

Wie einzigartig ist der Mensch?

Gerhard Roth

Wie einzigartig ist der Mensch?

Die lange Evolution der Gehirne
und des Geistes

Spektrum
AKADEMISCHER VERLAG

Autor

Prof. Dr. Dr. Gerhard Roth
Universität Bremen
Institut für Hirnforschung
Postfach 330440
28334 Bremen

Wichtiger Hinweis für den Benutzer

Der Verlag und der Autor haben alle Sorgfalt walten lassen, um vollständige und akkurate Informationen in diesem Buch zu publizieren. Der Verlag übernimmt weder Garantie noch die juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für die Nutzung dieser Informationen, für deren Wirtschaftlichkeit oder fehlerfreie Funktion für einen bestimmten Zweck. Der Verlag übernimmt keine Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren, Programme usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verlag hat sich bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber dennoch der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar gezahlt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer ist ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
springer.de

© Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2010
Spektrum Akademischer Verlag ist ein Imprint von Springer

10 11 12 13 14 5 4 3 2 1

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Planung und Lektorat: Frank Wigger, Imme Techentín
Redaktion: Susanne Warmuth
Satz: Crest Premedia Solutions (P) Ltd., Pune, Maharashtra, India
Umschlaggestaltung: wsp design Werbeagentur GmbH, Heidelberg
Titelfotografie: © Stephanie Bandmann, Fotolia.com; © Getty Images

ISBN 978-3-8274-2147-0

Inhalt

Vorwort	XI
Einleitung: Sind Gehirn und Geist eine Einheit?	XV
1 Geist, Lernen und Intelligenz	1
Formen des Lernens	2
Gedächtnisformen	6
Intelligenz und Verhaltensflexibilität	8
Bewusstsein	10
Gehirn-Geist-Theorien	12
2 Was ist Evolution?	19
Die Rekonstruktion der Stammesgeschichte und der Evolution	27
Fragen der Merkmalsbewertung	32
3 Der Geist beginnt mit dem Leben	37
Was ist Leben?	37
Ordnung, Selbsterstellung und Selbsterhaltung	40
Leben, Energiegewinnung und Energiesstoffwechsel	44
Die Entstehung des ersten Lebens	46
Die weitere Entwicklung einfachen Lebens	49

VI Wie einzigartig ist der Mensch?

4	Die Sprache der Neuronen	53
	Sensoren und Information	53
	Der Aufbau der Nervenzelle	54
	Die Grundlagen der neuronalen Erregung und Erregungsverarbeitung	57
	Neurotransmitter und Neuromodulatoren	68
	Prinzipien der neuronalen Erregungsverarbeitung ...	75
5	Einzeller – komplexes Verhalten ohne Nervensystem	79
	Bakterien und Archaeen	79
	Protozoen	85
6	Die „Wirbellosen“ und ihre Nervensysteme	91
	Schwämme	92
	Hohltiere	93
	Bilateria	96
7	Kognitive Leistungen und Intelligenz bei Wirbellosen	129
	Lernen, kognitive Leistungen und Intelligenz bei Insekten	130
	Lernen, kognitive Leistungen und Intelligenz bei Cephalopoden	139
8	Der Weg zu den Wirbeltieren	145
	Stachelhäuter	149
	Hemichordaten	150
	Chordatiere – Craniaten – Wirbeltiere	151
9	Das Wirbeltiergehirn und seine Herkunft	169
	Der Grundaufbau des Wirbeltiergehirns	169
	Medulla oblongata	173
	Kleinhirn	176
	Mittelhirn	180

Zwischenhirn	185
Endhirn	194
Der Aufbau des Isocortex	205
Farbtafeln	219
10 Sinnesorgane – die Repräsentation der Außenwelt im Gehirn	243
Chemische Sinne (Schmecken und Riechen)	244
Mechanische Sinne	250
Somatosensorik und Propriozeption	252
Gleichgewichtssinn	258
Das Seitenliniensystem der Fische und Amphibien ...	261
Elektrorezeption	262
Infrarotsinn	264
Auditorisches System	265
Visuelle Wahrnehmung	274
11 Wie intelligent sind Wirbeltiere?	291
Kognitive Leistungen bei „Fischen“	292
Lernleistungen bei Amphibien	296
Kognitive Leistungen bei Vögeln und Säugetieren ...	298
Selbsterkennen im Spiegel	309
„Theorie des Geistes“ und Wissenszuschreibung ...	312
Bewusstsein	315
Metakognition	319
Wie intelligent sind Delphine und Elefanten wirklich?	320
12 Die Gehirne der Wirbeltiere im Vergleich	327
Körpergröße und Gehirngröße	327
Die Bedeutung der relativen Gehirngröße	331
Der Encephalisationsquotient	339
Das weitere Schicksal des Cortex	341
Die Effektivität der corticalen Informationsverarbeitung	347

VIII	Wie einzigartig ist der Mensch?	
	Die Modularisierung des Cortex	351
	Besonderheiten im zellulären Aufbau des Cortex	353
	Das Gehirn intelligenter Vögel	355
13	Was treibt die Hirnevolution an?	359
14	Wie einzigartig ist der Mensch?	367
	Wie ist die Evolution des Menschen abgelaufen?	367
	Warum verließen die Vorfahren des Menschen den Urwald?	372
	Die Vergrößerung des Gehirns und ihre Folgen	375
	Mensch und Sprache	381
	Zeigt der Mensch ein besonderes Sozialverhalten?	389
15	Evolution, Gehirn und Geist – eine Zusammenschau	395
	Wie ist die Evolution der Nervensysteme und Gehirne abgelaufen?	395
	Die Evolution kognitiv-geistiger Leistungen	400
	Der Zusammenhang zwischen Gehirn und Geist	401
	Mechanismen der Evolution von Gehirn und kognitiver Leistungen	404
	Was bedeutet dies alles für das Geist-Gehirn-Problem?	409
	Ist Geist vielfach realisierbar?	412
	Literatur	415
	Index	429

Wenn kein organisches Wesen außer dem Menschen irgendwelche geistigen Fähigkeiten besessen hätte, oder wenn seine Fähigkeiten von einer völlig verschiedenen Natur wären im Vergleich mit denen der niederen Thiere, so würden wir nie im Stande gewesen sein, uns zu überzeugen, daß unsere hohen Fähigkeiten allmählich entwickelt worden sind. Es läßt sich aber deutlich nachweisen, daß kein fundamentaler Unterschied dieser Art besteht. Wir müssen auch zugeben, daß ein viel weiterer Abstand in den geistigen Fähigkeiten zwischen einem der niedrigsten Fische, wie der Pricke oder einem Amphioxus, und dem der höheren Affen besteht, als zwischen dem Affen und dem des Menschen: und doch wird diese Lücke durch zahllose Abstufungen ausgefüllt.

Charles Darwin, *Die Abstammung des Menschen* (1871)

Vorwort

Wie haben sich im Laufe der Evolution Nervensysteme und Gehirne entwickelt, wie kognitive Leistungen bis hin zum Bewusstsein, kurz „Geist“ genannt, und welcher Zusammenhang besteht zwischen beiden Prozessen? Das sind die zentralen Themen dieses Buches. Natürlich geht es in diesem Zusammenhang insbesondere um die Frage, ob dem Menschen und seinen geistigen Leistungen eine Sonderrolle zukommt – ob der menschliche Geist „einzigartig“ ist.

Die Beschäftigung mit dieser Frage reicht zurück in die Zeit meines Philosophiestudiums an der Universität Münster, als ich von Freunden in eine Ringvorlesung über philosophische Fragen der Naturwissenschaften mitgenommen wurde. Als Redner traten bedeutende Naturwissenschaftler auf, unter anderem der Münsteraner Zoologe und Evolutionsbiologe Bernhard Rensch. Er hielt einen Vortrag über den Zusammenhang zwischen geistigen Leistungen bei Tier und Mensch und der biologischen Evolution. Ich war begeistert, nahm einige Tage später meinen ganzen Mut zusammen und suchte Bernhard Rensch auf. Er hörte sich aufmerksam meine Fragen wie auch die Bekundung der Unzufriedenheit mit meinem, im klassischen Sinne durchaus guten Philosophiestudium geduldig an. Dies tat er, weil auch er im Nebenfach Philosophie studiert hatte und als Biologe weitreichende philosophische Interessen besaß, die unter anderem in seinem Buch „Biophilosophie“ von 1968 ihren Niederschlag

XII Wie einzigartig ist der Mensch?

fanden. Rensch gab mir den für meine akademische Laufbahn entscheidenden Rat, mein Philosophiestudium zu Ende zu führen und erst dann Biologie zu studieren. Ich begab mich als Stipendiat der Studienstiftung des deutschen Volkes im Herbst 1966 nach Rom, um für meine Dissertation über den italienischen Philosophen und Politiker Antonio Gramsci zu arbeiten. Diese Dissertation schloss ich im Sommersemester 1969 mit der Promotion in Philosophie ab.

Im darauf folgenden Wintersemester begann ich, wiederum an der Universität Münster, dem Rat Renschs folgend mein Zweitstudium in Biologie. Ermöglicht wurde mir dies durch ein weiteres Stipendium der Studienstiftung. Hierfür bin ich dieser Einrichtung zutiefst dankbar. An das in unziemlicher Eile absolvierte Biologiestudium schloss sich ab 1972 eine weitere Dissertation an, wiederum finanziert durch die Studienstiftung und diesmal in Zoologie. Dieses Vorhaben führte mich erneut nach Italien, diesmal an die Universität von Pisa, und später nach Kalifornien an die University of California in Berkeley, wo ich einen weiteren bedeutenden Evolutionsbiologen, David Wake, kennenlernte, mit dem ich im Museum of Vertebrate Zoology sowie in verschiedenen Teilen Kaliforniens und später im Urwald von Mexiko, Costa Rica und Panama zusammenarbeitete. Die zoologische Dissertation schloss ich im Jahr 1974 in Münster ab. Sie hatte die Lebensweise, die Funktionsmorphologie des Beutefangs, das Sehsystem und das Gehirn von Salamandern zum Inhalt, und ihr folgten bis heute viele neurobiologische und evolutionsbiologische Untersuchungen an Amphibien, viele davon zusammen mit David Wake. Er und seine zahlreichen bedeutenden Schüler waren es, die mich mit der modernen Evolutionsbiologie vertraut machten. Den Empfehlungen von Rensch und Wake verdanke ich – wie ich später erfuhr – vornehmlich meine Berufung auf die Professur für Verhaltensphysiologie an die Universität Bremen, die ich im Jahre 1976 antrat.

Im engeren Sinne begann die Arbeit am vorliegenden Buch im Jahre 1994 im Zusammenhang mit einem Lehrbuchartikel über die Evolution der Nervensysteme und Sinnesorgane, den ich zusammen mit meinem damaligen Mitarbeiter und heutigen Münchner Kollegen Mario Wullmann schrieb. Wir setzten diese publizistische Zusammenarbeit fort, unter anderem mit der Herausgabe des Sammelbandes „Brain Evolution and Cognition“, der auf einer hervorragenden Konferenz in Bremen fußt und im Jahre 2000 erschien und uns internationale Anerkennung einbrachte. Um diese Zeit hatte ich als Rektor des Hanse-Wissenschaftskollegs die Gelegenheit, führende Neurowissenschaftler aus der ganzen Welt als Fellows des Kollegs einzuladen. Einer der ersten war Harry Jerison, auf dessen bedeutende Leistungen in Hinblick auf die Hirnevolution ich in diesem Buch ausführlich eingehe. Ein anderer Fellow war Eric Kandel, Nobelpreisträger für Medizin und Physiologie des Jahres 2000, der sich im September des Jahres 2004 am Hanse-Wissenschaftskolleg aufhielt.

Der letzte vorbereitende Schritt für dieses Buch war ein Übersichtsartikel, den meine Frau und Kollegin Ursula Dicke und ich im Jahre 2005 auf Einladung der Zeitschrift „Trends in Cognitive Sciences“ über das Thema „Evolution of Brain and Intelligence“ schrieben. Wir arbeiteten mehrere Wochen hindurch intensiv an diesem Artikel und waren ob der kritischen Kommentare von insgesamt fünf Gutachtern zuweilen der Verzweiflung nahe. Zum Schluss war es noch ein Gutachter, der nicht aufgeben wollte, aber die Herausgeberin empfahl uns schließlich, seine Einwände zu ignorieren, und der Artikel konnte erscheinen (Roth und Dicke 2005).

Die Thematik dieses Buches ist sehr anspruchsvoll. Gleichgültig, wie intensiv und wie gewissenhaft man das wissenschaftliche Material bearbeitet – man wird es nicht allen Lesern recht und nicht alles perfekt machen können. Mehr noch als bei meinen früheren Büchern ist hier eine hinreichende Präsentation

des Sach- und Kenntnisstandes unabdingbar, und das macht das Buch schwieriger zu lesen, auch wenn ich mir große Mühe gegeben habe, es für Nichtfachleute lesbar zu halten.

Zum Schluss möchte ich all jenen Personen danken, die mir beim Abfassen des Buches geholfen haben. Der erste Dank geht wiederum an meine Frau und Kollegin Ursula Dicke, denn ohne die vielen fachkundigen Diskussionen, die kritische Durchsicht einiger Kapitel, die Zusammenarbeit bei dem erwähnten Übersichtsartikel mit ihr wäre dieses Buch nicht entstanden. Sie hat außerdem, ebenso wie Wolfgang Grunwald (Universität Bremen), intensiv an der Erstellung der Abbildungen mitgewirkt. Meinem Bruder Jörn Roth (Münster) danke ich für die kritische Lektüre des gesamten Buches. Den Kollegen Friedrich Barth (Universität Wien), John-Dylan Haynes (Charité und HU Berlin), Onur Güntürkün (Universität Bochum), Michael Kuba (Jerusalem), Randolph Menzel (FU Berlin), Ulrich Müller-Herold (ETH Zürich), Michael Pauen (HU Berlin), Josef Reichholf (München), Helmut Schwegler (Universität Bremen), Volker Storch (Universität Heidelberg) Jürgen Tautz (Universität Würzburg) und Mario Wullimann (LMU München) danke ich für wertvolle Hinweise bzw. die kritische Durchsicht einer Reihe von Kapiteln. Selbstverständlich gehen alle Unrichtigkeiten dieses Buches zu meinen Lasten. Schließlich möchte ich mich für die vertrauensvolle und perfekte Zusammenarbeit mit Frau Warmuth, Frau Techentin und Herrn Wigger vom Springer-Verlag bedanken.

Lilienthal und Brancoli, Februar 2010

Einleitung: Sind Gehirn und Geist eine Einheit?

Mit Philosophie und speziell Erkenntnistheorie verknüpft ist die Biologie obnebin durch die Tatsache, daß bestimmten Vorgängen in Nervensystemen und Sinnesorganen Bewußtseinserscheinungen parallel laufen bzw. diesen entsprechen. Ohne Übertreibung dürfen wir daher sagen, daß jede Weltanschauung, die biologisches Wissen nicht ausreichend berücksichtigt, der vorhandenen Wirklichkeit nicht adäquat sein kann.

Rensch 1968

In seinem epochemachenden Werk „The Origin of Species“ („Der Ursprung der Arten“) von 1859 untermauerte Charles Darwin mit einer großen Fülle von Daten die Anschauung einer gemeinsamen Stammesgeschichte aller Lebensformen. Zu der damals heikelsten Frage, ob dies auch für den Menschen zutrefte, machte er nur die bekannte geheimnisvolle Bemerkung „Licht wird fallen auf den Menschen und seine Geschichte“. Dreiundzwanzig Jahre später, 1871, nahm er sich ausführlich dieser Frage an, nämlich in seinem zweiten Hauptwerk „The Descent of Man“ („Die Abstammung des Menschen“), und bejahte sie. Natürlich – so Darwin – ist der Mensch eine abgewandelte Form affenartiger Vorfahren. Dies hat viele seiner Zeitgenossen sehr erschreckt, und eine britische Zeitgenossin (manche vermuten, dass es Königin Victoria selbst war) soll geäußert haben: „Beten wir, dass es nicht stimmt. Falls es doch stimmt, so lasst uns beten, dass es nicht bekannt wird!“

Wenn man den ersten Teil der „Abstammung des Menschen“ liest, ist man nicht nur von der Radikalität Darwins

beeindruckt, mit der er die Auffassung vertritt, dass es auch in den geistigen Fähigkeiten nur quantitative bzw. graduelle, aber keine qualitativen Unterschiede zwischen dem Menschen und nichtmenschlichen Tieren gebe, erstaunlich ist auch die Fülle der Argumente, die er zugunsten eines solchen Standpunktes vorbringt und die so unterschiedliche Themenbereiche berühren wie Nachahmung, Aufmerksamkeit, Überlegung, Wahl, Werkzeuggebrauch, Gedächtnis, Einbildung, Ideenassoziationen, Selbstbewusstsein, Verstand, aber auch Eifersucht, Ehrgeiz, Dankbarkeit, Großherzigkeit, Betrug, Rache, Humor, Sprache, Liebe, Altruismus, Gehorsam, Scham, Moral, Ethik und Religiosität. Was Darwin an Argumenten anführt, stammt aus Beobachtungen tierlichen Verhaltens im Freiland, in Zoos oder häuslicher Gemeinschaft, die teils von Experten, einschließlich Darwin selbst, teils von interessierten Laien gemacht worden waren. Verhaltensuntersuchungen unter kontrollierten Bedingungen waren unbekannt.

Dies hat sich, wie ich in diesem Buch zeigen werde, in den vergangenen rund 50 Jahren erheblich geändert. Aufgrund der inzwischen vorliegenden große Fülle neuer Befunde und Einsichten müssen wir uns kritisch fragen, ob Darwin Recht hatte, das heißt in welcher Hinsicht sich der Mensch in seinen kognitiven Fähigkeiten nur graduell bzw. *quantitativ* von nichtmenschlichen Tieren unterscheidet, und ob diese nicht doch *qualitativ* sind und den Menschen „einzigartig“ machen.

In der Diskussion um die mögliche Einzigartigkeit des Menschen spielt die Rolle des Geistes eine besondere Rolle. In den meisten Kulturen der Welt, so auch in unserer abendländischen, wird der Besitz des Geistes als das herausragende Merkmal des Menschen angesehen. Tiere haben entsprechend weder Geist noch Verstand und Vernunft. Da wir Menschen aber rein biologisch gesehen aufs Engste mit den Tieren verwandt sind, wurde und wird hieraus oft gefolgert, dass Geist und Vernunft nicht natürlichen Ursprungs und Wesens sein können. Philosophisch entspricht dies der Auffassung des *Dualismus*, dass sich

der Geist grundsätzlich einer naturwissenschaftlichen Erklärung entzieht. Wie auch immer die biologische Evolution des Menschen und seines Gehirns verlaufen sein mag – aus dualistischer Sicht gibt es hier einen naturwissenschaftlich nicht weiter erklärbaren Sprung, nämlich den Zeitpunkt der „Begeistigung“ des Menschen. Teils wird dabei die Ansicht vertreten, dies sei innerhalb der Evolution vom Menschenaffen zum Menschen geschehen, andere nehmen einen solchen Vorgang innerhalb der Individualentwicklung des Menschen an, zum Beispiel beim Zeugungsakt.

Die gegensätzliche Anschauung, der *Naturalismus*, geht davon aus, dass zumindest manche Tiere Formen von Geist besitzen, und sich die geistigen Leistungen von Mensch und Tier im Rahmen der Naturgesetze bewegen. Es gibt danach *keinen wesensmäßigen Unterschied* zwischen Geist und Körper bzw. Gehirn. Unterschiedliche Auffassungen herrschen hinsichtlich einer möglichen Sonderstellung des Menschen. Die Mehrzahl der Experten geht trotz einer naturalistischen Grundhaltung davon aus, dass der Mensch hinsichtlich seiner geistigen Fähigkeiten *qualitative* Unterschiede gegenüber allen anderen Tieren einschließlich unserer nächsten Verwandten, der Schimpansen, aufweist. So heißt es etwa, er allein könne über sich selbst nachdenken, verfüge über eine syntaktisch-grammatische Sprache, eine „Theorie des Geistes“, und nur er habe Religion, Moral, Wissenschaft und Kunst. Hierzu gibt es aus dieser Sicht bei den nichtmenschlichen Tieren *keine* Vorstufen. Diese Auffassung hat zahlreiche Anhänger auch unter Verhaltenspsychologen und Anthropologen. Sofern man Naturalist ist, muss man dann davon ausgehen, dass solch einzigartige geistig-kognitive Fähigkeiten im Zuge der Evolution des Menschen entstanden sind. Entsprechend zahlreich sind die Bemühungen, Belege dafür zu finden, dass nur der Mensch über bestimmte, einzigartige Hirnstrukturen bzw. -prozesse oder einzigartige Gene bzw. Genkomplexe verfügt, die dann die Evolution solcher Fähigkeiten ermöglichten.

Die andere naturalistische Auffassung geht in der Nachfolge von Darwin von einer Kontinuität zwischen den geistig-kognitiven Fähigkeiten des Menschen und der Tiere aus. Man nennt diese Auffassung *Gradualismus*. Natürlich wird von den Vertretern dieser Anschauung akzeptiert, dass es im Laufe der Evolution große Neuerungen gab, wie die Entstehung des Zellkerns, den bilateralen Körperbau, die Ausbildung eines Gehirns und die Entstehung einer Wirbelsäule, aber diese Neuerungen hatten jeweils eine lange Vorgeschichte.

Im vorliegenden Buch will ich auf der Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes von Evolutions- und Verhaltensbiologie, Hirnforschung und Anthropologie untersuchen, in welchem Ausmaß geistig-kognitive Fähigkeiten bei Tieren und beim Menschen mit Merkmalen ihrer Nervensysteme und Gehirne in einen Zusammenhang gebracht werden können, und in welchem Maße dies auf eine mögliche „Einzigartigkeit“ des Menschen hindeutet. Am Ende stellt sich die Frage nach der Möglichkeit einer *naturalistischen Theorie des Geistes*. Kann Geist im Rahmen der heutigen Erkenntnisse der Naturwissenschaften zumindest in groben Zügen erklärt werden, oder entzieht er sich grundsätzlich einer solchen Herangehensweise?

Die Frage nach dem Zusammenhang zwischen der Evolution der Gehirne und der Evolution des Geistes ist nicht neu und steht seit Längerem im Zentrum der „Evolutionären Erkenntnistheorie“, die von Philosophen und philosophierenden Biologen wie Donald Campbell, Konrad Lorenz, Gerhard Vollmer und Rupert Riedl vertreten wurde und wird (Vollmer 1975/2002). Ihre Grundaussage lautet, dass sich die Eigenschaften des menschlichen „Erkenntnisapparates“, einschließlich geistig-bewusster Leistungen, in enger Parallelität zur Evolution der Sinnesorgane, der Nervensysteme und Gehirne entwickelt haben. Leider wurde dies von den Vertretern der Evolutionären Erkenntnistheorie nicht wirklich gezeigt, was angesichts der seinerzeit geringen empirischen Erkenntnisse und der vielfältigen

begrifflichen und methodischen Schwierigkeiten auch nicht verwunderlich ist.

Erstens handelt es sich um die Frage, was man denn unter „Geist“ verstehen soll, insbesondere in Hinblick auf die nicht-menschlichen Tiere, und wie man – falls es geistige Leistungen bei ihnen gibt – diese verlässlich überprüfen kann. Dies scheint insbesondere in Hinblick auf Zustände wie Bewusstsein, die aus Sicht vieler Philosophen nur subjektiv erlebbar und höchstens sprachlich berichtbar sind, schwierig zu sein. Zweitens liegt der Evolutionären Erkenntnistheorie die Auffassung zugrunde, dass die biologische Evolution vom Prinzip der natürlichen Selektion beherrscht wird. Wie ich zeigen werde, gibt es beträchtliche Zweifel daran, dass das im Rahmen des Neodarwinismus präsentierte *Prinzip der natürlichen Selektion* die einzige oder zumindest dominante Kraft der Evolution ist.

Ein wesentlicher Teil des vorliegenden Buches wird dem Versuch einer Rekonstruktion der Evolution der Nervensysteme und Gehirne und der Frage nach den dabei erkennbaren Mechanismen und Prinzipien gewidmet sein. Was macht eigentlich bestimmte Tiere und den Menschen intelligent, kreativ und klug? Viele Faktoren wurden hier schon genannt: Für die einen ist es die absolute, für die anderen die relative Gehirngröße, für wieder andere ist es die Größe bestimmter „Intelligenzzentren“. Kommt es eher auf die Zahl der dort lokalisierten Nervenzellen an, oder sind es bestimmte Verschaltungsprinzipien, die intelligent machen oder gar Bewusstsein hervorbringen? Diese Fragen werden uns ausführlich beschäftigen.

Was aber treibt letztlich die Ausbildung solcher Strukturen voran? Auch hier gibt es ganz unterschiedliche Anschauungen. Für einige Experten sind es die natürlichen Überlebensbedingungen der Tiere: Je komplexer diese werden, desto leistungsfähiger müssen auch Sinnesorgane, Nervensysteme und Gehirne werden, und desto eindeutiger geht der Trend zu einer Erhöhung der Lernfähigkeit, der Verhaltensflexibilität und Innova-

tionskraft. Dies schlägt sich dann in der Evolution neuronaler Merkmale nieder. Diese Auffassung wird als *Hypothese der ökologischen Intelligenz* bezeichnet. Andere Forscher sehen in der zunehmenden Sozialität von Tieren die Haupttriebkraft: Je komplexer die Bedingungen sozialen Lebens werden, desto mehr müssen Fähigkeiten gesteigert werden wie soziales Lernen, Imitation, Empathie, Wissensvermittlung, Bewusstsein und die Entwicklung einer „Theorie des Geistes“. Auch dies erfordert Neuerungen in den Gehirnen. Man spricht in diesem Fall von der *Hypothese der sozialen Intelligenz*. Natürlich können beide Faktoren, der ökologische und der soziale, eine Rolle spielen, wenngleich bei unterschiedlichen Tiergruppen in unterschiedlichem Maße. Schließlich gehen einige Autoren davon aus, dass der entscheidende Faktor die Steigerung einer *allgemeinen Intelligenz*, das heißt der Schnelligkeit und Effektivität der Informationsverarbeitung in kognitiven Hirnzentren ist.

Im vorliegenden Buch werde ich folgendermaßen vorgehen. In den ersten beiden Kapiteln dieses Buches bemühe ich mich um eine genauere Definition der beiden Schlüsselbegriffe „Geist“ und „Evolution“. Das dritte Kapitel wird sich mit der Definition von Leben und dessen Entstehung befassen. Hintergrund ist meine These, dass die Entstehung kognitiver Leistungen *zwangsläufig* aus den Erfordernissen des Prinzips der Selbsterhaltung folgt, welches Leben charakterisiert. Das vierte Kapitel widmet sich der „Sprache des Gehirns“, das heißt den Grundlagen der neuronalen Informationsverarbeitung. Wir werden sehen, dass sich diese „Sprache“ in der Evolution sehr früh, nämlich bei der Entstehung der Einzeller ausbildete und damit lange, bevor es Nervenzellen und Gehirne gab.

Im fünften Kapitel beginnt die Reise durch das Tierreich, wobei wir „ganz unten“ bei den Bakterien als einfachsten Lebewesen anfangen, bei denen man noch gar nicht von „Tieren“ sprechen kann. Bakterien und Protozoen haben schon alles, was man zum erfolgreichen Überleben braucht: Ein Sensorium für die Wahrnehmung relevanter Umweltereignisse,

ein Motorium zur Bewegung und dazwischen eine Erregungsleitung. Im Prinzip hat sich im Tierreich nichts grundlegend Neues dazugesellt. Im sechsten Kapitel verfolgen wir diesen Prozess, der bei den Schwämmen anfängt, in den Hohltieren (unter anderem den Quallen) eine Seitenentwicklung nimmt und bei den Wirbellosen in zwei großen Strängen verläuft – der Entwicklung der Lophotrochozoa (zum Beispiel Ringelwürmer und Weichtiere) und der der Ecdysozoa (vornehmlich Fadenwürmer und Gliederfüßer). Der erste Strang bringt den Kraken *Octopus* als (vermeintlich oder tatsächlich) intelligentes wirbelloses Tier hervor, der zweite Strang die ungeheuer große Gruppe der Insekten, bei denen die Bienen mit ihren erstaunlichen kognitiven Leistungen hervorstechen. Wir werden uns im siebten Kapitel deshalb fragen, wie intelligent diese wirbellosen Tiere wirklich sind.

Ab dem achten Kapitel befassen wir uns überwiegend mit den Wirbeltieren und vergleichen die Gehirne von Neunaugen, Knorpel- und Knochenfischen, Amphibien, Reptilien, Vögeln und Säugetieren. Wir werden sehen, dass sich der Grundbauplan des Wirbeltiergehirns in 500 Millionen Jahren kaum verändert hat und die ins Auge fallenden Unterschiede meist die absolute Größe des Gesamtgehirns und die relative Größe einzelner Hirnteile betreffen. Die Sinnessysteme der Wirbellosen und der Wirbeltiere sind Gegenstand des zehnten Kapitels. Im elften Kapitel stellen wir uns, analog zum siebten Kapitel, die Frage, wie intelligent Wirbeltiere eigentlich sind bzw. welche Gruppen sich mit ihren geistig-kognitiven Leistungen besonders hervortun. Dies nutzen wir im zwölften Kapitel, um zu sehen, inwieweit sich diese Erkenntnisse mit Eigenschaften der Gehirne in Verbindung bringen lassen, und bei welchen Eigenschaften dies am besten gelingt. Das dreizehnte Kapitel fragt nach der Bedeutung der drei oben genannten Formen von Intelligenz (der ökologischen, der sozialen und der allgemeinen). Das vierzehnte Kapitel ist der zentralen Frage gewidmet, ob der Mensch in kognitiv-geistiger Hinsicht wirklich einzigartig ist,

und wie sich die Eigenheiten seines Gehirns hierzu verhalten. Im fünfzehnten Kapitel versuche ich dann das Resümee hinsichtlich der zwei Grundfragen des Buches, nämlich ob im Sinne eines Naturalismus der Geist des Menschen als Produkt der biologischen Evolution angesehen werden kann oder nicht und ob der menschliche Geist die einzig mögliche Form des Geistes ist oder im Laufe der Evolution der Geist mehrfach, vielleicht sogar vielfach unabhängig entstanden ist. Die Antwort auf diese Frage wird von großer Bedeutung für unser Selbstbild sein.

1

Geist, Lernen und Intelligenz

Wir sind gewohnt, Geist mit *bewusstem* Wahrnehmen, Denken, Entscheiden, Phantasieren, Erinnern, Planen in Verbindung zu bringen. In diesem Buch geht es aber um einen viel umfassenderen Begriff des Geistes, nämlich um kognitive Fähigkeiten und Intelligenz, also eher um Geist im Sinne des englischen Wortes „*mind*“. Dieser Begriff bezeichnet vor allem die Fähigkeit eines Organismus, *Probleme zu lösen*, die in seiner natürlichen oder sozialen Umgebung auftreten. Dazu gehören Formen des assoziativen Lernens und der Gedächtnisbildung, Verhaltensflexibilität, innovatives Verhalten sowie Leistungen, die Abstraktion, Begriffsbildung und Einsicht erfordern. All das kann, muss aber nicht von Bewusstsein begleitet sein – auch wir Menschen führen viele kognitive Leistungen ohne oder nur mit begleitendem Bewusstsein aus. Die Beteiligung von Bewusstsein muss zusätzlich festgestellt oder wahrscheinlich gemacht werden (s. unten).

Derartige kognitive Fähigkeiten finden wir nicht nur beim Menschen oder sogenannten höheren Tieren (womit freilich bei unterschiedlichen Autoren häufig ganz verschiedene Tiergruppen gemeint sind). Einige von ihnen treten bereits bei sehr einfach gebauten Lebewesen auf. Es gibt keinen Organismus, der seine Welt nur mit den Sinnesorganen wahrnimmt und reflexartig oder instinktmäßig darauf reagiert, sondern alle Organismen besitzen neben ihren Wahrnehmungssystemen ein Lernvermögen, ein Gedächtnis und eine multisensorische

2 Wie einzigartig ist der Mensch?

Reizverarbeitung. Ohne Zweifel haben geistige Leistungen komplexerer Vielzeller Vorstufen auf diesen Ebenen.

Formen des Lernens

Lernen ist eine universell verbreitete Fähigkeit zur mittel- und langfristigen Anpassung eines Organismus an seine Umwelt. Im Allgemeinen unterscheidet man zwischen *assoziativem* und *nichtassoziativem* Lernen. Zum nichtassoziativen Lernen gehören *Habituation* und *Sensitivierung*, assoziatives Lernen dagegen umfasst *klassische (Pawlow'sche) Konditionierung* sowie *operante* oder *instrumentelle Konditionierung* in ihren verschiedenen Ausprägungen. Als komplexere Lernformen werden *Imitation* und *Einsichtslernen* angenommen.

Habituation und *Sensitivierung* sind die einfachsten Formen der erfahrungsbedingten Verhaltensanpassung. *Habituation* ist das Nachlassen einer bestimmten Verhaltensweise oder physiologischen Reaktion auf einen starken oder auffälligen Reiz, und zwar aufgrund des Fehlens relevanter negativer oder positiver Konsequenzen – etwas hat sich als nicht so bedrohlich oder wichtig erwiesen, wie es anfangs schien. *Sensitivierung* ist dagegen die Steigerung einer anfänglich schwachen Verhaltensweise oder physiologischen Reaktion auf einen schwachen oder unauffälligen Reiz, und zwar aufgrund seiner negativen oder positiven Konsequenzen – etwas ist wichtiger, vorteilhafter oder schlimmer, als es anfangs schien. *Habituation* und *Sensitivierung* beruhen auf einer *Bewertung* durch das Nervensystem, wobei diese Bewertung meist hochautomatisiert abläuft.

Die *klassische Konditionierung* ist eine Grundform assoziativen Lernens. Hierbei zeigt ein Organismus eine spontane Reaktion, *unbedingte Reaktion (UR)* genannt (beispielsweise eine vegetative oder affektive Reaktion wie Speichelabsonderung, Hautwiderstandsänderungen oder eine motorische Reaktion wie das Vorstrecken des Rüssels bei der Biene) auf einen *unbedingten Reiz*

(US), etwa ein bedrohliches Ereignis oder Futter. Wird der unbedingte Reiz mehrfach zeitlich mit einem *neutralen* Reiz oder Signal (ein Ton, ein Duft) kombiniert (*assoziiert*), so erhält der neutrale Reiz die Fähigkeit, für einige Zeit die unbedingte Reaktion in derselben oder in einer veränderten Form auszulösen. Der zuvor neutrale Reiz wird nun zum *bedingten Reiz* (CS), die Reaktion zur *bedingten Reaktion* (CR).

In den meisten Fällen beruht die Wirkung der klassischen Konditionierung auf einer präzisen zeitlichen Reihenfolge, bei der der bedingte Reiz *vor* dem unbedingten Reiz oder zusammen mit ihm auftreten muss; ein danach auftretender bedingter Reiz ist unwirksam. Es gibt aber Ausnahmen von dieser Regel. Heute geht man davon aus, dass der bedingte Reiz bei einigen Organismen bzw. Lernparadigmen aufgrund eines statistisch erhöhten zeitlichen und/oder räumlichen Zusammentreffens mit dem unbedingten Reiz zu dessen „Vorhersager“ (*Prädiktor*) wird (Lachnit 1993).

Ein wichtiger Typ der klassischen Konditionierung ist die *Kontextkonditionierung*. Hierbei lernt ein Organismus, dass bestimmte Reize bzw. Ereignisse in einer ganz bestimmten Umgebung oder unter ganz bestimmten Verhältnissen, einem *Kontext*, eine positive oder negative Wirkung zeigen. Seine Reaktionen sind dann an diesen Kontext gebunden. So können wir in einer bestimmten Umgebung vor bestimmten Dingen große Furcht haben, in anderer Umgebung, in der wir nicht konditioniert wurden, aber nicht. Dies gilt auch für den Abruf von Gedächtnisinhalten: Bestimmte Dinge fallen uns in einer bestimmten Umgebung vermehrt ein (meist gepaart mit bestimmten Emotionen) und in anderen nicht so leicht.

Die *operante* oder *instrumentelle Konditionierung* ist die andere wichtige Art assoziativen Lernens. Sie umfasst eine adaptive Veränderung der Reiz-Reaktions-Beziehungen eines Organismus: Eine bestimmte Verhaltensweise wird verstärkt oder abgeschwächt durch die positiven oder negativen *Konsequenzen* für den Zustand des Organismus. Der Verlauf einer operanten Kondi-

4 Wie einzigartig ist der Mensch?

tionierung stellt sich im Labor so dar: Das *spontane* Agieren eines zum Beispiel durch Nahrungsentzug motivierten Versuchstieres (Taube, Ratte usw.) führt in der Testbox zu einem meist zufälligen Auftreten der vom Versuchsleiter erwünschten Reaktion (Picken auf eine Scheibe, Hebeldrücken oder Ähnliches), und diese Reaktion wird belohnt, zum Beispiel durch Futtergabe. In der Folge kommt es zu einer *Zunahme* der erwünschten Reaktion und einer Abnahme sonstiger oder unerwünschter Reaktionen. Nach kurzer Zeit wird die hungrige Ratte – kaum dass sie sich in der Testbox befindet – den Hebel drücken, um an Futter zu kommen.

Im Gegensatz zur klassischen Konditionierung ist die Verhaltensweise keine bereits vorhandene physiologische Reaktion, sondern ein Verhalten, welches das Tier zuvor noch nicht oder zumindest nicht in dieser Weise gezeigt hat. Bei der klassischen Konditionierung wird eine bereits vorhandene Reaktion durch einen neuen Reiz ausgelöst, bei der operanten Konditionierung muss das Tier eine noch nicht in dieser Weise vorhandene Reaktion zeigen. In beiden Fällen handelt es sich um eine *Assoziation*, im ersten Fall um die Assoziation des unbedingten und des bedingten Reizes, im zweiten Fall um die zwischen Reaktion bzw. Verhaltensweise und ihren Konsequenzen.

Bei den Methoden der operanten Konditionierung unterscheidet man

1. *Bestrafung*: Die Auftrittswahrscheinlichkeit einer unerwünschten Reaktion wird durch einen Strafreiz verringert.
2. *Belohnungsentzug*: Ein als positiv empfundener Reiz („Belohnung“) wird entzogen, und das Individuum muss eine erwünschte Reaktion erbringen, um die Belohnung wiederzuerlangen.
3. *Vermeidungslernen (negative Konditionierung)*: Das Individuum muss eine erwünschte Reaktion zeigen, um einen Strafreiz zu vermeiden oder eine negative Situation zu beenden.

4. *Belohnung (positive Konditionierung)*: Das Individuum muss eine erwünschte Reaktion zeigen, um eine Belohnung zu erlangen.

Ob es überhaupt Lernformen jenseits der soeben geschilderten Formen gibt, war lange Zeit umstritten. Viele Verhaltenspsychologen und -biologen vertraten die Auffassung, dass sich alles Lernen auf Habituation, Sensitivierung, klassische und operante Konditionierung zurückführen lässt. Heute sind allerdings die meisten Experten der Meinung, dass es Lernformen gibt, die darüber hinausgehen. Hierzu gehören *Imitation* und *Lernen durch Einsicht*.

Imitation oder „Lernen durch Zuschauen“ wurde lange Zeit als primitive Lernform angesehen und dem Einsichtslernen gegenübergestellt. Heute wird *Imitation* als eine höhere Form des Lernens angesehen. Das *Auftreten neuer Verhaltensweisen* oder neuer Kombinationen vorhandener Verhaltensweisen ist ein wichtiges Merkmal von *Imitation*. Verhaltensforscher sind sich aber uneins, ob und in welcher Form Tiere *Imitation* zeigen. Manche bisher als *Imitation* beschriebenen Vorgänge werden heute als *Reizverstärkung*, *Reaktionsbahnung* oder *Emulation* (Nach-eifern) angesehen. Echte *Imitation* liegt danach vor, wenn der Beobachtende nicht nur dazu gebracht wird, sich mit einer bestimmten Sache zu befassen, sondern wenn er die Aufgabe in mehr oder weniger genau derselben Weise löst wie der Beobachtete. Dabei ist es gleichgültig, ob der Beobachter den Sinn und Zweck der entsprechenden Handlung verstanden hat.

Dieser Aspekt steht hingegen beim *Lernen durch Einsicht* im Vordergrund. Das *Imitieren* einer beobachteten Verhaltensweise erkennt man meist daran, dass Tier und Mensch an einer bestimmten, abgeschauten Prozedur festhalten, obwohl sich bestimmte Rahmenbedingungen verändert haben. Dem steht die *Einsicht in das Prinzip* gegenüber, die Abwandlungen der Prozedur erlaubt. Dies spielt etwa beim Werkzeuggebrauch und der Werkzeugherstellung eine wichtige Rolle.

Gedächtnisformen

Gedächtnisbildung ist die Verankerung der Ergebnisse von Lernprozessen im Nervensystem bzw. Gehirn. Hier unterscheidet man generell drei Phasen, nämlich ein Kurzzeitgedächtnis, ein intermediäres Gedächtnis und ein Langzeitgedächtnis. Eine besondere Art des Gedächtnisses ist das Arbeitsgedächtnis (Schacter 1996; Markowitsch 2002).

Das *Kurzzeitgedächtnis* hat eine Spanne von zwei bis 30 Sekunden und beruht auf einer vorübergehenden, rein physiologischen Veränderung der synaptischen Kopplung von Neuronen. Es ist sehr störanfällig. Das *intermediäre Gedächtnis* umfasst eine Behaltensspanne von 30 Sekunden bis 30 Minuten. Es ist ebenfalls relativ störanfällig. Seine Mechanismen sind unbekannt. Das *Langzeitgedächtnis* speichert Informationen für einen Zeitraum von 30 Minuten bis zu Jahrzehnten. Seine Kapazität ist praktisch unbegrenzt und es ist wenig störanfällig, weil es nach heutiger Kenntnis auf strukturellen Veränderungen im Nervensystem beruht. Allerdings ist unklar, wie das Langzeitgedächtnis geformt wird. Bei vielen Tieren und vielen Lernakten hängt die Ausbildung eines Langzeitgedächtnisses von der Expression bestimmter Gene bzw. von Proteinsynthese ab und kann durch die Gabe von Antibiotika gestört werden, die die Genexpression oder die Proteinsynthese unterdrücken. Bei anderen Tieren und anderen Lernakten kommt es trotz der Gabe von Antibiotika zur Ausbildung eines Langzeitgedächtnisses, wobei die Mechanismen unklar sind. Das *Arbeitsgedächtnis* ist zuständig für kurzfristiges Bereitstellen von Informationen, die bearbeitet, das heißt verglichen, zusammengefügt und bewertet werden müssen, und überlappt mit den Funktionen des Kurzzeitgedächtnisses. Das Arbeitsgedächtnis hat eine notorisch begrenzte Kapazität; es repräsentiert beim Menschen die „Enge des Bewusstseins“.

Hinsichtlich der *Gedächtnisinhalte* unterscheiden wir ein deklaratives, ein emotionales und ein prozedurales Gedächtnis. Beim Menschen wird das deklarative Gedächtnis weiter unterteilt in

ein *episodisches Gedächtnis* und ein *Wissens-* bzw. *Faktengedächtnis*. Ersteres umfasst das Erinnern im eigentlichen Sinne. Es beinhaltet das *autobiographische Gedächtnis* und speichert inhaltlich, räumlich und zeitlich konkrete Erlebnisse mit Bezug auf die eigene Person oder die Schicksale von Personen, die mit dem eigenen Schicksal verbunden sind, sowie den räumlichen, zeitlichen und inhaltlichen *Kontext* von Gedächtnisinhalten; deshalb wird es auch *Kontextgedächtnis* genannt. Das *Faktengedächtnis* hingegen umfasst *Wissen* und betrifft personen-, orts-, zeit- und kontextunabhängige Tatsachen. Schließlich gehört zum deklarativen Gedächtnis das *Bekanntheits-* oder *Vertrautheitsgedächtnis*. Es sorgt dafür, dass wir darüber urteilen können, ob uns ein bestimmtes Objekt oder ein bestimmtes Geschehen bekannt bzw. vertraut ist oder nicht.

Beim Menschen ist das deklarative Gedächtnis – wie sein Name schon sagt – an die prinzipielle sprachliche Berichtbarkeit gebunden. Da Tiere offensichtlich über keine der menschlichen Sprache entsprechende Kommunikationsform verfügen, ist die Existenz eines deklarativen Gedächtnisses bei Tieren umstritten – zumindest muss seine Definition abgewandelt werden.

Das *prozedurale, nichtdeklarative* Gedächtnis umfasst beim Menschen 1) alle *Fertigkeiten*, über die wir verfügen, seien sie kognitiver (wie das schnelle Erkennen von Fehlern in einem Ablauf) oder motorischer Art (wie Klavierspielen und Fahrradfahren), sowie die Ausbildung von *Gewohnheiten*; 2) *Priming*, das ist das Reproduzieren von implizitem Wissen mittels Stichwörtern und sonstigen Abrufhilfen; 3) *kategoriales Lernen*, also das Klassifizieren anhand von Leittypen; 4) *Varianten klassischer Konditionierung*; 5) *nichtassoziatives Lernen*, das heißt Gewöhnung und Sensitivierung. Alle nichtmenschlichen Tiere besitzen ein prozedurales Gedächtnis.

Das *emotionale Gedächtnis* weist Merkmale des deklarativen und des prozeduralen Gedächtnisses auf. Es beruht auf emotionaler Konditionierung: Ein Organismus nimmt ein bestimmtes Ereignis (Reiz oder Situation) wahr oder führt eine bestimmte

Handlung aus, die negative oder positive Folgen haben. Diese Konsequenzen werden in Verbindung mit einem entsprechenden emotionalen oder affektiven Zustand (Lust, Unlust, Freude, Furcht usw.) und zusammen mit der Wahrnehmung des Ereignisses oder der Ausführung der Handlung abgespeichert. Sobald das Ereignis erneut in derselben oder in einer sehr ähnlichen Weise eintritt, oder die Handlung in derselben oder einer sehr ähnlichen Weise ausgeführt wird, wird auch der entsprechende emotional-affektive Zustand wieder aufgerufen. Dies führt als Grundlage von *Motivation* zum *Aufsuchen* bzw. *Wiederholen* positiv besetzter und zum *Vermeiden* negativ besetzter Ereignisse oder Handlungen. Motivation beruht also auf einer Voraussage oder Vorerwartung der positiven oder negativen Konsequenzen zukünftigen Verhaltens und setzt ein zentralnervöses Bewertungssystem voraus; bei Wirbeltieren ist dies das limbische System.

Intelligenz und Verhaltensflexibilität

Während man beim menschlichen Verhalten „Intelligenz“ gut definieren und messen kann, nämlich als Lösen unbekannter bzw. neuartiger Probleme unter Zeitdruck, ist dies bei nichtmenschlichem Verhalten schwieriger. Wir sehen, dass die allermeisten Tiere in ihrer angestammten Lebenswelt gut zurechtkommen, andernfalls würden sie nicht überleben, aber sind sie dabei auch intelligent? Wie definiert, misst und vergleicht man Intelligenz bei Tieren?

Über diese Frage haben sich in jüngerer Zeit vermehrt Verhaltensbiologen Gedanken gemacht. Da Tiere menschliche Sprache nicht hinreichend verstehen, kann man ihnen keinen IQ-Test vorlegen. Um das Sprachproblem zu umgehen, haben Verhaltensforscher ganz unterschiedliche Herangehensweisen

entwickelt. *Vergleichende Psychologen* untersuchen Tiere im Labor – meist handelt es sich um ausgewählte Tiergruppen wie Meeresschnecken, Tintenfische, Taufiegen und Bienen bei den Wirbellosen und Fische, Vögel oder Säugetiere, einschließlich verschiedener Primatenarten, bei den Wirbeltieren. Hierbei geht es beispielsweise um Lernen, Gedächtnis oder Zahlenverständnis, aber auch um Problemlöseverhalten, bei dem Aufgaben durch Einsicht gemeistert werden sollen, und das alles unter möglichst exakt kontrollierten Laborbedingungen.

Verhaltensökologen (auch „kognitive Ökologen“ genannt) vertrauen dagegen auf Freilandbeobachtungen und untersuchen meist das Ausmaß an *Verhaltensflexibilität*. Darunter versteht man die Fähigkeit, ein bewährtes Verhalten in einem neuen Kontext angemessen anzuwenden oder stark fluktuierende Reiz-, Umwelt- oder Verhaltensbedingungen zu bewältigen. Wie verhalten sich Bienen, wenn ihr heimischer Bienenstock versetzt wurde? Was tut ein Rabenvogel, wenn leckere Nahrung in einem mit dem Schnabel unzugänglichen engen Versteck verborgen ist? Aber es geht auch um sozial-kommunikative Fähigkeiten: Beherrschen Affen die Kunst, Artgenossen bei Bedarf zu ihrem Vorteil zu täuschen oder mögliche Täuschungen anderer zu unterlaufen? Zeigen Elefanten im Miteinander Empathie? Kooperieren Knochenfische beim Beutefang? Auch die *Innovationsfähigkeit* einer Spezies wird als ein Merkmal für Intelligenz angesehen, zum Beispiel wenn Individuen unabhängig voneinander immer wieder neue Wege entdecken, um besser oder schneller an Futter zu kommen. Es geht also insgesamt um Leistungen im Bereich der Nahrungssuche, der Orientierung im Habitat, bei der Brutfürsorge, um den Umgang mit sozialer Komplexität, Sprach- und Gesangslernen, Empathie und das Berücksichtigen der Vorstellungen und des Wissens anderer (englisch *theory of mind* und *knowledge representation*), aber auch um Kategorienbildung, Abstraktion sowie Denken und Handlungsplanen als „mentales Hantieren“.

Bewusstsein

Mit der Frage nach der möglichen Evolution des Bewusstseins betreten wir ein seit der europäischen Antike bis heute heiß diskutiertes Gebiet, insbesondere weil Bewusstsein und Geist in der Regel gleichgesetzt werden. Klassischerweise gelten beide Eigenschaften, ob unterschieden oder miteinander gleichgesetzt, zusammen mit Verstand und Vernunft als wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen Menschen und (nicht-menschlichen) Tieren. Aber auch viele Biologen waren sich in dieser Hinsicht unschlüssig, denn ob und wie die genannten kognitiven Fähigkeiten und Leistungen mit Bewusstsein zusammenhängen und wie man dies feststellen kann, und galt bis vor einiger Zeit als prinzipiell unbeantwortbar. Das Problem des *Fremdbewusstseins* ist jedoch grundsätzlicher Art und betrifft nicht nur die Tiere, sondern auch unsere Mitmenschen. Nur ich selbst weiß durch direktes Erleben, dass ich Bewusstsein habe bzw. bestimmte Dinge bewusst erlebe oder tue. Ob dies bei meinen Mitmenschen auch so ist, ist letztlich ungewiss. Aus der Beobachtung des Verhaltens eines Mitmenschen, einschließlich dessen, was er sagt, kann ich aber mit mehr oder weniger Berechtigung schließen, ob er bei und von dem, was er tut, Bewusstsein hat.

Wir gehen dabei gleichermaßen nach Alltagserfahrung und wissenschaftlicher Plausibilität vor. Wir wissen, dass wir viele Dinge ohne Bewusstheit oder mit nur begleitendem Bewusstsein tun können; hierzu zählen Reflexe und hochautomatisierte Handlungen, aber auch die Verarbeitung von Reizen, die zu schwach oder zu kurz sind, um bewusst wahrgenommen zu werden (man spricht hier von „subliminalen Reizen“), obwohl diese durchaus, insbesondere bei Wiederholung, unser Verhalten beeinflussen können. Zweitens können wir Dinge bewusst erlebt, sie aber wenige Sekunden später wieder vergessen haben, weil sie von unserem Gehirn als unwichtig angesehen wurden. Schließlich gibt es Dinge, die strikt Bewusstsein erfordern, weil