die Neurotransmitter oder Neuropeptide? Welche Rolle spielen überhaupt die Gliazellen, die etwa im menschlichen Gehirn viel zahlreicher vorhanden sind als Nervenzellen? Sind sie vielleicht die eigentlichen Träger der Information, etwa beim Gedächtnis?

All dies wird diskutiert, auch wenn die Mehrzahl der Fachleute der Meinung anhängt, es seien die Neurone und die von ihnen produzierten Aktionspotentiale, auf die es letztendlich ankomme. Bei keinem tierischen Gehirn, geschweige denn bei dem des Menschen, ist der Weg von der Sinnesempfindung bis hin zur Handlung bzw. Reaktion vollständig aufgezeigt. Man hat lange gehofft, daß dies am ehesten bei »einfachen« Tieren wie Insekten oder Amphibien zu erreichen sei, die scheinbar mit stereotypen Verhaltensweisen und einfach gebauten Nervensystemen ausgestattet sind. Zweifellos hat die Beschäftigung mit solchen

Tieren die Neurobiologie weit vorangetragen, aber gleichzeitig gewann man die Einsicht, daß ihr Verhalten keineswegs so stereotyp ist wie angenommen und ihre Nervensysteme um mindestens eine Größenordnung komplexer als je gedacht. Ich beschäftige mich seit über zwanzig Jahren (unter anderem) damit, wie das Gehirn von Fröschen und Salamandern funktioniert. Hierzu gehört die Frage, welches die anatomischen und physiologischen Grundlagen von Tiefenwahrnehmung und Objekterkennung dieser Tiere sind und wie sich diese visuellen Prozesse in Verhalten umsetzen. Ich bin keineswegs der einzige oder gar der erste, der dies untersucht. Meine Kollegen und ich sind zwar optimistisch, daß wir aufgrund neuer und zum Teil neuartiger Methoden und auch durch die tätige Mithilfe von Netzwerk-Theoretikern in einigen Teilbereichen (z. B. Tiefenwahrnehmung oder Lauterkennung) bald ein weitgehendes Verständnis dieser Funktionen auf zellulärer Ebene erreichen werden. Es mag aber auch sein, daß sich bei allem Fortschritt alles als noch viel komplizierter herausstellt, als man gedacht hatte.

Dasselbe könnte ich über die Bemühungen erzählen, das Fliegenhirn zu verstehen, wie sie im Tübinger Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik unter Beteiligung hervorragender Forscher unternommen wurden. Nach Jahrzehnten intensiver Forschung hat man dieses Ziel noch nicht erreicht, auch wenn sehr viele neue und zum Teil grundlegende Erkenntnisse über das Fliegenhirn dabei gewonnen wurden. Die Insektengehirne, die uns früher nachdrücklich als die geeignetsten Studienobjekte empfohlen wurden, wenn wir die neuronalen Grundlagen des Verhaltens verstehen wollten, haben sich als außerordentlich kompliziert erwiesen. In vieler Hinsicht wissen wir über die Gehirne von Amphibien, von Katzen und Affen mehr als über diejenigen von Fliegen, Grillen und Bienen. Die Gründe hierfür sind vielfältiger Natur. So sind bei Insekten die meisten Nervenzellen sehr klein und deshalb neurophysiologisch schwer oder gar nicht zugänglich, und die großen, zugänglichen Nervenzellen und ihre Verschaltungen mit anderen Nervenzellen sind von einer verwirrenden Komplexität. Vielfach erscheint uns das Verhalten dieser Tiere verstandes- und gefühlsmäßig unzugänglich.