

Teil I Neuropsychologische Grundlagen der Emotionsentstehung

1 Der Aufbau des Gehirns

1.1 Stammhirn – Zwischenhirn – Großhirn

Hunderte von Millionen Jahre benötigte die Evolution, um von primitiven Lebensformen ohne Gehirnausstattung über immer differenziertere Lebensformen, die eine zentrale koordinierende Steuerungseinheit für die vielen eintreffenden Umgebungsreize benötigten, immer komplexere Gehirne zu entwickeln. Das menschliche Gehirn ist nach Auffassung des Hirnforschers und Nobelpreisträgers Sir John C. Eccles das komplizierteste Gebilde des gesamten Universums (Eccles, 1987). Es funktioniert vollständig auf naturwissenschaftlich erklärbaren Prinzipien wie z. B. der elektrophysiologischen Weiterleitung von eintreffenden Sinnesreizen und biochemischen Prozessen, u. a. in synaptischen Spalten. Je höher auf der Entwicklungsstufe der Evolution, desto entwickelter insbesondere das Großhirn, der sogenannte Neocortex. Auffällig ist, dass das Gehirn des Menschen größer ist als das der meisten Tiere, sein Gewicht variiert meist zwischen 1 200 und 1 800 Gramm.

Das absolute Gewicht des Gehirns sagt allerdings nichts aus, sondern eher das Verhältnis der tatsächlichen Gehirngröße zum erwarteten Gehirngewicht (der Encephalisationsquotient EQ), wobei die erwartete Gehirngröße unter Berücksichtigung der Körpergröße lebender Säugetiere berechnet wird. Der EQ liegt beim Menschen um 6,30, beim Schimpansen z. B. bei 2,48 und bei der Katze bei 1,01. Da dieser Quotient aber nicht viel aussagt – z. B. hat der Delphin einen EQ von 6,00 –, berücksichtigt man den Zuwachs des Neocortex im Vergleich zu anderen höher entwickelten Säugetieren (Cortexquotient [CQ]). Dann ergibt sich, dass der CQ beim Menschen 3,2-fach größer ausfällt als der von Primaten (Kolb & Wishaw, 1996).

Wir Menschen teilen den basalen strukturellen Gehirnaufbau mit allen höher entwickelten Arten: Den entwicklungsgeschichtlich ältesten Teil, das Stammhirn, das Zwischenhirn und das Großhirn. Der entwicklungsgeschichtlich neueste Teil der Hirnentwicklung ist die Großhirnrinde und hier insbesondere der Neocortex, der – wie erwähnt – beim Menschen größer ausfällt und insbesondere durch verschiedenste Funktionen gekennzeichnet ist.

Im Folgenden werden die für unser Thema wichtigsten Hirnareale und ihre Funktionen in sehr knapp gehaltener Form dargestellt, damit ein grundlegendes Verständnis des Gefühls- und Emotionsentstehung für die therapeutische Arbeit an den Emotionen und Affekten von Kindern und Jugendlichen zugrundegelegt werden kann. Erst ein grundlegendes Verständnis der *funktionalen Organisation* des Gehirns ermöglicht den Brückenschlag zur Psychologie (Roth, 1996).

In Abbildung 1.1 sind die für unsere Zwecke wichtigsten Hirnbereiche dargestellt (► Abb. 1.1).

Das *Stammhirn* (Übergangsbereich zwischen Brücke und Rückenmark) umfasst Zentren für die lebensnotwendigen Funktionen des Organismus (z. B. die *Formatio reticularis*). Darin befindet sich eine Reihe von Kernen, die für die Regulationen des Wasserhaushalts des Körpers, die Atmung oder die Regulierung des Kreislaufs zuständig sind, hier läuft alles automatisch und unbewusst ab.

Das *Zwischenhirn* (Diencephalon) bzw. *Mittelhirn* befindet sich zwischen dem Stammhirn und dem Großhirn. Es umfasst vegetative Aufgaben – etwa die Balance zwischen dem sympathischen und parasympathischen Nervensystem –, steuert den Biorhythmus und ebenfalls die Emotionen. Das *limbische System* (vom Lateinischen *Limbus* = Saum; da die zugehörigen Strukturen einen doppelten Ring um die Basalganglien und den Thalamus bilden) als zentraler Bereich des Zwischenhirns ist an Gedächtnisleistungen beteiligt und spielt die entscheidende Rolle bei der emotionalen Bewertung von Ereignissen in der äußeren Umwelt. Besonders wichtig ist das limbische System bei der Herstellung von emotional-affektiven Zuständen in Verbindung mit Vorstellungen, Gedächtnisleistungen, Bewertungen, Auswahl und Steuerung von Handlungen (Roth, 2001). Zum limbischen System gehören u. a. die Basalganglien, der Hippocampus, der Gyrus cinguli, der Thalamus, der Hypothalamus und die Amygdala.

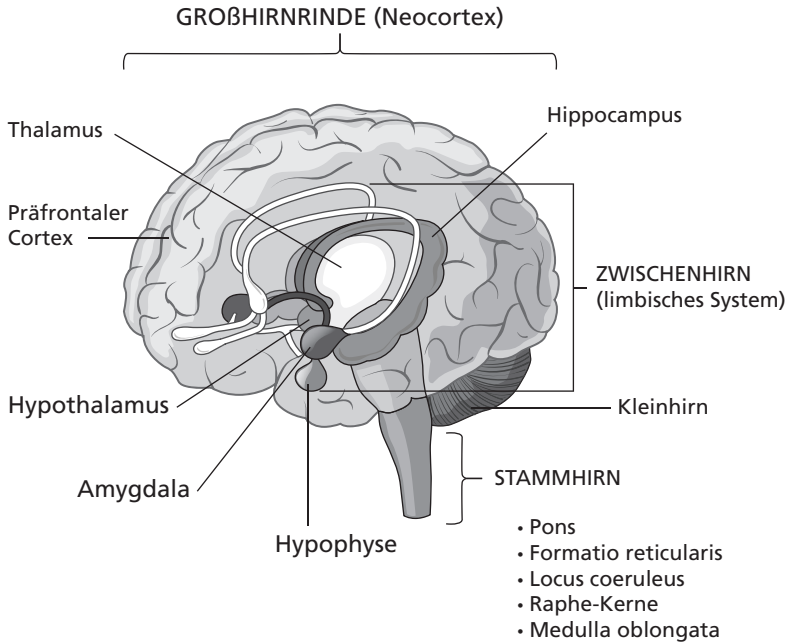


Abb. 1.1: Hirnaufbau des Menschen

Der *Gyrus cinguli* (nicht abgebildet) umschlingt weite Teile des *limbischen Systems* und ist an kognitiven und emotionalen Funktionen beteiligt.

»Der ventrale Bereich steht mit emotionalen Funktionen im Zusammenhang und unterhält Verbindungen zur Amygdala, zum Nucleus accumbens, zur Insula und zum Hypothalamus. Im dorsalen Teil spielen sich hingegen eher kognitive Prozesse ab« (Medlexi, Abruf am 28.03.2020).

Der *Thalamus* als größter Teil im limbischen System ist Sammel- und Durchgangsstelle für alle Sinneseindrücke (nur ohne Geruchssinn), auch aus dem Stammhirn. Auf dem Weg zur Großhirnrinde werden hier eingehende Reize umgeschaltet. Der Thalamus entscheidet, welche Sinneseindrücke in das Bewusstsein gelangen sollen (»Tor zum Bewusstsein«).

Der *Hypothalamus* ist zentrale Koordinierungsstelle zwischen dem endokrinen und dem Nervensystem. Als solche reguliert er vitale Funktio-

nen wie Wachstum, Körpertemperatur, Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme, zirkadiane Rhythmen wie Schlaf und das vegetative Nervensystem (Huggenberger et al., 2019).

Der *Hippocampus* (»Seepferdchen«) ist entscheidend bei Gedächtnisfunktionen, für die Abspeicherung neuer Informationen in Gedächtnisinhalte.

Die *Hypophyse* (Hirnanhangdrüse) ist wichtig für den Stoffwechsel des Organismus und steuert den Hormonhaushalt. Als Drüse produziert sie z. B. GH (growth hormone), ACTH (adrenokortikotropes Hormon, ein Stresshormon), FSH (Follikel-stimulierendes Hormon) für die Reifung von Eizellen, Spermienzellen oder TSH (Thyroid-stimulierendes Hormon) für die Schilddrüsenfunktion.

Die *Amygdala* ist eine zentrale bewertende Instanz, insbesondere im Hinblick auf die emotionale Bedeutung. Angst und Aggressivität sind die zentralen Emotionen, die hier geweckt werden können, aber auch Freude und Sexualtrieb.

Die *Großhirnrinde* (*Cortex cerebri*) ist der evolutionsbiologisch jüngste Teil des Gehirns. Sie hat eine Gesamtfläche von 2 200 cm², die in zahlreichen Furchen und Windungen in einer Dicke von nur ca. 2 bis 5 mm versteckt ist. Da sie eine die beiden Hemisphären überspannende Struktur aus grauer Substanz ist, wird sie auch als Mantel (Pallium) bezeichnet. Die Zahl der Nervenzellen besteht aus unvorstellbaren fast 90 Milliarden Neuronen in sechs horizontalen Schichten. Der *Cortex cerebri* lässt sich in fünf bis sechs große »Lappen« einteilen (je nach Autor): Frontallappen, Parietallappen, Occipitallappen, Temporallappen, sowie Insellappen und Limbischen Lappen. Der *Neocortex* (auch *Isocortex*) nimmt hierarchisch, funktionell und topographisch das höchste Niveau des *Telencephalons* (*Endhirn*) ein und ist verantwortlich für die höheren zerebralen Funktionen wie Sprache, abstraktes Denken, Sozialverhalten, Lernvermögen usw. (Huggenberger, 2019).

Man kann den Cortex nach seinem stammesgeschichtlichen Alter in den älteren *Archicortex* und den (sehr alten) *Palaecortex* sowie den neueren *Neocortex* unterteilen. Der Unterschied besteht in der geringeren Schichtung bei den Nervenzellen in den älteren Arealen, z. B. bei der hippocampalen Formation (Archicortex) und beim Riechhirn (Palaecortex). Der Neocortex ist der Teil der Großhirnrinde, der für multisensorische und motorische Funktionen zuständig ist.

Es gibt unzählbar viele Faserverbindungen vom Zwischenhirn zum Großhirn (s. im Folgenden). Das wichtigste Umschaltorgan des Zwischen- bzw. Mittelhirns zum Cortex cerebri ist der Thalamus. Das Zwischenhirn umfasst u. a. den Thalamus, den Hypothalamus, den Hippocampus, die Amygdala, den Gyrus cinguli, den Nucleus accumbens und wichtige andere, die alle eine bedeutsame Funktion beim Erkennen und Bewerten von Ereignissen außerhalb des Organismus haben. Das Zwischenhirn ist für unsere Zwecke besonders wichtig, weil es neben den genannten Funktionen für die *Gefühle* zuständig ist. Hier entstehen Emotionen und Affekte.

Die Großhirnrinde erhält ihre zuführenden Informationen (Afferenzen) überwiegend vom Thalamus. Diese Informationen umfassen Sinneswahrnehmungen der verschiedenen Sinnesorgane.

»Extrathalamische Afferenzen kommen hauptsächlich aus der Amygdala, dem basalen Vorderhirn (cholinerge Afferenzen) einschließlich des Septum, den Basalganglien, dem Hypothalamus, den Raphekernen (serotoninerge Afferenzen), dem Locus coeruleus (noradrenerge Afferenzen) [die Raphekerne und der Locus coeruleus liegen im Stammhirn; Anmerk. v. d. Verf.], und dem tegmentalen Höhlengrau (dopaminerge Afferenzen) [Nervenzellkörper im Mittelhirn, eine Schicht, die ventral an den inneren Liquorraum grenzt und Angst- und Fluchtreflexe koordiniert; Anmerk. v. d. Verf.]« (Roth, 1996, S. 153).

Der *präfrontale Cortex* befindet sich im *Frontallappen*. Hier finden Steuerungen der Motorik und der Emotionen statt. Als »Organ der Zivilisation« bezeichnet, reguliert dieser Hirnbereich ethisch-moralische Entscheidungen. Verletzungen können zum Verlust von Scham- und Schuldgefühlen führen, d. h. Läsionen können die Persönlichkeit drastisch verändern. Der präfrontale Cortex dient als Schaltstelle zwischen dem Neocortex und dem limbischen System. Emotional-affektive Regungen werden bei intaktem präfrontalen Cortex stets von hier aus in enger Zusammenarbeit mit dem limbischen System reguliert.

Der *Parietallappen* organisiert und reguliert räumliches Denken und feinmotorische Abstimmungen für Hand- und Augenbewegungen. Er liegt leicht seitlich (Scheitellappen) hinter dem Frontallappen.

Der *Occipitalappen* liegt am Hinterhaupt. Er verarbeitet visuelle Reize und stellt das Sehzentrum des Gehirns dar.

Der *Temporallappen* umfasst den auditiven Cortex, den Hippocampus und das Wernicke-Sprachzentrum. Er ist wichtig für das Erkennen von Objekten.

1.2 Das Limbische System als Zentrale emotionaler Eindrücke

Der wichtigste Aspekt der komprimiert dargestellten Informationen zu den für unser Thema wichtigen Hirnfunktionen besteht darin, das Wechselspiel zwischen dem Limbischen System im Zwischen- bzw. Mittelhirn und dem Neocortex zu verstehen. Sinneseindrücke werden zentral im Limbischen System unter Hinzuziehung der im Neocortex abgespeicherten Informationen früherer Erlebnisse und Eindrücke in Gefühle und Handlungsreaktionen umgesetzt. Sinneseindrücke gelangen über verschiedenste Kanäle in das Gehirn.

»Hat die Information einmal den Cortex erreicht, so wird sie auch hier über multiple parallele Systeme weitergeleitet, die ihrerseits unterschiedliche Funktionen haben. Hier sei daran erinnert, dass das visuelle System im Cortex eine ventrale und eine dorsale Route hat, wobei die ventrale durch den Temporallappen und die dorsale durch den Parietallappen führt. Der erstgenannte Weg ist bei der Objekterkennung von Bedeutung, der zweite bei der räumlichen Zuordnung von Objekten. Angesichts dieses allgemeinen Organisationsprinzips des Gehirns gibt es sehr wahrscheinlich auch multiple Systeme – und zwar sowohl auf cortikaler als auch auf subcortikaler Ebene – die zu unserem Erleben von Emotionen beitragen« (Kolb & Whishaw, 1996, S. 355).

Das Limbische System ist – als Teil des Zwischen- bzw. Mittelhirns – auf die vielfältigste Art und Weise mit dem Neocortex verknüpft. Die Hauptbahn zum Neocortex verläuft zur orbitalen Oberfläche des präfrontalen Cortex. Speziell die Bedeutung dieser Verbindung könne man nicht hoch genug einschätzen, so Eccles (1987).

Der Entwicklungsweg von zunächst einmal trivialen Umgebungsreizen des Organismus bis hin zu subjektiv hoch bedeutsamen emotionalen Empfindungen für das Individuum und seinen Reaktionen zeigt Abbildung 1.2 im groben Überblick (► Abb. 1.2; Goeppert, 1996). Alle prozessualen Reizverarbeitungen im Bereich der objektiven Sinnesphysiologie basieren auf naturwissenschaftlich einfach zu erklärenden Reizweiterleitungen und Umschaltungen auf der Basis von elektrophysiologischen und biochemischen Vorgängen.

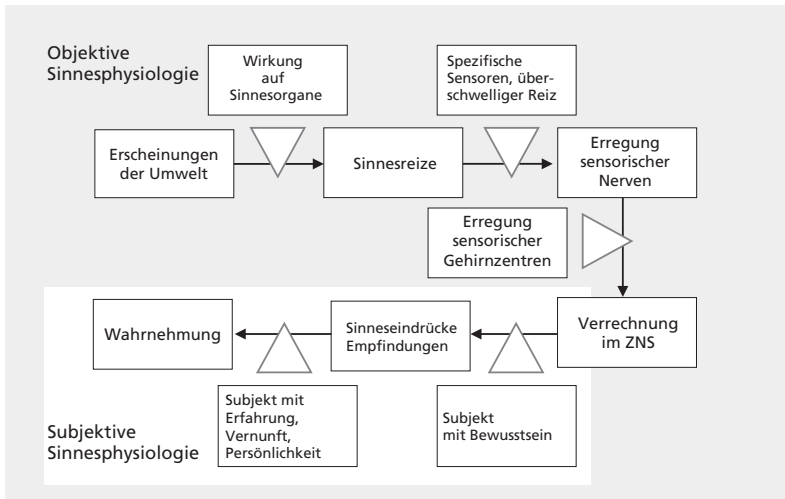


Abb. 1.2: Bereich der Verarbeitung objektiver Sinneseindrücke und Übergang zu subjektiver Sinnesphysiologie (nach Goeppert, 1996, S. 193)

Die entscheidende psychologische Umschaltung erfolgt dann im Übergangsbereich zur subjektiven Sinnesphysiologie. Hier werden auf bisher nicht vollständig geklärte Art und Weise physiologische und/oder biochemische Prozesse in höchst subjektive Gefühlsqualität verwandelt. Dasselbe Lied kann unter kontrolliert exakt gleichen Bedingungen (Räumlichkeit, Licht- und Temperaturverhältnisse, Tageszeit, Abspielgerät, Lautstärke etc.) abgespielt werden, und die eine Versuchsperson erlebt keine besonderen Gefühle, während die nächste Person einen wohligen Schauer verspürt und sie Gefühle freudiger Erregtheit ergreifen (etwa weil beim Hören des Liedes die Erinnerung an ein schönes Erlebnis wachgerufen wird).

Roth (2001) beschreibt die Abfolge von der Sinneswahrnehmung extraorganismischer Ereignisse bis hin zum bewussten Erleben.

»Ein positiv oder negativ erregendes Ereignis wird zuerst subcortical vorbewusst verarbeitet, und zwar bei einer visuellen Wahrnehmung durch die Retina, den lateralen Kniehöcker des Thalamus und den Colliculus superior des Mittelhirns (um die wichtigsten subcorticalen visuellen Zentren zu nennen). Vom lateralen

Kniehöcker und vom Colliculus superior aus laufen unterschiedliche Aspekte des Seheindrucks zu limbischen Zentren, z. B. zur basolateralen Amygdala, und von dort aus unbewusst zu den vegetativen Zentren, wo sie – falls nötig – die notwendigen Reaktionen auslösen.

Gleichzeitig laufen die Erregungen vom lateralen Kniehöcker zur primären Sehrinde und von dort zu temporalen und parietalen visuellen Cortexarealen sowie in einem Umweg vom Colliculus superior aus über das Pulvinar des Thalamus ebenfalls zu visuellen Arealen. Im Cortex verbinden sich diese »neutralen« visuellen Erregungen mit deklarativen Gedächtnisinhalten, die durch den Hippocampus und die ihn umgebende entorhinale, perirhinale und parahippocampale Rinde aktiviert wurden. Aufgrund der Tätigkeit des basalen Vorderhirns werden sie mit erhöhter Aufmerksamkeit versehen, und schließlich werden sie – vermittelt durch die Aktivität von Amygdala und mesolimbischem System und über deren Projektionen in den Cortex – mit Inhalten des emotionalen Gedächtnisses verknüpft.

Aufgrund der komplexen Interaktion vieler corticaler und subcorticaler Zentren entsteht dann in den entsprechenden assoziativen visuellen Arealen die bewusste, inhaltsreiche Emotion« (Roth, 2001, S. 172 f.).

Das Gefühl bzw. die Emotion, die ein Mensch empfindet, ist also stets eine hochkomplexe Kette einer Abfolge von Reizen der Umgebung des Organismus, die über Sinnesorgane in Zentren des Gehirns umgeschaltet werden, wo sie zunächst unter Hinzuziehung basaler unbewusster Einschätzungen der situativen Lage mit abwesender oder gegebener Gefahr bzw. als angenehme oder unangenehme Situation (Stammhirn- und Mittelhirnareale) eingeschätzt werden. Gleichzeitig laufen unter Hinzuziehung präfrontaler Areale blitzschnelle Abklärungen über thalamische Verbindungen zum Großhirn, wo Erinnerungen der subjektiven Lerngeschichte (deklarative Gedächtnisinhalte) hinzugezogen werden, was dann durch efferente Prozesse im limbischen System weiterverarbeitet und letztlich wiederum durch Projektionen in die assoziativen visuellen Bereiche des Cortex unter Hinzuziehung des emotionalen Gedächtnisses zur bewusst empfundenen Emotion wird.

Man kann sich vorstellen, dass Emotionen eine entscheidende Rolle für die Tiefe der Einspeicherung ins Gedächtnis und die Leichtigkeit des Erinnerns spielen (Roth, 1996). Situatives wird leichter und dauerhafter abgespeichert, wenn es für das Individuum emotionale Bedeutung hat (Spitz, 1980).