

Gehirn, Aufbau des (brain architecture)

Nervensysteme bilden über ↑Sensoren und ↑Effektoren zwei sensomotorische Bögen, das **autonome** oder **vegetative** und das **somatische Teilsystem**, wobei der Bogen des einen über die Körperinnenwelt, der des anderen über die Außenwelt geschlossen ist. Beide dienen gleichermaßen dem (sozio)biologisch definierten „im Mittel erfolgreichen Verhalten“. Die im folgenden ausschließlich betrachteten Wirbeltiergehirne bergen zentrale Instanzen dieser weitgehend informationsverarbeitenden Bögen und bilden mit dem ↑Rückenmark das **Zentralnervensystem** (↑ZNS). Das **periphere Nervensystem** umfaßt die Innervation der meisten Sensoren und Effektoren (Drüsen, Eingeweide- und Skelettmuskulatur) sowie Nester primär-sensorischer Neuronen (Ganglien) beider Teilsysteme. ↑Gehirne zeigen eine weitgehend einheitliche Grobgliederung, doch sind ihre Komponenten artspezifisch meist recht unterschiedlich aus- oder umgebildet. Die Grundstruktur folgt der des Rückenmarks und ist aus der Embryonalentwicklung zu verstehen.

I Entwicklung und Grobstruktur des Nervensystems

Die Neuralplatte aus spezialisiertem Ektoderm an der Rückenmittellinie des Embryos deltet sich entlang dieser ein und bildet – nach Schließung der dadurch entstandenen Rinne und ihrer Ablösung vom Ektoderm – das Neuralrohr (in der 4. menschlichen Schwangerschaftswoche). Seine innere Wandung ist Zellteilungszone und Zentrum der den Hohlraum zunehmend einengenden Zellpopulation (graue ↑Substanz) des künftigen Rückenmarks. Nach Migration und Differenzierung der Zellen entsenden sie ↑Axone, die nach Myelinisierung die Zellpopulation als weiße ↑Substanz umgeben.

Das Rückenmark ist, bis auf die wirbelbedingt segmentiert ein- und austretenden Faserbündel, in Längsrichtung recht homogen aufgebaut. In Schnitten senkrecht zur Längsachse hat die graue Substanz Schmetterlingsform, und zwar mit dem Körperinneren zugewandten, also bauchseitig (ventral) größeren „Flügeln“ (Vorderhorn). Dor-

tige Neuronen verarbeiten motorisch-propriozeptive Signale und innervieren – segmental organisiert – Muskelfasern der entsprechenden Körperhälften. Diese Schaltungen – typischerweise ↑Regelungen – halten z.B. Muskeln auch unter Laständerungen auf der von zentralen Instanzen befohlenen Länge. Dem Rücken zugewandte (dorsale) Neuronenpopulationen empfangen dagegen Fasern aus segmental angeordneten Ganglien (s.o.), also wesentlich sensorische Signale (Druck, Temperatur, Schmerz). Dort finden sich u.a. Verschaltungen, die der Schmerzübermittlung und Modulation dienen (Wall 1980). Neben der Grobunterscheidung in diese sogenannten somatomotorischen und -sensorischen Säulen neuronaler Verarbeitung sowie die des dazwischenliegenden und weniger auffälligen autonomen Teilsystems, lassen sich Neuronengebiete nach Lage und Funktion der Sensoren, Muskeln und Drüsen im Körper differenzieren. Die Säulen der Teilsysteme sind schon in den Segmenten des Rückenmarks über somatische (z.B. Kniesehnenreflex) und vegetative (z.B. Blasenentleerung beim Säugling) Reflexbögen verbunden. Sie schließen die sensomotorischen Zyklen auf unterster Ebene. Axone der radial ein- und austretenden Nerven verzweigen nur in benachbarte Segmente. Dem weiteren intersegmentalen Signalaustausch, also auch der Kommunikation mit dem Gehirn, dienen eigene axiale Fasersysteme: dorsal aufsteigend, ventral absteigend und lateral gemischt.

Entwicklungsgeschichtlich betrachtet, rührt die besondere Ausprägung des vorderen Endes des Neuralrohrs, also des Gehirns (*Cerebrum*; *encephalon* = im Kopf), von der dort zweckmäßigen Anordnung neuronal aufwendiger Sinnesorgane her. Unter prinzipieller Beibehaltung der Lateralsymmetrie und der Säulenstruktur weist der kopfseitige (rostrale) Bereich des Neuralrohrs eine Reihe von Krümmungen, Stauchungen (Rautenhirn), Schwellungen (Mittelhirn, Vorderhirn) und Ausstülpungen (Kleinhirn, Augenbläschen, Hypophysenkomplex, Großhirn) auf. Die abschließende Verdickung des Neuralrohrs buchtet paarig und je nach Spezies unterschiedlich stark zu den Endhirnhemisphären aus.

Gehirne zeigen, neben der enormen Zunahme an Nervenzellen, umfangreiche Gruppierung in sogenannte ↑Kerngebiete (z.B. ↑Thalamus, Hypothalamus, *Amygdala*) und Schichten (z.B. *Tectum*, *Geniculatum*). Außerordentlich ist die Ausbildung corticaler Strukturen (z.B. ↑Hippocampus, ↑Kleinhirn, ↑Riechhirn, ↑Neocortex). Diese Innovation bricht mit den für das Neuralrohr und die meisten Hirnteile typischen, von außen innervierten Neuronenpopulationen. Erst der inverse Aufbau, mit von innen innervierter, also an der Hirnoberfläche (↑*Cortex* = Rinde) befindlicher, grauer ↑Substanz ermöglicht vermutlich solch enorm große und hochvernetzte Strukturen wie die menschliche Großhirnrinde. Außer über diese grundlegende Eigenschaft definiert man corticale Strukturen als aus weitgehend gleichförmigen und zur Hirnoberfläche parallelen Schichten aufgebaut, wobei die äußerste Schicht Kontaktzone von Nervenzellfortsätzen ist und kaum Nervenzellkörper enthält. Weiterhin zeichnen sie sich durch auffällig viele Neuronen mit langen und senkrecht zur Schichtung verlaufenden ↑Dendriten aus.

Anlaß für so mancherlei Hypothese (Braitenberg 1986) bietet der hirntypische (teilweise) Seitenwechsel von Nerven (**Dekussationen**) – meist im Hirnstamm.

II Hirnaufbau

Anhand der beiden komplementär gefärbten neuroanatomischen Präparate (s. Abb. S. 224) – senkrechten Längsschnitten nahe der Mittenebene des Rattengehirns, das nicht abgewinkelt und wegen des erheblich kleineren Neocortex übersichtlicher als das Primatengehirn ist – lassen sich die wichtigsten Hirnabschnitte sowie Ansammlungen von Zellkörpern (oben dunkel durch Nissl-Färbung) und myelinisierten Fasern (unten dunkel durch Myelinfärbung) gut unterscheiden (↑Hirnforschung, Methoden der).

Die Präparate beginnen links mit dem hinteren (caudalen) Hirnende, also mit dem Übergang vom Rückenmark zum **Rautenhirn** (*Rhombencephalon*). Es trägt dorsal als auffällig baumartige Struktur das dreischichtige ↑Kleinhirn (*Cerebellum*) und bildet mit dem rostral anschließenden

Mittelhirn (*Mesencephalon*) den bei allen Wirbeltieren vergleichsweise ähnlichen **Hirnstamm**. Seine zentrale Struktur, das *Tegmentum*, führt die säulenförmige Organisation des Rückenmarks im gesamten Hirnstamm fort, wobei die Säulen, unter Verlust der Längskontinuität, weitgehend zu Kernstrukturen konzentriert und teilweise verlagert sind. Hier enden oder entspringen zehn der zwölf Kopf- oder Hirnnerven, darunter der Gleichgewichts- und Hörnerv (*Nervus statoacusticus*) im Rautenhirn sowie der *Nervus oculomotorius* im Mittelhirn. Ebenfalls durch den gesamten Hirnstamm zieht die wenig strukturierte ↑*Formatio reticularis*, die im Bereich des Mittelhirns beachtenswerte Begleiter aufweist: das zentrale Höhlengrau (*Substantia grisea centralis*), die *Substantia nigra* und die *Raphkerne*. Ebenso wie letztere projiziert der weitaus kleinere *Locus coeruleus* hoch divergent in fast alle Hirnbereiche, insbesondere auch in den Neocortex. Über die *Formatio reticularis* schließen sich auch die sensomotorischen Zyklen erstmals auf Hirnebene, typischerweise unter starker sensorisch-multimodaler Integration. Ventral verläuft das modernste motorische Fasersystem, die **Pyramidenbahn**, die den Motorcortex u. a. direkt mit Motoneuronen im Rückenmark verbindet. Als Halbmanschette bis zum Anfang des Mittelhirns reichend, legt sich um Pyramidenbahn und Rautenhirn die Brücke (*Pons*), ein Trakt aus Kernen mit im Neocortex entspringenden längs- und zum Kleinhirn querlaufenden Fasern. Die dorsale Region des Mittelhirns wird von der Vierhügelplatte (*Tectum* oder *Colliculi*) dominiert: caudal, sich im Präparat parallel zum Kleinhirn und gegen den caudalen Rand des Neocortex aufrichtend, die *Colliculi inferiores* mit überwiegend auditiven ↑Afferenzen, rostral die deutlich geschichteten *Colliculi superiores*, die visuellen Eingang erhalten und über das *Tegmentum* einen sensomotorischen Teilzyklus schließen. Rostral des Hirnstamms folgt das völlig anders aufgebaute **Vorderhirn** (*Prosencephalon*), das man grob in **Zwischenhirn** (*Diencephalon*) – mit den Retinae und Sehnerven (↑Sehsystem) – und paariges **Endhirn** (*Telencephalon*) unterteilt. Ersteres umfaßt dorsal den Thalamus-

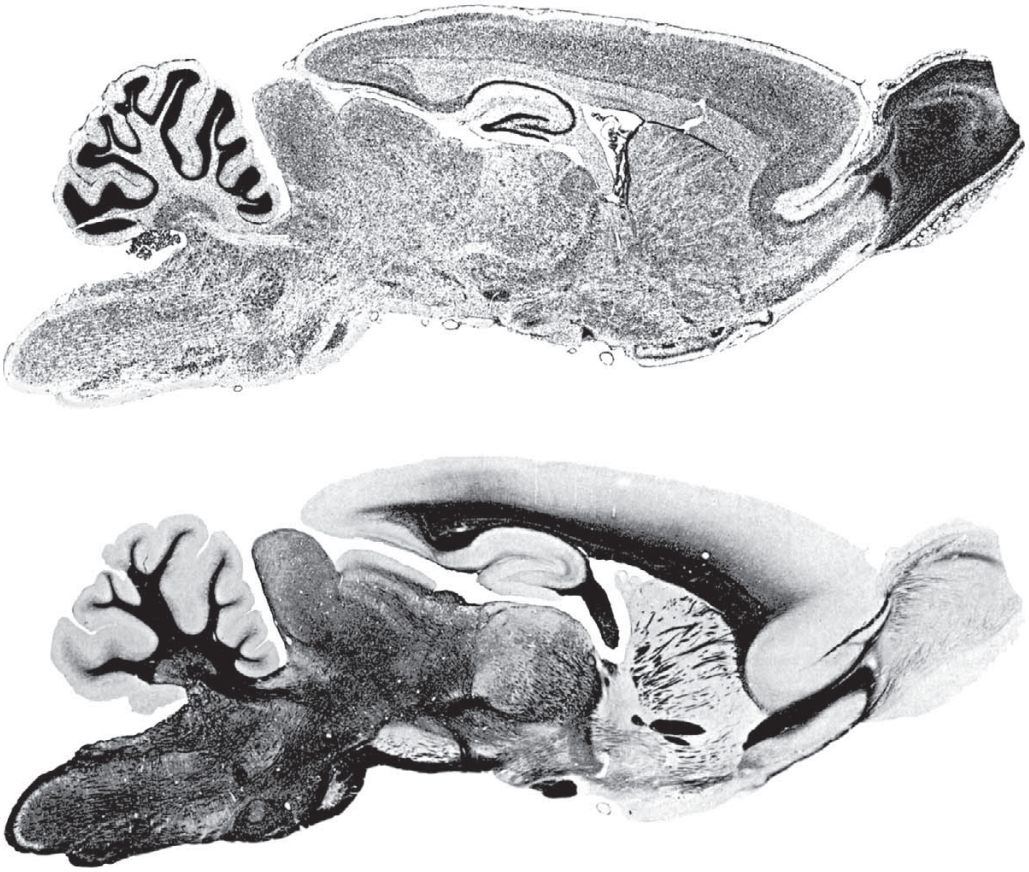


Abb.: Längsschnittpräparat eines Rattengehirns; oben Nissl-Färbung, unten Myelinfärbung.

Aus: *Gehirn und Nervensystem*, Spektrum, Heidelberg, 1984, S. 92. © Henry Hall & Diane Major

komplex (in der Myelinfärbung hell abgegrenzter, rostral gesprenkelter Bereich) u. a. mit den geschichteten Kernen des *Geniculatum*s, ventral den Hypothalamus mit dem ausgestülpten Hypophysenkomplex sowie das weniger gut erkennbare und rostral anschließende *Septum*, das schon zum Endhirn gehört. Darin eingebettet erscheinen im Präparat die **Basalganglien**: ventral, nächst dem Hypothalamus, das Mandelkerngebiet (*Amygdala*) sowie dorsal, unter dem Fasersystem des Neocortex, der stark von ihm innervierte Streifenkörper (*Corpus striatum*) mit seinen beiden äußeren Zonen, dem Schweifkern (*Nucleus caudatus*) und Schalenkörper (*Putamen*)

sowie dem *Pallidum* (*Globus pallidus*) genannten Innenbereich, der genau genommen aus dem Zwischenhirn stammt. Im caudalen Bereich des auskragenden und bei der Ratte prominenten Riechkolbens (*Bulbus olfactorius*) liegt die ↑Riechhirnrinde (olfaktorischer Cortex oder *Palaeocortex*). Sie bildet die Basis des bei der Ratte glatten und bis auf die Höhe der *Colliculi inferiores* zurückreichenden Neocortex, an dessen eingeklapptem Ende sich der charakteristisch gewundene ↑Hippocampus befindet. – Während sich auf höchster Verarbeitungsebene der sensorische Zyklus des autonomen Teilsystems offenbar schon im Hypothalamus des Zwischen-

hirns schließt, geschieht dies beim anderen Teilsystem erst im Endhirn, und zwar über Bögen zwischen sensorischen und motorischen Arealen des Neocortex.

III Struktur und Funktion ausgewählter Hirnteile

1. Tegmentum. Der caudale Teil des *Tegmentums*, das verlängerte Mark (*Medulla oblongata*), umfaßt mehrere ↑Kerne, die so lebenserhaltende autonome Funktionen wie Atmung, Herzrhythmus und Verdauung kontrollieren. Weiter steuert sie Reflexe zur Aufrechterhaltung der Körperstellung. Die **Brücke** dient u.a. der Informationsübertragung von den Großhirnhemisphären zum Kleinhirn. Die im *Tegmentum* entspringenden oder endenden Kopfnerven lassen sich in motorische, sensorische und gemischte Nerven unterteilen: Rein sensorisch ist nur der *Nervus statoacusticus* (VIII. Kopfnerv), in dem die Nervenfasern des Gleichgewichtsorgans und der ↑Cochlea gemeinsam das Gehirn erreichen. Motorisch sind der *Nervus hypoglossus* (XII), der die Zungenmuskulatur innerviert, der *Nervus accessorius* (XI), der Hals- und Eingeweidemuskulatur versorgt, und die *Nervi abducens* (VI), *trochlearis* (IV) und *oculomotoris* (III), die die Augenmuskulatur innervieren. Die restlichen Kopfnerven sind gemischt [*Nervus vagus* (X): Herz, Blutgefäße und Eingeweide; *Nervus glossopharyngeus* (IX): Zunge und Schlund; *Nervus facialis* (VII): Gesicht; und der umfängliche *Nervus trigeminus* (V), der die Mundmuskulatur innerviert und die sensorischen Fasern von Gesicht und Zunge enthält].

2. Formatio reticularis. Die ↑*Formatio reticularis*, die – vorwiegend über die medialen Thalamuskern – Verbindungen zum gesamten Gehirn aufweist und wie das *Tegmentum* zu den entwicklungsgeschichtlich kaum veränderten Hirnstrukturen zählt, erstreckt sich entlang der Mittellinie des gesamten Hirnstammes. Ihre Funktion besteht vor allem in der unspezifischen Modulation der Aktivität sämtlicher höheren Hirnareale, d.h. sie reguliert den allgemeinen Bewußtseinszustand (von höchster Aufmerksamkeit über Wachheit bis hin zu den verschiede-

nen Schlafphasen und pathologisch zum Koma; siehe auch 7.). Im Wachzustand koordiniert sie die Aktivität verschiedener Hirnareale. Beim schlafenden Tier kann man durch Reizung bestimmter Areale der *Formatio reticularis* eine Weckreaktion auslösen. Mit Hilfe eines ähnlichen Wirkmechanismus könnten Licht-, Schall-, Kälte- oder Berührungsreize einen schlafenden Menschen zum Aufwachen veranlassen.

3. Kleinhirn. Die stammesgeschichtliche Entwicklung läßt vermuten, daß das ↑Kleinhirn zunächst nur dem Gleichgewichtssinn diene, während es später in zunehmendem Maße auch Eingänge von anderen Sinnessystemen erhielt. Das einzige beim Menschen nach Kleinhirnschädigungen feststellbare Symptom – die als Ataxie bekannte motorische Störung, die sich in ruckartigen Bewegungen äußert – und die diversen Eingänge von den Sinnessystemen lassen darauf schließen, daß das Kleinhirn die Signale der meisten Sinne integriert und dadurch die Ausführung vor allem komplexer Bewegungen steuern kann.

4. Tectum, Vierhügelplatte oder Colliculi. Für Wirbeltiere ohne ausgeprägten Neocortex ist – neben thalamischen Instanzen, wie dem *Nucleus rotundus* der Vögel – das *Tectum* (Dach) im Mittelhirn oberste sensorische oder sogar sensomotorische Instanz. Obwohl die Aufteilung in auditive und visuelle Repräsentationen – entsprechend der jeweils paarigen *Colliculi inferiores* und *superiores* – zutrifft, sind besonders letztere multimodal. Überdies bestehen motorische Repräsentationen, die in das *Tegmentum* und in spinale Motorsysteme projizieren. Auch im *Tectum* hochentwickelter Säuger konstituiert sich das, was man konkrete Raumvorstellung nennen könnte. Vermutlich sind dort multimodal definierte Ereignispositionen in der Umwelt in gegenüber Eigenbewegungen stabiler Weise kartiert und zwar nicht als Bilder, wie wir sie in Form von Perzepten aufgrund neocorticaler Verarbeitung gewohnt sind, sondern als unbewußte Koordinaten, die mit wenigen einfach zu gewinnenden Ereignisattributen etikettiert sind und sich günstig in erfolgreiche Kopf-, Augen-, Zeige- und Greifbewegungen umsetzen lassen.

Die Bedeutung des *Tectum opticum* für ereignis- oder objektbezogene Handlungen offenbart sich z.B. nach Ausfall corticaler bildhafter Repräsentationen oder Analysestrukturen, wenn trotzdem zielgerichtete Bewegungen möglich sind („Blindsight“, Stoerig & Cowey 1993). Während bei Säugern die meisten Fasern der Sehnerven über das *Corpus geniculatum laterale* des Zwischenhirns in den primären visuellen Cortex des Endhirns ziehen (↑Sehsystem) und nur noch ein kleiner Teil die *Colliculi superiores* versorgt, verhält es sich bei nichtsäugenden Wirbeltieren umgekehrt. Im Gegensatz dazu gibt es bei allen Wirbeltieren kaum Hörfasern, die ohne Umschaltung in den *Colliculi inferiores* über das *Corpus geniculatum mediale* des Zwischenhirns in auditive Repräsentationen des Endhirns ziehen.

5. Thalamuskern. Der ↑Thalamus bildet eine entscheidende Zwischenstation auf dem Weg von den Sinnesorganen (↑Sinne) zum Neocortex. Mit Ausnahme des Geruchssinnes besitzen alle aufsteigenden sensorischen Nervenbahnen Stationen im Thalamus. Sie werden häufig als Relaisstationen bezeichnet, was ihrer Rolle aber nicht gerecht wird, weil hier auch Informationsverarbeitung stattfindet. Man vermutet z.B. Tormechanismen, u.a. als Teil der Aufmerksamkeitssteuerung. Das *Corpus geniculatum laterale*, der seitliche Kniekörper, ist Teil des ↑Sehsystems, während das *Corpus geniculatum mediale*, der mittlere Kniekörper, zum Hörsystem gehört. Ein weiterer ↑Kern, der *Nucleus ventralis*, ist an der Verarbeitung somatosensorischer Reize wie Berührungs-, Schmerz- und Temperatursignalen von der Körperoberfläche und Signalen von Muskeln, Sehnen und Gelenken beteiligt. Über 80 % der Eingänge des menschlichen Thalamus stammen jedoch nicht von den Sinnessystemen, sondern vom Neocortex oder anderen Hirngebieten (z.B. Cerebellum, *Pallidum*, *Striatum*). Die Thalamuskern, die in die aufsteigenden sensorischen Leitungsbahnen zwischengeschaltet sind, machen nur etwa 15 % des Thalamus aus. Weitere Funktionen des Thalamus sind weitgehend ungeklärt.

Zwischen Mittelhirn, Thalamus und Hypothalamus liegen der *Nucleus subthalamicus* und weitere Kerne, die zum motorischen System zählen.

6. Hypothalamus. Als klassische „Endstation“ des autonomen Nervensystems kontrolliert diese Zwischenhirnstruktur die inneren Organe und endokrinen Drüsen – also Drüsen, die ihre Hormone in den Blutstrom ausschütten, der sie dann zu den Wirkorten transportiert – auf höchster Ebene. Eine besonders wichtige unter hormonaler Kontrolle des Hypothalamus stehende endokrine Drüse ist die benachbarte **Hirnanhangdrüse** oder **Hypophyse**, deren Hinterlappen auch zum Zwischenhirn gehört und die gemeinsam mit dem Hypothalamus viele weitere endokrinen Drüsen kontrolliert. Außerdem scheint der Hypothalamus ein wichtiges Kontrollzentrum für Emotionen zu sein.

7. Endhirn oder Telencephalon. Die beiden sackförmigen Endhirnausstülpungen (↑Hemisphären) tragen an ihrer rostralen Spitze den Riechkolben. Den jeweils dorsalen Anteil dieser Hemisphären bildet das Pallium, das bei Säugern in all seinen Substrukturen zweifellos eine corticale Ausgestaltung erfährt. Man unterscheidet die einander teilweise zugewandten – genauer, mediodorsalen – ein- bis dreischichtigen Archicortices, jeweils lateral die dreischichtigen Palaeocortices oder ↑Riechhirnrinden und dazwischen, dorsolateral, die mindestens fünfgeschichtigen Neocortices. Sie nehmen – besonders bei Primaten – enorme Ausmaße an und legen sich – bei manchen Arten stark gefaltet – über viele Hirnstrukturen. Die meisten Arten weisen umfangreiche Faserverbindungen (allgemein: corticale Kommissuren; insbesondere: *Corpus callosum* oder Balken) zwischen beiden Neocortices auf. Bei hochdifferenzierten Gehirnen führt das Abbiegen der caudalen Anteile seitlich nach unten und teilweise rostral zur typischen, rostral offenen Hufeisenform (Temporalisierung). Somit ergibt sich die Grobunterteilung der menschlichen Großhirnrinden in Frontal-, Parietal- (Scheitelbereich), Okzipital- (caudaler Biegebereich) und eben den Temporallappen. Die Endhirnhemisphären schließen sich jeweils über das ventromedial liegende *Septum* und die den ventrolateralen Bereich einnehmenden Basalganglien – beides keine corticalen Strukturen. Die Nachbarschaft des *Septums* mit dem Archicor-

tex – bei Säugern u. a. dem ausdünnenden Rand des Neocortex, ↑Hippocampus genannt – besteht auch funktional. Beide Strukturen haben überdies innige Verbindung zum Hypothalamus und zum Riechhirn und bilden zusammen mit dem Kerngebiet der *Amygdala* das limbische ↑System.

Obwohl ursprünglich überwiegend ↑Riechhirn, erhält das Endhirn jedoch schon immer aus dem *Tectum* und über Thalamuskern auch einige sensorische Signale anderer Modalitäten und ist daher als höchstes assoziatives Zentrum zu betrachten. Die durch Corticalisierung auftretenden hochrepetitiven und zur Assoziation prädestinierten Strukturen mit der einhergehenden Zunahme an sensorischen Afferenzen, spezifischen Repräsentationen und Verarbeitungsarealen sowie die teils sehr direkten motorischen Efferenzen bilden einen funktional hochflexiblen sensomotorischen Bogen mit, vereinfacht gesagt, zentral angeordneten ↑Assoziativspeichern. Dieses häufig als autark kognitiv angesehene System unterliegt jedoch massiver Kontrolle durch bewertende und motivierende Instanzen.

Offenbar werden Sachverhalte und ihre Verknüpfungen auf höchster Ebene im Neocortex gelernt, d. h. gespeichert. Dabei stellt sich die Frage, was wann gelernt wird. Ob gelernt wird, hängt zuerst vom Bewußtseinszustand (unspezifische Aufmerksamkeit, Wachsamkeit, Entspanntheit, Schläfrigkeit, Schlaf) ab, der von der ↑*Formatio reticularis* über das sich stark verzweigende aufsteigende reticuläre Aktivierungssystem für alle höheren und nichtautonomen Systeme des Gehirns affektfrei festgelegt wird. Ist diese Grundbedingung erfüllt, so sind situativer und emotionaler Ereigniskontext wesentliche Bedingungen für die Ereignisspeicherung. Entsprechende Signale werden über den winzigen *Locus coeruleus* und *Raphekerne* hoch divergent in alle höheren Zentren und das Kleinhirn verteilt. Vieles spricht überdies für umfängliche semantisch-emotionale Bewertungen von Ereignissen durch das limbische ↑System – besonders die ↑Hippocampusformation und Kerne der *Amygdala* – vor ihrer Speicherung in das Langzeitgedächtnis.

Aufgrund erstklassiger Information über die Zustände von Um- und Innenwelt aus sensori-

ischem Cortex bzw. Hypothalamus ist das limbische System in der Lage eine Gefühlswelt für verhaltensrelevante Bewertung und Motivation zu erzeugen. Über umfangreiche neuronale Verbindungen der limbischen Assoziationsbereiche ist das limbische „Wollen“ mit dem präfrontalcorticalen „Sollen“, also dem kognitiven Planen, Prüfen und Initiieren, konfrontiert. – Für die Umsetzung der Handlungspläne erscheint die Nähe des Frontalcortex zu motorischen Arealen plausibel. Dort werden Bewegungspläne aufgestellt und den Bewegungskomponenten entsprechende Befehlsfolgen gebildet. Motorische Signale verlassen den Neocortex dann entweder nach Muskelgruppen aufgeschlüsselt direkt über die **Pyramidenbahn** oder sie lösen koordinierte, in den Basalganglien gespeicherte langsame (z. B. Gehen) oder in das Kleinhirn ausgelagerte schnelle (z. B. Klavierspielen) Bewegungsroutinen aus, die schließlich über *Tegmentumkerne* spinale Motoneurone ansprechen.

H. Glünder & A. Bibbig

Braitenberg, V. (1986, 2003) *Vehikel. Experimente mit künstlichen Wesen*. Münster: Lit Verlag.

Mitzdorf, U. (1990, 1994) Struktur und Funktion des Nervensystems. In: E. Pöppel, M. Bullinger & U. Härtel (Hg.) *Medizinische Psychologie und Soziologie*. (S. 19-42). Weinheim: Chapman & Hall.

Nauta, W.J.H. & Feirtag, M. (1990) *Neuroanatomie: eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum.

Stoerig, P. & Cowey, A. (1993) Blindsight: neurons and behaviour. In T.P. Hicks, S. Molotchnikoff & T. Ono (Hg.) *Progress in Brain Research*, 95, 445-459. Amsterdam: Elsevier.

Wall P.D. (1980) The substantia gelatinosa, a gate control mechanism set across a sensory pathway. *Trends in Neurosciences*, 3, 221-224.

Wörterbuch der Kognitionswissenschaft

Herausgegeben von Gerhard Strube
zusammen mit Barbara Becker, Christian Freksa,
Udo Hahn, Klaus Opwis, Günther Palm

1996

Klett-Cotta