

1 Einführung in die Neurobiologie

Rainer Goebel

1.1	Überblick	18
1.1.1	Forschungsrichtungen der Neurobiologie	19
1.2	Aufbau und Funktion wichtiger Hirnstrukturen	19
1.2.1	Das mesolimbische System im Mittelhirn	20
1.2.2	Zwischenhirn: Informationsfilterung und hormonelle Steuerung	21
1.2.2	Endhirn: Bewusstes Handeln und Erleben	22
1.3	Relevante Methoden und Befunde der Neurobiologie	25
1.3.1	Genetik und Neuroendokrinologie	25
1.3.2	Neurophysiologie und Neurochemie	27
1.3.3	Kognitive Neurowissenschaft	28

1.1 Überblick

In den letzten Jahrzehnten hat die neurobiologische Erforschung des menschlichen Gehirns grundlegend zum Verständnis motivationaler, emotionaler und kognitiver Aspekte menschlichen Erlebens und Handelns beigetragen. Biologen, Mediziner, Psychologen sowie Forscher aus zahlreichen weiteren Fachrichtungen versuchen gemeinsam, die neuronalen Mechanismen zu entschlüsseln, die unserem Verhalten zu Grunde liegen. In dieser Einführung wird der Begriff »Neurobiologie« weit gefasst und schließt sowohl die Erforschung molekularer und zellbiologischer Grundlagen des Nervensystems (Neurobiologie im engeren Sinne) als auch die Erforschung neuronaler Aktivität

in Zellverbänden (Neurowissenschaft im engeren Sinne) ein. Aus der Sichtweise der Psychologie wird der dargelegte neurobiologische Erklärungsansatz im Teilgebiet der *Biologischen Psychologie* verfolgt. Aus biopsychologischer Perspektive ist das Thema »Sexualität« besonders interessant, da es die Verwobenheit von psychischen Prozessen mit körperlichem Geschehen im besonderen Maße widerspiegelt. Zum einen wird die Wirkung kognitiver Vorgänge – Wahrnehmungen, Gefühle und Vorstellungen – auf physische Prozesse deutlich, zum anderen wird die Abhängigkeit des psychischen Erlebens von körperlichen Vorgängen wie z. B. hormonelle Prozesse ersichtlich.

Die verwendeten Methoden der Neurobiologie decken ein weites Spektrum ab, das von genetischen, neurochemischen und elektrophysiologischen Verfahren bis hin zu bildgebenden Verfahren reicht. Eine kurze Einführung kann dem weitreichenden Untersuchungsfeld und dem riesigen Arsenal von Messmethoden der Neurobiologie natürlich nicht gerecht werden. Für ausführliche deutschsprachige Einführungen eignen sich beispielsweise Birbaumer & Schmidt (2006), Engel (2009), Kandel et al. (2000), Schandry (2011) und Swaab (2012). In den folgenden Abschnitten werden daher lediglich einige zentrale Methoden und Erkenntnisse der Neurobiologie vorgestellt, die für ein tieferes Verständnis des Themas »Körper und Sexualität« besonders relevant sind.

1.1.1 Forschungsrichtungen der Neurobiologie

Als Teil der Neurowissenschaften analysiert die Neurobiologie Aufbau und Funktionsweise der zentralen Einheiten aller Nervensysteme, den *Neuronen* (Nervenzellen), und untersucht, welche Eigenschaften

und Auswirkungen die Vernetzung dieser Zellen zu neuronalen Netzwerken in komplexen Nervensystemen erzeugt. Neben Neuronen wird aber auch die Rolle anderer Zelltypen wie insbesondere Gliazellen analysiert, die nicht nur als Stützelemente im Nervensystem fungieren, sondern aktiv an der Aufrechterhaltung des elektrischen Potenzials von Nervenzellen beteiligt sind. Ferner spielt die Entschlüsselung der modulierenden Funktion von Botenstoffen und Hormonen für die Arbeitsweise komplexer neuronaler Netzwerke eine zentrale Rolle. Als Hirn- oder Gehirnforschung wird die neurobiologische Forschungsrichtung bezeichnet, die sich vorwiegend mit dem Aufbau und der Funktionsweise des Gehirns von Primaten (Menschen und Menschenaffen) befasst. Neben der experimentellen Grundlagenforschung wird unter medizinischen Gesichtspunkten in der Hirnforschung auch nach Ursachen und Heilungsmöglichkeiten von Nervenkrankheiten wie Parkinson, Alzheimer oder Demenz geforscht. Relevante Methoden und Ergebnisse der Hirnforschung für das Thema »Körper und Sexualität« stehen in dieser Einführung im Vordergrund.

1.2 Aufbau und Funktion wichtiger Hirnstrukturen

Die strukturelle Abgrenzung von spezialisierten Hirnregionen (► Abb. 1) aufgrund der Morphologie des Gehirns ist schwierig. Dies gilt insbesondere für den Kortex (Großhirnrinde), da eine Region, die visuelle Information verarbeitet, makroskopisch das gleiche Aussehen hat wie eine Region, die Sprache produziert. Neben Methoden der Zellphysiologie liefern in den letzten Jahren bildgebende Verfahren (► Abschnitt »Funktionelle Bildgebung –fMRT«) neue Einsichten in die aufgabenspezifische Aktivität von Hirngebieten.

Auf der Basis morphologischer, funktioneller und entwicklungsgeschichtlicher Gesichtspunkte wird das Gehirn im Allgemeinen in die Abschnitte Rhombenzephalon (Rautenhirn), Mesenzephalon (Mittelhirn) und Prosenzephalon (Vorderhirn) untergliedert. Das Rautenhirn enthält die Medulla oblongata (verlängertes Mark), Pons (Brücke) und Cerebellum (Kleinhirn). Das Mittelhirn enthält Tectum (Dach), Tegmentum (Haube) und Crura cerebri (Hirnschenkel, auch Pedunculi cerebri).

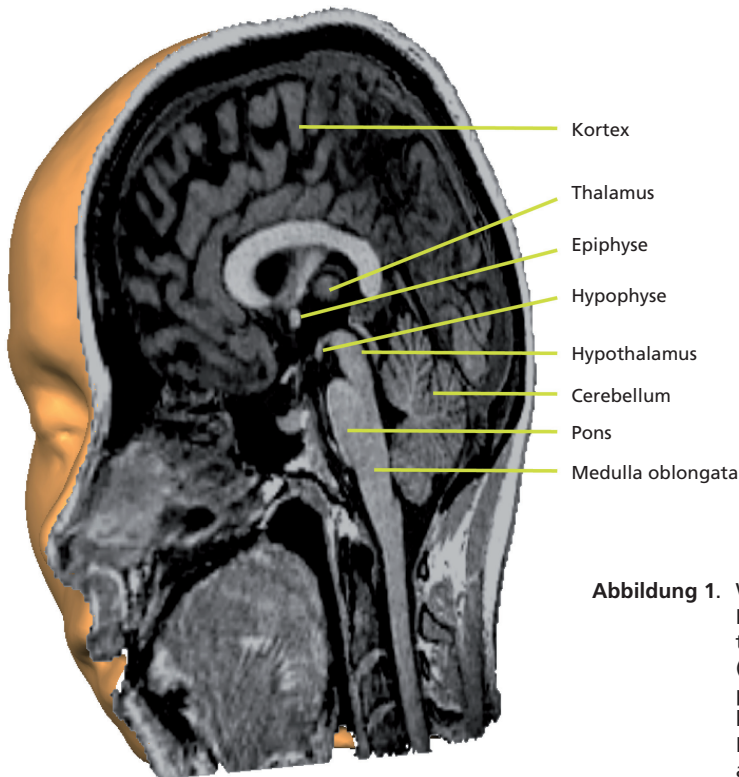


Abbildung 1. Wichtige Hirnregionen des Rhombenzephalons (Rau-tenhirn), Mesenzephalons (Mittelhirn) und Prosencephalons (Vorderhirn) ge- kennzeichnet auf einem MRT-Sagittalschnitt (Medi- anebene).

Verlängertes Mark, Brücke und Mittelhirn werden zusammen als Hirnstamm bezeichnet, der Kerngebiete enthält, die vor allem lebenswichtige Funktionen der vegetativen Steuerung übernehmen und wichtige Neurotransmitter produzieren (Serotonin in den Raphe-Kernen und Noradrenalin im locus coeruleus); auch durchzieht den Hirnstamm die Formatio reticularis, die als steuerndes Netzwerk mit nahezu allen wichtigen Hirnregionen verbunden ist und insbesondere die allgemeine Aktivität der Hirnrinde reguliert. Das Vorderhirn besteht aus Dienzephalon (Zwischenhirn) und Telenzephalon (Endhirn). Das Zwischenhirn enthält Thalamus, Epithalamus mit Epiphyse (Zirbeldrüse), Subthalamus sowie Hypothalamus mit Hypophyse. Das

Endhirn enthält Neokortex, Basalganglien (Endhirnkerne) und Riechhirn.

1.2.1 Das mesolimbische System im Mittelhirn

Das *mesolimbische System* ist an der Entstehung von Lustgefühlen beteiligt («positives Belohnungssystem») und fördert durch Glücksgefühle das Verstärken bestimmter Verhaltensmuster, die mit Belohnung in Verbindung stehen. Es hat seinen Ursprung im ventralem Tegmentum (area tegmentalis ventralis, auch: ventrale tegmentale Zone, VTZ) des Mittelhirns und ist Teil des limbischen Systems (► Abschnitt »Das limbische System: Verarbeitung von Emotionen«).

Der Neurotransmitter des mesolimbischen Systems ist das Dopamin, das zum großen Teil von dopaminergen Neuronen gebildet wird, deren Zellkörper im ventralen Tegmentum liegen und deren Axone zum Nucleus accumbens (eine Kernstruktur der Basalganglien) ziehen, aber auch zu anderen Hirnstrukturen wie der Amygdala, dem Hippocampus, dem Kortex entorhinalis und dem Gyrus cinguli. Das mesolimbische System ist der wichtigste Angriffspunkt für Drogen. Längerfristige Effekte bei Abhängigkeitsentwicklung sind mit hoher Wahrscheinlichkeit durch Veränderungen in der Genexpression innerhalb von Neuronen des mesolimbischen Systems mit verursacht.

1.2.2 Zwischenhirn: Informationsfilterung und hormonelle Steuerung

Als »Tor zum Bewusstsein« ist eine der wichtigsten Funktionen des *Thalamus* die Filterung und Sortierung von sensorischer Information und deren Weiterleitung an verschiedene Hirnrindengebiete. Bei der Weitergabe sensorischer Information wird dabei die topographische Struktur der Information (auf der Haut, auf der Retina usw.) weitgehend bewahrt. Aus dem Thalamus projizieren auch Neurone der Schmerzbahn in den primären und sekundären somatosensorischen Kortex (s. u.). Über gut ausgebildete Verbindungen zur frontalen Hirnrinde können bestimmte Kerngebiete des Thalamus auch auf motivationale, emotionale und kognitive Prozesse Einfluss nehmen.

Eine der Hauptaufgaben des *Hypothalamus* besteht in der Anpassung vegetativer Funktionen an die sich ständig ändernden Anforderungen aufgrund emotionaler und motivationaler Prozesse. Die in ihm generierten Impulse laufen sowohl über den

sympathischen als auch den parasympathischen Zweig des vegetativen Nervensystems. Außerdem hat er eine wichtige integrierende Funktion bei der Steuerung von Verhaltensmustern im Zusammenhang mit Reproduktion, Brutpflege und Abwehr- bzw. Fluchtreaktionen. Aufgrund seiner engen Verbindungen zu den vegetativen Organen ist er von großer Bedeutung für emotionsbegleitende Körperprozesse. Über die Hypophyse vermag er auf hormonellen Weg regulierend auf zahlreiche Körperfunktionen einwirken. Im Hypothalamus sind verschiedene Neurotransmitter wirksam, da unterschiedlichste Neuronentypen aus unterschiedlichen Hirnarealen hierhin Fasern entsenden. Auch besitzen zahlreiche seiner Neuronen an ihrer Oberfläche Rezeptoren für verschiedene Hormone, insbesondere Sexualhormone, Schilddrüsenhormone und Hypophysenhormone. Der Nucleus praeropticus ist an der Regulation der Körpertemperatur und des Sexualverhaltens (Geschlechtshormonsekretion) beteiligt und in weiblichen und männlichen Gehirnen von unterschiedlicher Größe.

Die *Hypophyse* ist Bildungsort und Speicher für verschiedene Hormone, die als Folge von Hypothalamusbefehlen in den Blutstrom ausgeschüttet werden können. Neben zahlreichen anderen Funktionen beeinflussen Hormone in besonders ausgeprägter Weise das Sexualverhalten. Die Hypophyse ist die wichtigste Steuerungseinheit innerhalb des endokrinen Systems des Körpers, bei dem Hormone in die Blutbahn sezerniert (ausgeschüttet) werden. Sie besteht aus dem Hypophysenvorderlappen (Adenohypophyse) und dem Hypophysenhinterlappen (Neurohypophyse). Die Adenohypophyse sezerniert zahlreiche Hormone, die andere Drüsen zur Produktion von Hormonen anregen (glandotrope Hormone); hierzu zählen z. B. die Gonadotropine, die auf die Keimdrüsen wirken, LH (luteinisierendes Hormon) und FSH (follikelstimulierendes Hormon), das Stresshormon

ACTH (adrenokortikotropes Hormon) und das Prolaktin, das auf die weibliche Brustdrüse wirkt. Darüber hinaus sezerniert die Adenohypophyse Hormone, die eine direkte Wirkung auf Zielorgane ausüben (effektorische Hormone); hierzu zählt das Wachstumshormon Somatotropin (engl. Growth hormone, GH). Die Neurohypophyse sezerniert die Hormone Vasopressin (auch antidiuretisches Hormon, ADH) und Oxytocin. Neben anderen Wirkungen wie der Erhöhung des Blutdrucks hat Vasopressin auch eine Bedeutung für das Sexualverhalten. So konnte an männlichen Versuchstieren gezeigt werden, dass die Vasopressinkonzentration im Gehirn mit der Intensität sexueller Aktivität korreliert. Das zweite Hormon des Hypophysenhinterlappens ist das Oxytocin, das wichtige Funktionen im Zusammenhang mit Geburt (Wehen) und Stillen hat. Oxytocin scheint auch prosoziales Verhalten zu stimulieren. So wurde beobachtet, dass die intrazerebrale Applikation von Oxytocin selbst bei jungfräulichen Ratten Brutpflegeverhalten induzierte. Beim Menschen konnten durch die Oxytocingabe als Nasenspray positive Verhaltensweisen wie Steigerung des Vertrauens, Zunahme sympathischen Verhaltens und Reduktion von Angst und Stress ausgelöst werden.

Wichtigstes Organ des Epithalamus ist die *Epiphyse* (Zirbeldrüse). Sie produziert das Hormon Melatonin und ist damit an der Schlaf-Wach-Regulation beteiligt.

1.2.3 Endhirn: Bewusstes Handeln und Erleben

Das Endhirn (Großhirn) besteht aus dem Kortex (graue Substanz, Zellkörper), dem darunterliegenden Marklager (weiße Substanz, Bahnen, Zellfortsätze) und weiteren Abschnitten grauer Substanz, die als Großhirnkerne (Basalganglien, Claustrum und Corpus

amygdaloideum) zusammengefasst werden. Großhirnrinde und Marklager bilden zusammen den Großhirnmantel (Pallium). Der Kortex (Cortex cerebri) lässt sich histologisch in Isokortex (sechs Schichten von Nervenzellen), Allokokortex (drei bis fünf Schichten) und einzelne Kerngebiete aufteilen.

Basalganglien: Motorik

Die *Basalganglien* (► Abb. 2) liegen in der Tiefe des Palliums über dem Dienzephalon. Das Striatum (Streifenkörper) besteht aus Nucleus caudatus und Putamen. Des Weiteren gehört das Pallidum (Globus pallidus) zu den Basalganglien im engeren Sinne. Aufgrund der engen neuronalen Verbindung werden zwei weitere assoziierte Kerne funktionell zu den Basalganglien hinzugezählt: der Nucleus subthalamicus und die Substantia nigra. Putamen und Globus pallidus werden manchmal unter dem Begriff »Linsenkern« (Nucleus lentiformis) zusammengefasst. Die Basalganglien modulieren die motorischen Impulse des Kortex und sind für eine reibungslos und koordiniert verlaufende Bewegungsausführung notwendig.

Das limbische System: Verarbeitung von Emotionen

Das limbische System (► Abb. 2) liegt ringartig wie ein Saum (lateinisch: limbus) über den subkortikalen Hirnernen und ist vom Isokortex durch Furchen getrennt. Es besteht aus phylogenetisch alten Anteilen der Großhirnrinde (Paläopallium und Archipallium, auch Allokokortex). Zum limbischen System wird heute nicht nur der eigentliche »Ring« um Basalganglien und Thalamus gezählt, sondern auch medial gelegene subkortikale Strukturen, insbesondere Amygdala (Mandelkern) und Hippokampus. Ferner werden Verbindungen

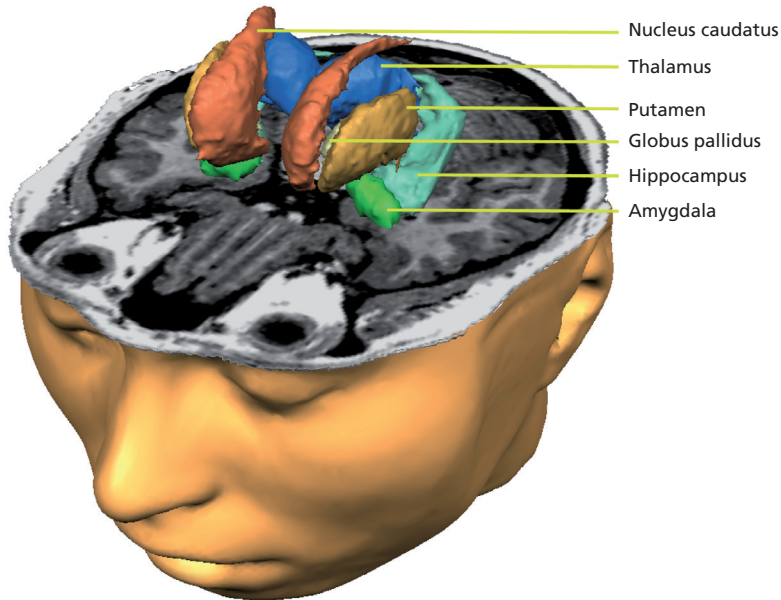


Abbildung 2. 3D Visualisierung wichtiger subkortikaler Hirnregionen oberhalb eines horizontalen MRT Schnittes mit Thalamus, Basalganglien (Putamen, Globus pallidum, Nucleus caudatus) und Teilen des limbischen Systems.

zum Mittelhirn als mesolimbisches System (► Kap. 1.2.1) bezeichnet. Die *Hippocampusformation* (Hauptteil des Allokortex) ist von besonderer Bedeutung für Lernen und Gedächtnis sowie Aggression, Motivation und Bewusstsein. Der *Gyrus cinguli* stellt eine Verbindung zu fast allen Anteilen des Neokortex dar. Er scheint von besonderer Bedeutung im Zusammenhang mit vegetativen, psychomotorischen und emotionalen Funktionen zu sein. Eine der Hauptaufgaben der *Amygdala* ist das Signalisieren von möglichen Gefahrenquellen in der Umgebung, wofür die reichhaltigen afferenten Fasern aus dem visuellen System dienlich sind. Neben einer wichtigen Rolle beim Erleben von (negativen) Emotionen, insbesondere Angst (LeDoux, 1996), wird der *Amygdala* auch eine wichtige Rolle bei der assoziativen Verbindung von sen-

sorischen Elementen aversiver Reize mit dessen biologischer Bedeutsamkeit zugeschrieben (Furchtkonditionierung). Ist die *Amygdala* zerstört, werden keine konditionierten emotionalen Reaktionen mehr ausgelöst. Durch ausgeprägte Verbindungen zum präfrontalen Kortex ist die *Amygdala* auch an höheren kognitiven Operationen beteiligt.

Das limbische System spielt für die Verarbeitung von Emotionen eine entscheidende Rolle, es wird jedoch nicht mehr als funktionell abgegrenztes »Emotionszentrum« betrachtet, da es hochgradig mit anderen kortikalen und nicht-kortikalen Strukturen des Gehirns vernetzt ist. Die Entstehung von Emotion und Triebverhalten muss also immer als Zusammenspiel vieler Gehirnteile gesehen werden.

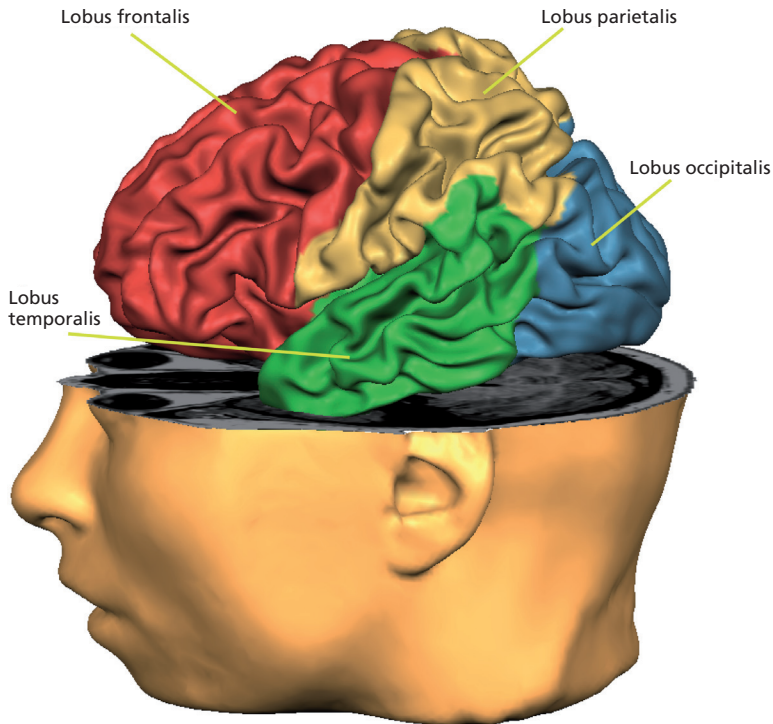


Abbildung 3. Visualisierung der Hirnloben (lobi) des Neokortex.

Neokortex: Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung

Der Neokortex ist die äußerste Neuro-nenschicht des Gehirns. Hier sind sehr viele Nervenzellen auf komplexe Weise verschaltet, was enorme informationsverarbeitende Leistungen ermöglicht. Man unterteilt den Neokortex in vier Loben (► Abb. 3): den Frontallappen (Stirn-lappen, Lobus frontalis), Temporallappen (Schläfenlappen, Lobus temporalis), Parietallappen (Scheitellappen, Lobus parietalis) und Okzipitallappen (Hinterhauptslappen, Lobus occipitalis). Bedeckt von Teilen des Frontal-, Parietal- und Temporallappens liegt seitlich der Inselappen (Lobus insularis), dessen kortikale Organisation im

Übergang zwischen Palläokortex und Neo-kortex angesiedelt ist.

Der *Frontallappen* erfüllt vor allem Auf-gaben in Zusammenhang mit der Motorik – auch der Sprachmotorik im Broca-Are-al – sowie im präfrontalen Kortex (PFC) komplexe Funktionen des Arbeitsgedächtnisses, der Handlungsplanung, Motivation, Impulskontrolle und Persönlichkeit. Am *Temporallappen* endet die Hörbahn. Hier finden sich auch Areale, die multi-sensorische (visuell-auditive) Information verarbeiten. Außerdem enthält der Tem-porallappen das sensorische Sprachzent-rum (Wernicke-Areal). Der *Parietallappen* beinhaltet Strukturen für räumliche Ver-arbeitung, Aufmerksamkeit und Handlungs-planung. Im Gyrus postcentralis befinden

sich die somatosensiblen Kortexareale, deren topographische Abbildung der Körperoberfläche als »sensorischer Homunkulus« bezeichnet wird. Die Fläche im somatosensorischen Kortex entspricht dabei nicht genau dem Ausmaß des repräsentierten Areals im Körper. So stehen für besonders feinsensible Körperabschnitte (z. B. Finger, Lippen) recht große Rindenareale zur Verfügung. Im *Okzipitallappen* findet sich der visuelle Kortex.

Die weiße Substanz enthält Nervenfortsätze, also Faserverbindungen. Die Kommissurenfasern verbinden die beiden neokortikalen Hemisphären. Die Assoziationsfasern bilden den größten Teil der weißen Substanz, sie verbinden die verschiedenen Kortexregionen einer Hemisphäre

miteinander. Die Projektionsfasern schaffen v. a. auf- und absteigende Verbindungen zu subkortikalen Gebieten.

Die medial gelegene *Inselrinde* (Insula) spielt eine zentrale Rolle bei der Kopplung emotionaler mit vegetativen Prozessen. Sie empfängt Signale aus allen Teilen des Körpers und ist an der Entstehung körperlich spürbarer bewusster Empfindungen wie Hunger oder Durst beteiligt. Sie ist auch als ein Zielgebiet von vor allem viszeralem Schmerzprojektionen identifiziert worden und wahrscheinlich an der emotionalen Bewertung von Schmerzen involviert. Der vordere Anteil der Insel ist an empathischen Reaktionen beteiligt. Neueste Forschungen belegen auch einen Zusammenhang mit Liebes- und Lustempfindungen.

1.3 Relevante Methoden und Befunde der Neurobiologie

Für das Studium der morphologischen Struktur von Hirngewebe war schon immer die Mikroskopie wichtig. Neuere Techniken, vor allem Multiphotonenmikroskopie und konfokale Mikroskopie, erlauben eine bislang ungeahnte räumliche Auflösung. Einzelne Neuronen können in 3D vermessen und morphologische Veränderungen genau studiert werden. Bei Benutzung ionensensitiver oder spannungssensitiver Farbstoffe können auch funktionelle Studien durchgeführt werden.

1.3.1 Genetik und Neuroendokrinologie

Nicht erst seit der Entschlüsselung des menschlichen Genoms im Jahr 2000 gewinnt die Genforschung zunehmend an Bedeutung, um grundlegende Determinanten menschlichen Erlebens und Verhaltens

zu erklären. Ein Gen ist ein Abschnitt der DNA (Desoxyribonukleinsäure), das den Bauplan für ein Protein – eine Aminosäurekette – kodiert. Die Abfolge von jeweils drei von vier vorkommenden Nukleotiden, die sich durch die enthaltende Base (Adenin, Guanin, Cytosin oder Thymin) unterscheiden, bildet einen »Buchstaben« (Codon), der bestimmt, welche von 20 verschiedenen Aminosäuren an der betreffenden Stelle des gebildeten Proteins stehen wird. Proteine erhalten ihre spezifische räumliche Struktur (Faltung) und ihre sehr unterschiedlichen biologischen Eigenschaften erst bei der Umsetzung des Bauplans (Primärstruktur des Proteins) in eine Aminosäurekette durch Anziehungs- und Abstoßungskräfte der verknüpften Aminosäuren. Dies macht deutlich, dass schon ein geringfügig veränderter Bauplan zum Fehlen eines wichtigen Proteins führen kann. Da Proteine wichtige Funk-

tionen im Stoffwechsel des Organismus ausüben, kann ein fehlerhafter Bauplan beispielsweise den Ausfall eines wichtigen Botenstoffs oder Enzyms zur Folge haben. Für einige Krankheiten (z. B. bei der Sichelzellenanämie) ist ein kleiner Fehler im Bauplan eines einzigen Gens nachgewiesen. Bei Versuchstieren (in der Regel Mäusestämme) erlauben genetische Methoden, spezifische Gene in den Keimzellen auszuschalten, wodurch selektiv bestimmte Proteine nicht mehr produziert werden. Vergleicht man das Verhalten der resultierenden »Knock-out«-Mäuse (transgene Mäuse) mit unbehandelten Artgenossen (»Wildtyp«), lassen sich Rückschlüsse auf die Bedeutung spezifischer Gene für das Nervensystem schließen. Solche Experimente bringen neue Erkenntnisse bei der Erforschung psychiatrischer Erkrankungen und helfen, neue Psychopharmaka zu entwickeln. Es ist jedoch oft schwierig, Zusammenhänge zwischen Genotyp (Erbanlagen) und Phänotyp (äußeres Erscheinungsbild) aufzuzeigen, da ontogenetische Entwicklungsprozesse sowie physische und psychische Merkmale durch eine Vielzahl von Genen – gemeinsam mit Umweltfaktoren – bestimmt werden. Das Zusammenspiel unterschiedlicher Gene macht z. B. das Auffinden der Ursache einer vererbten Krankheit in den meisten Fällen schwierig. Um die funktionelle Rolle der ca. 30 000 Gene zu verstehen, müssen die kodierten Proteinbaupläne den über 100 000 Proteinen des menschlichen Körpers zugeordnet werden, was erst für ca. 1000 Proteine gelungen ist. Aber auch ohne vollständige Kenntnis biochemischer Zusammenhänge gelingt es zunehmend, bestimmte Persönlichkeitsmerkmale mit bestimmten Genen in Verbindung zu bringen. So konnte beispielsweise gezeigt werden, dass eine spezifische Kombination von drei Varianten des sogenannten Dopamin-Transporter-Gens

eng mit dem Aufmerksamkeitsdefizit-Syndrom verbunden ist.

Darüber hinaus ist noch weitgehend unbekannt, wie die Genexpression (Proteinsynthese auf der Basis der genetischen Information) gesteuert wird, denn die vorhandene komplette Geninformation wird nicht von jeder Zelle und nicht ständig ausgelesen. Einzelne Gene können durch chemische Prozesse (Transkriptionsfaktoren) an- und ausgeschaltet werden, wodurch die Proteinsynthese an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden kann. Eine wichtige steuernde Rolle für kurzfristige und langfristige Anpassungen der Genexpression spielen dabei einige Hormone. So kann der Syntheseprozess der Hormonproduktion selbst durch Ein- und Abschalten von Genen reguliert werden, beispielsweise wenn übergeordnete Hormone, die im Gehirn von der Hypophyse ausgeschüttet werden, die Produktion von Hormonen in anderen Drüsen anregen oder abschwächen. So steuert die Hypophyse auch die Freisetzung von Sexualhormonen, die überwiegend in den Eierstöcken (Östrogene, Progesteron) bzw. in den Hoden (Testosteron) produziert werden. Ein geringerer Anteil von allen Sexualhormonen wird sowohl bei Männern als auch bei Frauen in der Nebenniere produziert. Adrenalin und Noradrenalin sind nicht nur Hormone, die im Nebennierenmark produziert werden, sondern auch Neurotransmitter (► Kap. 1.3.2). Neuropeptide bestehen aus einer Aneinanderreihung von relativ wenigen Aminosäuren und wirken modulierend auf Neurotransmitter bei der synaptischen Übertragung, aber auch über die Blutbahn als Hormone. Wichtige Vertreter im Rahmen des Themas »Sexualität« sind Oxytocin, Vasopressin und Prolaktin, die im Hypothalamus bzw. in der Hypophyse gebildet werden.

Geschlechtsspezifische Entwicklung und Determinanten sexuellen Verhaltens

In den letzten Jahrzehnten sind gerade im Bereich der sexuellen Entwicklung und der Determination der sexuellen Orientierung (Homo-, Hetero-, Transsexualität) wichtige Erkenntnisse erbracht worden (► **Kap. 5 und 6, Teil II**). Die körperliche Entwicklung zur Frau oder zum Mann kann aufgrund von genetischen oder hormonellen Abweichungen während der Embryonalentwicklung gestört sein. Ab etwa der 10. Schwangerschaftswoche beginnt die Ausbildung der geschlechtsspezifischen Unterschiede. Das sogenannte SRY-Gen, das nur auf dem Y-Chromosom liegt, löst die Entwicklung von Hoden aus den zunächst undifferenzierten Gonaden aus, die das Hormon Testosteron produzieren, welches für die geschlechtstypische Differenzierung eine Schlüsselrolle spielt. Ab dem 3.–4. Schwangerschaftsmonat reagieren nicht nur die Keimdrüsen, sondern auch das Gehirn auf das Vorhandensein von Testosteron, was sich am deutlichsten im Hypothalamus zeigt. Nur wenn sich dieser ohne Testosteronzufuhr entwickelt, entsteht die zyklische Hormonausschüttung, die für einen funktionierenden Monatszyklus notwendig ist. Darüber hinaus ist bei erwachsenen männlichen Säugetieren das sogenannte mediale präoptische Areal größer als bei weiblichen, beim ventromedialen Kern des Hypothalamus ist es hingegen umgekehrt.

Genetische Faktoren scheinen auch eine entscheidende Rolle bei der Festlegung sexueller Orientierung zu spielen (Swaab 2012). Als ein neuroanatomisches Korrelat homosexueller Präferenz bei Männern wird beispielsweise ein spezifischer verkleinerter Kern (dritter interstitieller Nucleus, INAH3) des anterioren Hypothalamus diskutiert (LeVay 1994).

Auch die relativ schnellen und drastischen Veränderungen in der Pubertät sind durch Modifikationen im Hormonhaushalt

bedingt, d. h. vor allem (aber nicht nur) durch die Sexualhormone Testosteron und Östrogen. Sexualhormone sorgen für die Ausprägung der sekundären Geschlechtsmerkmale, sie steuern den Zyklus der Frau und sie regeln den Ablauf der Schwangerschaft. Erst unter dem Einfluss der Sexualhormone erweckt das Interesse für Liebe und Sexualität. Der Sexualtrieb (beim Menschen: Lust oder Libido) ist durch ein heftiges Verlangen nach sexueller Belohnung charakterisiert und ist vor allem an Östrogene und Androgene (insbesondere Testosteron) geknüpft. Evolutionär entwickelte er sich hauptsächlich, um Individuen zu motivieren, sich mit einem passenden Mitglied der eigenen Art sexuell zu vereinigen. Beim Menschen geht die sexuelle Anziehung mit Gefühlen der Hochstimmung einher, die vor allem an ein hohes Niveau von Dopamin und Noradrenalin sowie an ein niedriges Niveau von Serotonin im Gehirn gebunden ist (Fisher 2001). Dieses emotionale System entwickelte sich wahrscheinlich, um es Individuen zu ermöglichen, zwischen verschiedenen potentiellen Geschlechtspartnern zu wählen. Das Gefühl der Verbundenheit (soziales Behagen, Sicherheit) scheint vor allem an das Niveau der Hormone Oxytocin (»Kuschelhormon«) und Vasopressin (»Treuehormon«) gebunden zu sein. Dieses emotionale System entwickelte sich wahrscheinlich, um Individuen zu motivieren, positive soziale Verhaltensweisen auszubilden (► **Kap. 1.2.2**) und Paarbeziehungen lange genug aufrechtzuerhalten, um artspezifische elterliche Pflichten zu erfüllen.

1.3.2 Neurophysiologie und Neurochemie

Die Neurophysiologie nimmt in der Neurobiologie eine besondere Rolle ein, da sie die elektro-chemische Signalübertragung von Neuronen und somit die »Sprache der Nervenzellen« direkt untersucht.