

Bewusstsein biologisch betrachtet

Kognitive Leistungen gibt es nicht nur beim Menschen, sondern auch bei Tieren. Auch wenn es zweifellos spezifisch menschliche Formen des Bewusstseins geben mag, so haben sich diese im Rahmen der biologischen Evolution allmählich entwickelt.

VON GERHARD ROTH

Bewusstsein gilt als dasjenige Merkmal, das den Menschen am deutlichsten von den Tieren unterscheidet; Tiere – so heisst es – denken nicht, sie haben keinen Geist und kein Bewusstsein. Angesichts der engen biologischen Verwandtschaft zwischen uns und unseren nächsten Verwandten, den Schimpansen (man spricht von einer genetischen Identität von 99 Prozent), und der grossen Ähnlichkeit in Hinblick auf das Sozialverhalten, den Bau des Gehirns und dessen Leistungen geraten wir mit einer solchen Auffassung jedoch in grosse Erklärungsnot. Können Geist und Bewusstsein einfach «vom Himmel fallen»? Es ist vernünftiger, davon auszugehen, dass sich Bewusstsein in verschiedenen Ausprägungen während der Evolution der Wirbeltiere, der Säugtiere, der Primaten und schliesslich des Menschen entwickelt hat und nicht während der Evolution zum Homo sapiens plötzlich in die Welt kam.

Wie kann man sich eine solche Evolution des Bewusstseins vorstellen? Beruht sie auf einem einzigen Faktor, der sich allmählich oder sprunghaft entwickelte, oder auf der Kombination mehrerer

Faktoren? Um diese Fragen genauer beantworten zu können, müssen wir uns kurz mit den neurobiologischen Grundlagen des menschlichen Bewusstseins befassen, um dann zu sehen, welche Tiere welche Leistungen vollbringen können, zu denen wir Menschen Bewusstsein benötigen. Schliesslich müssen wir feststellen, wie sich das menschliche Gehirn im Vergleich mit den Gehirnen anderer Tiere darstellt.

Neurobiologische Grundlagen des Bewusstseins

Bewusstseinszustände betreffen Wahrnehmen, Denken, Vorstellen, Erinnern, Handlungsplanung, aber auch Ich-Empfindungen und Gefühle. Sofern diese bewusst erlebt werden, sind sie unabdingbar an die Aktivität der so genannten assoziativen Grosshirnrinde (des Cortex) gebunden (Roth, 2001). Hierzu gehören der frontale Cortex (Stirnhirn) und Teile des temporalen und parietalen Cortex (Schläfenlappen und Scheitellappen; siehe Abbildung 1). Der hintere parietale Cortex hat mit Körper- und Raumbewusstsein zu tun, mit Handlungsvorbereitung, Aufmerksamkeit und symbolisch-analytischen Leistungen. Der obere und der mittlere Schläfenlappen verarbeiten komplexe auditorische Wahrnehmung einschliesslich des (linksseitigen) Wernicke-Sprachzentrums (Erfassung von Wort- und Sprachbedeutung). Der untere Schläfenlappen ist wichtig für komplexe visuelle Informationsverarbeitung.

Der präfrontale Cortex als Teil des Stirnhirns hat zu tun mit der Einschätzung der Verhaltensrelevanz von Umweltereignissen und Handlungsplanung; er ist auch Sitz des Arbeitsgedächtnisses. Im linken Stirnhirn befindet sich auch das Broca-Sprachzent-

rum, das für die Sprachsyntax und die daraus abgeleiteten Sprachbedeutungen zuständig ist. Der über den Augenhöhlen liegende orbitofrontale Cortex hat demgegenüber zu tun mit inneren Zuständen, beispielsweise mit der Einschätzung der Konsequenzen eigenen Verhaltens, der Motivation und der emotionalen Kontrolle des Verhaltens.

Die Grosshirnrinde ist nicht der alleinige Produzent von Bewusstsein. Vielmehr ist für das Entstehen von Bewusstsein die Aktivität vieler Gehirnzentren ausserhalb der Grosshirnrinde notwendig, die ihrerseits völlig unbewusst arbeiten. Entscheidend für Wachheit und Bewusstheit ist die im Mittelhirn, in der Brücke und im verlängerten Mark angesiedelte retikuläre Formation (RF); ihre Zerstörung führt zu einem generellen Verlust des Bewusstseins, das heisst zum Koma. Über die so genannten Raphe-Kerne sendet die RF Serotoninhaltige Fasern und über den Locus coeruleus Noradrenalin-haltige Fasern zu allen Hirngebieten, die mit Gefühlen, kognitiven Leistungen und Handlungssteuerung zu tun haben. Das Serotonin-System der Raphe-Kerne hat eine beruhigende und leicht euphorisierende Wirkung auf unser Befinden, das Noradrenalin-System des Locus coeruleus hingegen regt an und erhöht den allgemeinen Aktivitäts- und Aufmerksamkeitszustand.

Neben diesen Zentren, die unseren allgemeinen Bewusstseinszustand regulieren, gibt es Zentren, die in spezifischer Weise zu den verschiedenen Bewusstseinszuständen beitragen (siehe Abbildung 2, Seite 40). Hierzu gehört das cholinerge basale Vorderhirn, das mit der Kontrolle der spezifischen Aufmerksamkeit zu tun hat. Der dopaminerge

Gerhard Roth ist Professor für Biologie mit Schwerpunkt Verhaltensphysiologie am Institut für Hirnforschung der Universität Bremen.

Nucleus accumbens und das ventrale tegmentale Areal (VTA) sind mit der Bildung positiv eingefärbter Gedächtnisinhalte, mit der Ankündigung von Belohnung und in diesem Kontext mit Antrieben und Neugier befasst.

Die Amygdala (Mandelkern) hat vor allem mit dem Erkennen negativer Geschehnisse und entsprechend der Bildung negativ eingefärbter Gedächtnisinhalte zu tun, speziell mit der Ausbildung von Angst und Furcht. Die Hippocampus-Formation und die umliegende Hirnrinde (parahippocampaler, perirhinaler und entorhinaler Cortex) sind wichtig für die Organisation des bewussten deklarativen Gedächtnisses, insbesondere was kontexthaftes, episodisch-autobiographisches Gedächtnis betrifft. Die Inhalte dieses Gedächtnisses sind in der Grosshirnrinde abgelegt.

Kognitive Leistungen bei Tieren

Kognitive Leistungen gibt es nicht nur beim Menschen. Alle Wirbeltiere (und wahrscheinlich alle Wirbellosen mit grossen Gehirnen, beispielsweise Tintenfische) zeigen Zeichen von innengeleiteter Aufmerksamkeit, von Detailgedächtnis und der Fähigkeit zum Kategorisieren. Diese Leistungen sind jedoch nicht notwendigerweise von Bewusstsein begleitet. Man kann annehmen, dass diese Tiere einfache Formen bewussten Erlebens besitzen. Vorstufen von Ich-Gefühl und sozialer Identität gibt es bei allen Säugetieren und zumindest bei einigen Vogelarten, beispielsweise Papageien und Rabenvögeln.

Es gibt darüber hinaus eine Reihe kognitiver Funktionen, die wir Menschen nicht ohne Bewusstsein ausführen können; es ist deshalb schwer vorstellbar, dass dies bei Tieren anders sein könnte. Hierzu gehören: 1. Das Imitieren von Handlungen, insbesondere von Werkzeuggebrauch,

2. das Einnehmen der Perspektive eines anderen, 3. die gedankliche Vorausnahme zukünftiger Ereignisse (zum Beispiel das Herstellen von Werkzeugen im Voraus), 4. das Verstehen des Prinzips eines

Mechanismus, zum Beispiel beim Werkzeuggebrauch, 5. die Zuschreibung von Wissen bei anderen, 6. Selbsterkennen im Spiegel, 7. Unterscheidung zwischen Schein und Wirklichkeit, 8. Un-

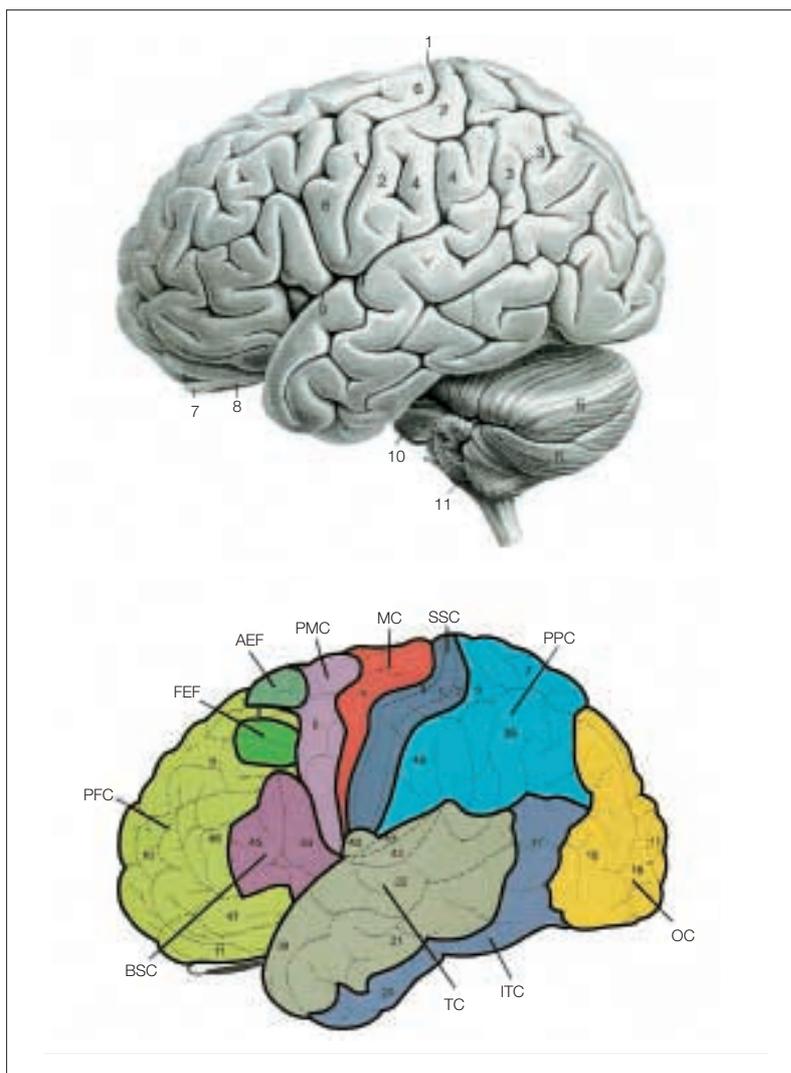


Abb. 1: Seitenansicht des menschlichen Gehirns. Sichtbar ist die Grosshirnrinde mit ihren typischen Windungen (Gyrus/Gyri) und Furchen (Sulcus/Sulci) und das ebenfalls stark gefurchte Kleinhirn. Abkürzungen: 1 Zentralfurche (Sulcus centralis); 2 Gyrus postcentralis; 3 Gyrus angularis; 4 Gyrus supramarginalis; 5 Kleinhirnhemisphären; 6 Gyrus praecentralis; 7 Riechkolben (Bulbus olfactorius); 8 olfaktorischer Trakt; 9 Sulcus lateralis; 10 Brücke (Pons); 11 Verlängertes Mark (Medulla oblongata).

Unten: Anatomisch-funktionelle Gliederung der seitlichen Hirnrinde. Die Zahlen geben die übliche Einteilung in cytoarchitektonische Felder nach K. Brodmann an. Abkürzungen: AEF = vorderes Augenfeld; BSC = Brocaches Sprachzentrum; FEF = frontales Augenfeld; ITC = inferotemporaler Cortex; MC = motorischer Cortex; OC = occipitaler Cortex (Hinterhauptslappen); PFC = präfrontaler Cortex (Stirnlappen); PMC = dorsolateraler prämotorischer Cortex; PPC = posteriorer parietaler Cortex; SSC = somatosensorischer Cortex; TC = temporaler Cortex (Schläfenlappen). (Nach Nieuwenhuys et al., 1991; verändert)

terrichten und 9. Verstehen und Gebrauch einer komplexen syntaktischen Sprache. Diese Fähigkeiten finden sich allerdings überwiegend nur bei Primaten und Delphinen, beziehungsweise nur bei Grossaffen und Delphinen

kommt wohl nur dem Menschen zu. Die meisten Autoren stimmen darin überein, dass Schimpansen, Gorillas und Delphine Sätze bis zu einem Umfang von drei Wörtern verstehen und benutzen. Ob es dabei Anzeichen für eine einfache

liegt nahe, denn ein grosses Gehirn wird als Anzeichen für besondere geistige Fähigkeiten angesehen; sie ist aber falsch. Einige Säugetiere wie Wale (einschliesslich der Delphine) und Elefanten haben erheblich grössere Gehirne (siehe Abbildung 3). Das menschliche Gehirn wiegt im Durchschnitt 1,35 Kilogramm, das Gehirn eines Elefanten 4 bis 5 Kilogramm und das eines Pottwals 7 bis 9 Kilogramm (es ist das grösste Gehirn überhaupt). Ebenso wird behauptet, dass das menschliche Gehirn relativ zu seiner Körpermasse das grösste sei. Auch dies ist nicht richtig. Der Mensch liegt hinsichtlich seines relativen Gehirnvolumens von rund zwei Prozent des Körpervolumens durchaus in der Spitzengruppe; sehr kleine Affen, Fledermäuse, Spitzmäuse und Vögel haben aber zum Teil Gehirne, die bis zu zehn Prozent des Körpervolumens ausmachen können (Hofman, 2000).

Was das menschliche Gehirn vor allen anderen Gehirnen auszeichnet, ist die Tatsache, dass es angesichts der absoluten Körpergrösse des Menschen ausserordentlich gross ist. Man kann berechnen, ob und inwieweit das relative Gehirnvolumen eines Säugetieres über oder unter dem Durchschnitt liegt. Wenn man die Verhältnisse bei der Katze willkürlich gleich Eins setzt, dann besitzt der Mensch ein relatives Gehirnvolumen, das sieben bis acht Mal grösser ist als der Säugetierdurchschnitt (das heisst, wenn er eine Katze in menschlicher Grösse wäre). Einzigartig macht ihn dies jedoch nicht, denn manche Delphine haben ein Gehirn, das um fünf bis sechs Mal grösser ist als der Säuger-Durchschnitt.

Länger lernfähig

Vielleicht kommt es aber gar nicht auf das absolute beziehungsweise relative Gehirnvolumen insgesamt an, sondern auf die Zahl der Nervenzellen, insbesondere derjenigen in der Grosshirnrinde. In

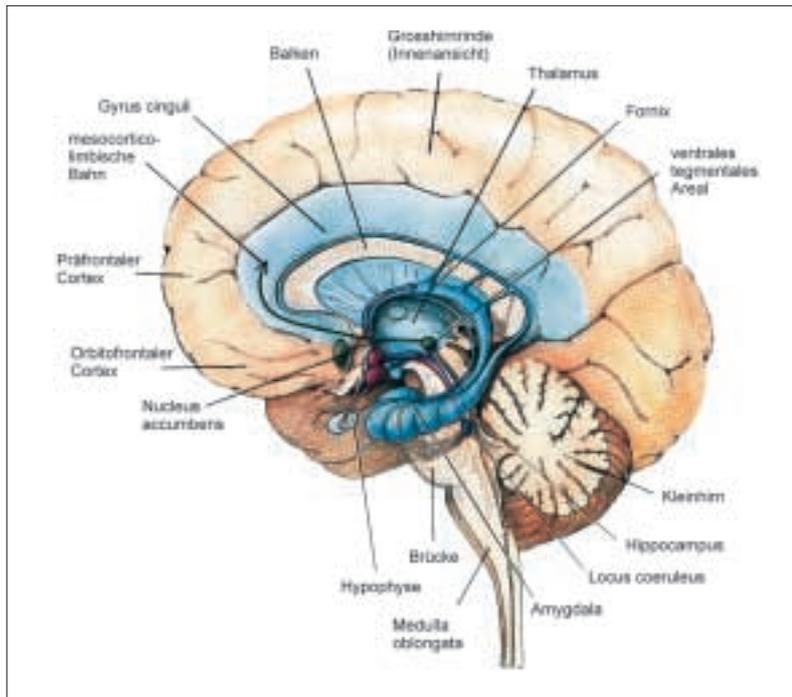


Abb. 2: Längs-Innenansicht des menschlichen Gehirns mit den wichtigsten limbischen Zentren. Diese Zentren sind Orte der Entstehung von positiven (Nucleus accumbens, ventrales tegmentales Areal) und negativen Gefühlen (Amygdala), der Gedächtnisorganisation (Hippocampus), der Aufmerksamkeits- und Bewusstseinssteuerung (basales Vorderhirn, Locus coeruleus, Thalamus) und der vegetativen Funktionen (Hypothalamus). (Nach Spektrum/Scientific American, 1994; verändert)

(3. bis 8.) oder nur bei Schimpansen (8.). Nichtmenschliche Tiere haben durchweg grosse Schwierigkeiten, Handlungen weit im Voraus zu planen; ihre explizite Handlungsplanung reicht meist kaum über wenige Stunden hinaus (Byrne, 1995).

Der Gebrauch einer komplexen syntaktischen Sprache (9.)

Grammatik gibt, ist umstritten. Schimpansen gehen selbst bei intensivem Training über die sprachlichen Fähigkeiten eines dreijährigen Kindes nicht hinaus.

Menschliches Gehirn im Vergleich

Alle oben genannten Strukturen, die beim Menschen für bewusste kognitive und emotionale Funktionen nötig sind, sind im Gehirn aller Säugetiere vorhanden; sie besitzen etwa dieselben Verbindungen untereinander und mit anderen Hirnteilen und weisen dieselbe Verteilung von chemischen Botenstoffen (Neurotransmittern, Neuromodulatoren und Neuropeptiden) auf. In dieser Hinsicht ist das menschliche Gehirn nichts Besonderes (Roth und Wullmann, 2001).

Häufig wird behauptet, der Mensch habe das grösste Gehirn unter den Tieren. Diese Annahme

der Tat scheint der Mensch – vielleicht zusammen mit den Elefanten – die meisten Gehirnzellen zu besitzen, nämlich ungefähr hundert Milliarden. Dies würde die Vermutung unterstreichen, dass es vornehmlich die Zahl der Nervenzellen und ihrer Kontaktpunkte, der Synapsen, ist, was zählt, wenn es um «Intelligenzleistungen» geht. Wale und viele Delphine haben zwar ein sehr viel grösseres Gehirn als der Mensch und eine entsprechend grössere Grosshirnrinde. Diese ist jedoch viel dünner und weist eine geringere Zellpackungsdichte auf. Wale und Delphine haben vermutlich 30 bis 50 Milliarden Neuronen in ihren Gehirnen und damit ähnlich viele wie Schimpansen. Die Intelligenz der beiden Tiergruppen ist nach Ansicht von Fachleuten durchaus vergleichbar.

Von grosser Bedeutung dürfte sein, in welchem Masse und für wie lange innerhalb der Lebenszeit die Verknüpfungen zwischen den Nervenzellen, den Synapsen – besonders denjenigen in der Grosshirnrinde – durch Lernen veränderbar sind. Es scheint, dass eine hohe Veränderbarkeit (Plastizität) corticaler Synapsen beim Menschen viel länger andauert als bei anderen Tieren. Während das Schimpansengehirn mit rund vier Jahren mehr oder weniger ausgereift ist, dauert dies beim Menschen bis zu einem Alter von 20 Jahren. Dadurch ist der Mensch viel länger lernfähig und sozialisierbar als die anderen Tiere.

Ein «verjugendlichter» Schimpanse?

Es bleibt die Frage, wie der Mensch zu seinem überdurchschnittlich grossen Gehirn kam. Innerhalb von 3 bis 4 Millionen Jahren hat sich von den frühesten Menschenartigen, den Australopithecinen, an das Gehirnvolumen von zirka 450 auf durchschnittlich 1350 Kubikzentimeter verdreifacht (dabei muss bedacht werden, dass nicht der moderne

Mensch, *Homo sapiens*, sondern der Neandertaler, *Homo neanderthalensis*, das grösste Gehirn aller Menschenartigen besass, und zwar mit einem Durchschnittsvolumen von 1650 Kubikzentimetern).

Die Gründe für diese stufenweise Zunahmen der Gehirngrösse sind unklar. Viele für den Menschen als typisch angesehenen Merkmale wie aufrechter Gang und Werkzeuggebrauch bildeten sich weit vor einer signifikanten Vergrösserung des Gehirns über das Menschenaffeniveau aus. Eine seit langem diskutierte Hypothese lautet, dass der Mensch ein «verjugendlichter» oder pädomorpher Schimpanse ist. Junge Schimpansen sind uns Menschen in der Tat viel ähnlicher als ausgewachsene Tiere; unter anderem haben sie relativ zum Körpervolumen ein viel grösseres Gehirn und sind viel lernfähiger als ihre erwachsenen Artgenossen.

Insgesamt gesehen scheint die Evolution bewusster kognitiver Leistungen (Denken, Vorstellen, Handlungspläne, sprachliche Kommunikation) nicht so sehr durch einen einzigen Faktor bestimmt zu sein, sondern durch die Kombination mehrerer Faktoren, die einzeln bei anderen Tieren ebenfalls zu finden sind: Ein grosses, kompliziert aufgebautes Gehirn mit sehr vielen Nervenzellen, der aufrechte Gang, der Handgebrauch und vor allem das Vorhandensein von Sprachzentren, die eine syntaktische Sprache ermöglichen. Hinzu kommt die stark verlängerte «Jugendperiode» des Gehirns.

Geist und Bewusstsein haben sich innerhalb der biologischen Evolution ganz offensichtlich allmählich entwickelt. Es mag aber spezielle Formen menschlichen Bewusstseins geben (beispielsweise Nachdenken über sich selbst), die wohl eng mit der Evolution einer syntaktischen Sprache zusammenhängen. Eine syntaktische Sprache erweitert enorm die

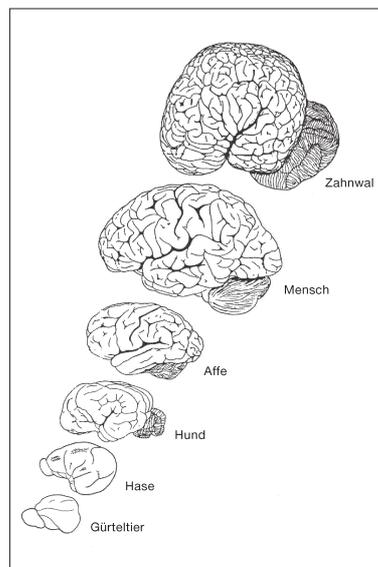


Abb. 3: Serie von Säugetiergehirnen, im gleichen Massstab gezeichnet. Wie man sehen kann, besitzt der Mensch weder das grösste Gehirn noch die grösste oder am meisten gewundene Hirnrinde. Die Zahl der Windungen der Grosshirnrinde wie auch des Kleinhirns nimmt als Folge einer Gehirnvergrösserung «automatisch» zu.

Möglichkeiten von Geist und Bewusstsein, aber sie bildet nicht deren Voraussetzungen, wie früher gern angenommen wurde.

LITERATUR

- Byrne, R.: *The Thinking Ape. Evolutionary Origins of Intelligence*. Oxford University Press, Oxford, New York, Tokyo 1995
- Hofman, M. A.: *Evolution and complexity of the human brain: Some organizing principles*, in: G. Roth und M. F. Wullimann (Hrsg.): *Brain Evolution and Cognition*, S. 501–521, Wiley-Spektrum Akademischer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin 2000
- Roth, G.: *Die neurobiologischen Grundlagen von Geist und Bewusstsein*, in: M. Pauen und G. Roth (Hrsg.): *Neurowissenschaften und Philosophie*, S. 155–209, UTB-W. Fink, München 2001
- Roth, G. und Wullimann, M. F.: *Die Evolution des Nervensystems und der Sinnesorgane*, in: Dudel J./Menzel, R./Schmidt, R. F. (Hrsg.): *Lehrbuch der Neurowissenschaft* 2001, S. 1–31