Margret Arnold

Aspekte einer modernen Neurodidaktik

Emotionen und Kognitionen im Lernprozess

VERLAG ERNST VÖGEL · 81827 MÜNCHEN

2002

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 11

Einleitung 13

Teil I – Ergebnisse aus der Gehirnforschung 17

1. Neuroanatomische Grundlagen 19
   - 1.1 Zur Orientierung im Gehirn 19
   - 1.2 Aufbau des Gehirns 19
   - 1.3 Das dreieine Gehirn ("The Triune Brain in Evolution") 23
   - 1.4 Die Nervenzelle und ihre Verknüpfungen (die Synapsen) . . . 25
   - 1.5 Neurotransmitter Systeme 27
   - 1.6 Die Langzeitpotenzierung ("long-term potentiation", LTP) . . 31

2. Die Forschungsmethoden der Neurowissenschaften 33
   - 2.1 Methoden zur Erforschung des Nervensystems 33
   - 2.1.1 Methoden zur Visualisierung des lebenden menschlichen Gehirns 33
   - 2.1.2 Nichtinvasive Messung psychophysiologischer Aktivität: Elektroencephalographie 35
   - 2.1.3 Invasive physiologische Untersuchungsmethoden 35
   - 2.1.4 Lokalisation von Neurotransmittern und Rezeptoren im Gehirn: Die Immunocytochemie 37
   - 2.2 Verhaltensstudien in den Neurowissenschaften 38
   - 2.2.1 Neuropsychologische Testverfahren 38
   - 2.2.2 Seminatürliche Lernparadigmen bei Tierexperimenten 39

3. Jaak Panksepp: „Affektive Neurowissenschaft" ("Affective Neuroscience") 41
   - 3.1 Zur schwierigen wissenschaftlichen Fassbarkeit von Emotionen 41
   - 3.2 Emotionen im Gehirn 43
   - 3.3 Die Entwicklung emotionaler Systeme im Gehirn 44
   - 3.4 Emotionssysteme 46
   - 3.5 Das Suchsystem des Gehirns ("seeking system") 49
   - 3.6 Emotionen und das Selbst oder "I feel therefore I am" 51

4. Gerald M. Edelman: Neuronaler Darwinismus ("Neuronal Darwinism") 54
4.1 Die Theorie der neuronalen Gruppenselektion (TNGS) 56
4.2 Werte und Wertsysteme 59
4.3 Lernen und Gedächtnis 60
4.4 Bewusstsein 60

5. Antonio R. Damasio: Ich fühle, also bin ich ("The Feeling of What Happens") 63
5.1 Emotionen 64
5.2 Karten des Körpers: Proto-Selbst 66
5.3 Karten des Objekts 67
5.4 Kernbewusstsein ("Core Consciousness") 68
5.5 Autobiografisches Selbst ("Autobiographical Self") 69
5.6 Erweitertetes Bewusstsein ("Extended Consciousness") 71
5.7 Schlussfolgerungen 71

6. „Das zweite Gehirn" 74

7. Candace B. Pert: Moleküle der Emotionen ("Molecules of Emotion") 77

8. Die Amygdala im Lichte aktueller amerikanischer Forschung. 79
8.1 Die Amygdala und ihre Verbindungen 79
8.2 Joseph LeDoux: Kognitiv-emotionale Interaktionen: Was sagt das Gehirn dazu? 81
8.2.1 Das Angstsystem der Amygdala 81
8.2.2 Die Rolle der Amygdala zwischen Kognition und Emotion . . 83
8.3 James McGaugh: Bedeutung und Erinnerung 86
8.4 Ralph Adolphs: Beeinträchtigung des Faktenwissens für emotionale Informationen nach beidseitigem Amygdalaausfall 92
8.5 Forschungsergebnisse aus dem Labor von Elizabeth A. Phelps 93
8.6 Stephan B. Hamann et al.: Aktivität in der Amygdala steht in Verbindung mit einer verbesserten Erinnerung für angenehme sowie für abstoßende Reize 95

9. Zusammenfassende Bemerkungen 97

Teil II – Brain-Based Learning and Teaching 101

10. Die neue Sichtweise des Menschen als Antriebskraft für eine Innere Schulentwicklung 103

11. Der Ansatz von Renate Nummela Caine und Geoffrey Caine 107
11.1 Was bedeutet gehirn-fundiertes Lernen und Unterrichten ("Brain-Based Learning and Teaching")? 107
11.2 Welche allgemeinen Konsequenzen hat "Brain-Based Learning and Teaching" für die Didaktik? 108
11.3 Zwölf Prinzipien von "Brain-Based Learning and Teaching" . 109
11.3.1 Das Gehirn ist ein lebendes System 109
11.3.2 Das Gehirn/der Geist ist auf Sozialverhalten hin ausgerichtet 111
11.3.3 Die Suche nach Sinn ist angeboren 112
11.3.4 Die Suche nach Sinn geschieht durch die Bildung von (neuronalen) Mustern 113
11.3.5 Emotionen spielen bei der Musterbildung eine entscheidende Rolle 115
11.3.6 Jedes Gehirn nimmt das Ganze und die Einzelteile parallel wahr und erschafft gleichzeitig beides neu 116
11.3.7 Zum Lernen gehört die gerichtete Aufmerksamkeit sowie die periphere Wahrnehmung 117
11.3.8 Am Lernvorgang sind stets bewusste und unbewusste Prozesse beteiligt 118
11.3.9 Jeder Mensch besitzt mindestens zwei verschiedene Arten, Gedächtnisinhalte zu ordnen 120
11.3.10 Lernen ist entwicklungsbedingt 122
11.3.11 Komplexe Lernprozesse werden durch Herausforderung gefördert und durch Angst und Bedrohung verhindert, was mit einem Gefühl der Hilflosigkeit oder Erschöpfung verbunden ist 123
11.3.12 Jedes Gehirn ist einzigartig 126
11.4 Sinnvolles Lernen ("Meaningful Learning") 127
11.5 Ein Einstellungswandel vollzieht sich 129
11.5.1 Verschiedene Arten, sich Wissen anzueignen 131
11.5.2 Gefühlte Bedeutung und Tiefenbedeutung ("Felt Meaning and Deep Meaning") 133
11.5.3 Zur Bewertung von dynamischem Wissen 136
11.5.4 Praktische Implikationen 136
11.6 Zusammenfassende Gedanken 137

11.6.1 Entspannte Aufmerksamkeit ("Relaxed Alertness"). 139
11.6.2 Geordnete Vertiefung ("Orchestrated Immersion"). 140
11.6.3 Aktive Verarbeitung ("Active Processing") 140
11.7 Die Bedeutung von Emotionen für den Lernprozess 141
11.7.1 Konsequenzen aus der Theorie des dreieinen Gehirns 141
11.7.2 Konsequenzen aus der Theorie von Jaak Panksepp 144
11.7.3 Konsequenzen aus der Theorie von Gerald M. Edelman . . . 147
11.7.4 Konsequenzen aus der Bewusstseinstheorie von Antonio Damasio 149
11.7.5 Peptide als „Moleküle der Emotionen" 149
11.7.6 Konsequenzen aus den Forschungsergebnissen zur Amygdala 150
11.8 "Downshifting" 151
11.8.1 Angst, Bedrohung und Übererregung/Wachheit ("Fear, Threat, Vigilance") 151
11.8.2 Leistungsorientierung ("Achievement oriented") 158
11.8.3 Nachdenken/Reflexivität/Kreativität/Produktivität ("Contemplative/Reflective/Creative") 160
11.9 Allgemeine Vorüberlegungen für eine Schulreform 161
11.9.1 Eine Schule verändert sich 162
11.9.2 Nicht Revolution, sondern Evolution 164
11.9.3 Unterschiedliche Sichtweisen vom Lernen und Unterrichten . 165
11.9.4 Kritik am bestehenden Schulsystem 166
11.9.5 Die Wissensexplosion 167
11.9.6 Welche Merkmale besitzt das neue Paradigma und wie wird es umgesetzt? 168
11.9.7 Der Mensch und der Lernprozess im Lichte des neuen Paradigmas 173
11.10 Die Umsetzung der Theorie von "Brain-Based Learning and Teaching" in der Praxis 178
11.10.1 Die Initiierung des Prozesses 178
11.10.2 Die Umsetzung von „entspannter Aufmerksamkeit" 185
11.10.3 Die Umsetzung von „geordneter Vertiefung in komplexe Erfahrungen" 197
11.11 Die Ergebnisse des Umstrukturierungsprozesses: Die Entwicklung einer Schulgemeinschaft in Dry Creek . . . 212
11.12 Die Entwicklung einer Schulgemeinschaft in Park View . . . 217
11.13 Allgemeine Veränderungen an beiden Schulen 217

11.14 Das Denken der Lehrer über Unterricht und Lernprozess bestimmt ihr Handeln 218
11.15 Charakteristika eines Lehrers mit Handlungsstil 3 224
11.16 Konsequenzen für die Lehrerausbildung 226
11.17 "Brain-Based Learning and Teaching" in Action 229
11.18 Das eigentliche Ziel von "Brain-Based Learning and Teaching" 233

12. Der Ansatz von Susan Kovalik und Karen Olsen: Integrierter thematischer Unterricht ("Integrated Thematic Instruction, ITI") 235
12.1 Sechs Grundannahmen aus der Gehirnforschung 236
12.2 Acht gehirngemäße Elemente ("Brain-Compatible Elements") 242
12.2.1 Angstfreiheit 242
12.2.2 Sinnvolle Inhalte 245
12.2.3 Wahlmöglichkeiten 248
12.2.4 Angemessene zeitliche Rahmenbedingungen 249
12.2.5 Anregungsreiche Umgebung 251
12.2.6 Zusammenarbeit 254
12.2.7 Unmittelbare Rückmeldung ("Immediate Feedback") 255
12.2.8 Beherrschung 257
12.3 Der gehirngemäße Lehrplan 259
12.3.1 Die Entwicklung eines Jahresthemas ("Yearlong Theme") . . 270
12.3.2 Das Finden von Schwerpunkten ("Key Points") 283
12.3.3 Die Gestaltung von Forschungsprojekten ("Inquiries") 287
12.3.4 Die Integration von Fertigkeiten 290
12.3.5 Abrundende Gedanken zu "Integrated Thematic Instruction" 293

Teil III – Übertragung auf die deutsche Schulentwicklungsforschung 295

13. Schulentwicklung 297
13.1 Faktoren, die eine Schulentwicklung bedingen 297
13.1.1 Veränderte Lebenswelt der Kinder und Jugendlichen 297
13.1.2 Die pragmatische oder erkenntnistheoretische Konstruktivismus 301
13.1.3 Systemtheorie 302
13.1.4 Organisationsentwicklung (OE) 303
13.1.4.1 Ideengeschichtlicher Hintergrund von Organisationsentwicklung 304

13.1.4.2 Elemente der Organisationsentwicklung 306
13.1.4.3 Organisationsentwicklung ist ein systematischer Prozess . . . 307
13.1.4.4 Arten von Problemen 310
13.1.4.5 Strategien der Organisationsentwicklung 311
13.2 Von der Organisationsentwicklung zur Schulentwicklung . . 312
13.3 Begriffliche Abgrenzung: Schulreform, Schulentwicklung, Schulautonomie, Schulprofilbildung, Schulprogramm 319
13.4 Wichtige Elemente von Schulentwicklung oder die Schule als soziales System 323
13.4.1 Personale Entwicklung 326
13.4.2 Unterrichtsentwicklung 327
13.4.3 Organisationsentwicklung 331

14. Brain-Based Learning and Teaching als Basis für Unterrichtsentwicklung 332

Abbildungsverzeichnis 337

Literaturverzeichnis 341

Anhang 359

Vorwort

Die vorliegende Abhandlung wurde im Frühjahr 2001 von der Philosophisch-Sozialwissenschaftlichen Fakultät der Universität Augsburg als Dissertation angenommen. Voraus ging eine Magisterarbeit, in der ich die Notwendigkeit herausstellte, Emotionen in jeglicher Art kognitiver Tätigkeit einzubeziehen. Sodann machte ich mich in mehreren Seminaren mit den Grundlagen und Implikationen der Gehirnforschung vertraut. Aus persönlichem und aus wissenschaftlichem Interesse vertiefte ich die so gewonnenen Kenntnisse durch eine Reihe von Gesprächen, die ich mit international renommierten Gehirnforschern an amerikanischen Universitäten führen konnte.

Der akademische Betreuer meiner Arbeit an der Universität Augsburg, Professor Dr. Dr. Werner Wiater, ließ mir bei der Formulierung und Konzeption des Themas sowie bei der Durchführung der Untersuchung freie Hand. Die Rezeption von Forschungsergebnissen aus einem noch weitgehend unbekannten Terrain und den Fortgang der Arbeit begleitete er mit wohlwollendem Interesse. Dafür danke ich ihm besonders.

Für die herzliche Aufnahme in den amerikanischen Labors und den intensiven wissenschaftlichen Austausch bedanke ich mich bei Professor Dr. Antonio Damasio, Professor Dr. Hanna Damasio und Dr. Ralph Adolphs (Iowa City), Professor Dr. Joseph LeDoux (New York), Professor Dr. Kurt Fischer (Harvard) sowie Professor Dr. Renate Nummela Caine und Dr. Geoffrey Caine (Idyllwild), Professor Dr. James McGaugh und Dr. Benno Roozendaal (Irvine). Sie alle trugen dazu bei, dass die Forschungsreise in die USA zu einem wissenschaftlich ertragreichen Abenteuer wurde.

Danken möchte ich auch Dr. Volker Dotterweich und seiner Mitarbeiterin Gisela Batzer für alle redaktionelle Hilfe. Ebenso danke ich den Herausgebern für die Aufnahme des Bandes in die „Schriften der Philosophischen Fakultäten der Universität Augsburg". Dem Verlag Ernst Vögel, München, bin ich dankbar, dass die Darstellung durch Farbabbildungen veranschaulicht werden konnte.

Ohne die anhaltende ideelle und materielle Unterstützung, die ich durch meine Eltern erfuhr, hätte ich meine Studien nicht durchführen können. Beide glaubten vom Anfang bis zum Abschluss der Arbeit an den Erfolg meiner Unternehmung. Dafür danke ich meinen Eltern von Herzen. Ihnen sei dieses Buch gewidmet.

Augsburg, im Juli 2002

Margret Arnold

1. Neuroanatomische Grundlagen

1.1 Zur Orientierung im Gehirn

Das Gehirn ist ein dreidimensionales Gebilde. Bei der Lagebezeichnung der einzelnen Gehirnbereiche muss dies angemessen berücksichtigt werden. Dabei bedeutet die Eigenschaft anterior/rostral nach vorne in Richtung Nase oder Schnauze, posterior/caudal nach hinten in Richtung Schwanz, dorsal nach oben in Richtung Kopfoberseite und ventral nach unten in Richtung Kopfunterseite oder Bauch. „Medial heißt in der Mitte, auf die Mittellinie zu, und lateral bedeutet weg von der Mittellinie, seitlich" (Pinel 1997, S. 66). – Siehe Anhang Abb. 1.1 und 1.2.

1.2 Aufbau des Gehirns

Den Anfang des Zentralnervensystems (ZNS), das sich aus Gehirn und Rückenmark zusammensetzt, bilden das sogenannte Neuralrohr und drei primäre Hirnbläschen. – Siehe Anhang Abb. 2. Sie erweitern sich dann auf fünf und bilden das Prosencephalon (Vorderhirn), das in Telencephalon (Endhirn) und Diencephalon (Zwischenhirn) unterschieden wird, das Mesencephalon (Mittelhirn) und das Rhombencephalon (Rautenhirn), das aus Metencephalon (Hinterhirn) und Myelencephalon (Nachhirn) besteht.

Diencephalon, Mesencephalon, Metencephalon und Myelencephalon gemeinsam bilden den Hirnstamm, der zusammen mit dem Hypothalamusgebiet lebenswichtige Funktionen des Organismus, wie Atmung, Körpertemperatur, Stoffwechsel und Schlaf-Wach-Rhythmus, regelt. – Siehe Anhang Abb. 3.1 und 3.2.

Das Myelencephalon, oder auch Medulla oblongata (verlängertes Rückenmark) genannt, besteht aus Faserzügen, die Informationen zwischen dem Körper und dem übrigen Gehirn austauschen. Hier beginnt auch die Formatio reticularis, die eine Rolle bei einer Vielzahl unspezifischer, voneinander unabhängiger Funktionen spielt, wie z. B. „Schlaf, Aufmerksamkeit, Bewegung, Erhaltung des Muskeltonus und verschiedener Herz-, Kreislauf- und Atemreflexe" (Pinel 1997, S. 69). Die Formatio reticularis setzt sich im Metencephalon fort. Dieses besteht hauptsächlich aus auf- und absteigenden Faserzügen, dem Pons (Brücke) und dem Cerebellum (Kleinhirn), das für die präzise Bewegungskontrolle zuständig ist und zum sensomotorischen System gehört. Das Mesencephalon setzt sich aus dem Tectum, das ein Teil des Seh- und Hörsystems ist, und dem Tegmentum zusammen. Im Diencephalon befinden sich zwei wichtige Strukturen: der Thalamus und der Hypothalamus. Während der Thalamus stark mit dem Kortex verknüpft ist und seine Kerne vor allem sensorische Schaltstationen darstellen, spielt

der Hypothalamus „eine bedeutende Rolle bei der Steuerung verschiedener motivationaler Zustände" (Pinel 1997, S. 70), die durch Hormone aus der Hypophyse katalysiert werden. Ebenfalls unterhalb des Hypothalamus liegt die Kreuzung der Sehnerven, das Chiasma opticum. Wichtig zu erwähnen sind noch die Mamillarkörper, die sich hinter der Hypophyse befinden.

Das Telencephalon bildet den größten Abschnitt des menschlichen Gehirns und ist für die komplexesten Hirnfunktionen zuständig. Hier spielen sich vor allem Willkürbewegungen, die Analyse der sensorischen Information und komplexe kognitive Prozesse wie Lernen, Sprechen und Problemlösen ab. Das Endhirn setzt sich aus einem subkortikalen und einem kortikalen Bereich zusammen. Die subkortikalen Strukturen gehören entweder zum limbischen System oder zum motorischen System der Basalganglien.

Innerhalb dieser Arbeit spielt das limbische System eine bedeutende Rolle, da es besonders für die emotionale und motivationale Steuerung, aber auch für Lern- und Gedächtnisfunktionen verantwortlich ist[1]. Die Mamillarkörper, der Hippocampus, aber vor allem die Amygdala, der Gyrus cinguli, Septum und Fornix sind eindeutig dem limbischen System zuzurechnen. Sie legen sich wie ein Saum (limbus bedeutet lateinisch „Saum") um den Thalamus. – Siehe Anhang Abb. 4.

Die Basalganglien sind eine Gehirnformation, die über das extrapyramidale System entscheidend an der Bewegungssteuerung beteiligt sind. Sie bestehen aus einer Reihe von Unterstrukturen, die ich hier nicht weiter ausführen werde. Die Amygdala (Mandelkern) gehört sowohl zum limbischen System als auch zu den Basalganglien[2]. An sie schließt sich der Nucleus caudatus (Schweifkern) an. In seinem Zentrum wiederum liegt das Putamen. Sie bilden zusammen das Striatum oder auch den Streifenkörper. Zwischen Putamen und Thalamus befindet sich der Globus pallidus.

Hier muss zusammenfassend angemerkt werden, dass alle bisher genannten Strukturen und Formationen, wie auch in Abb. 2 dargestellt, immer in doppelter Ausführung existieren und spiegelbildlich in beiden Hemisphären angeordnet sind.

Über die eben beschriebenen subkortikalen Gehirnbereiche wölbt sich der cerebrale Kortex mit der stark gefurchten Großhirnrinde. „Die Furchen im Kortex nennt man Fissuren (Spalten), wenn sie tief in das Gehirn hineinreichen; die flacheren Furchen heißen Sulki (Singular: Sulcus). Die Windungen zwischen den

---

[1] Jedoch sind an diesen Prozessen, wie ich noch zeigen werde, nicht allein limbische Strukturen beteiligt.

[2] Zur Amygdala werde ich Genaueres im 8. Kapitel sagen.

Fissuren und Sulki werden als Gyri (Singular: Gyrus) bezeichnet" (Pinel 1997, S. 74). Die Windungen und Furchen vergrößern die Kortexoberfläche enorm und erhöhen damit die Speicherkapazität. Die tiefste Längsfurche trennt die beiden Gehirnhemisphären, die lediglich durch Faserbündel, von denen das wichtigste das Corpus callosum, der Balken ist, miteinander verbunden sind. Jede Gehirnhemisphäre hat eine spezielle übergeordnete Funktion ausgebildet: Die linke Seite übernimmt eher sprachliche Aufgaben, während die rechte Seite für die nonverbale, emotionale Informationsverarbeitung zuständig ist. Die Zentralfurche (Sulcus centralis) und die Sylvische Furche (Fissura lateralis) helfen, jede Hemisphäre in vier Lappen aufzuteilen: den Stirn- oder Frontallappen, den Scheitel- oder Parietallappen, den Schläfen- oder Temporallappen und den Hinterhaupts- oder Occipitallappen. – Siehe Anhang Abb. 5.

Der evolutionär jüngste Teil des Gehirns ist der Neokortex. Er macht 90% des Großhirns aus und besteht aus sechs Schichten, die sich in Anordnung und Art der Nervenzellen unterscheiden. Sie liegen direkt unter der Hirnrinde.

Zusammenfassende Übersicht:

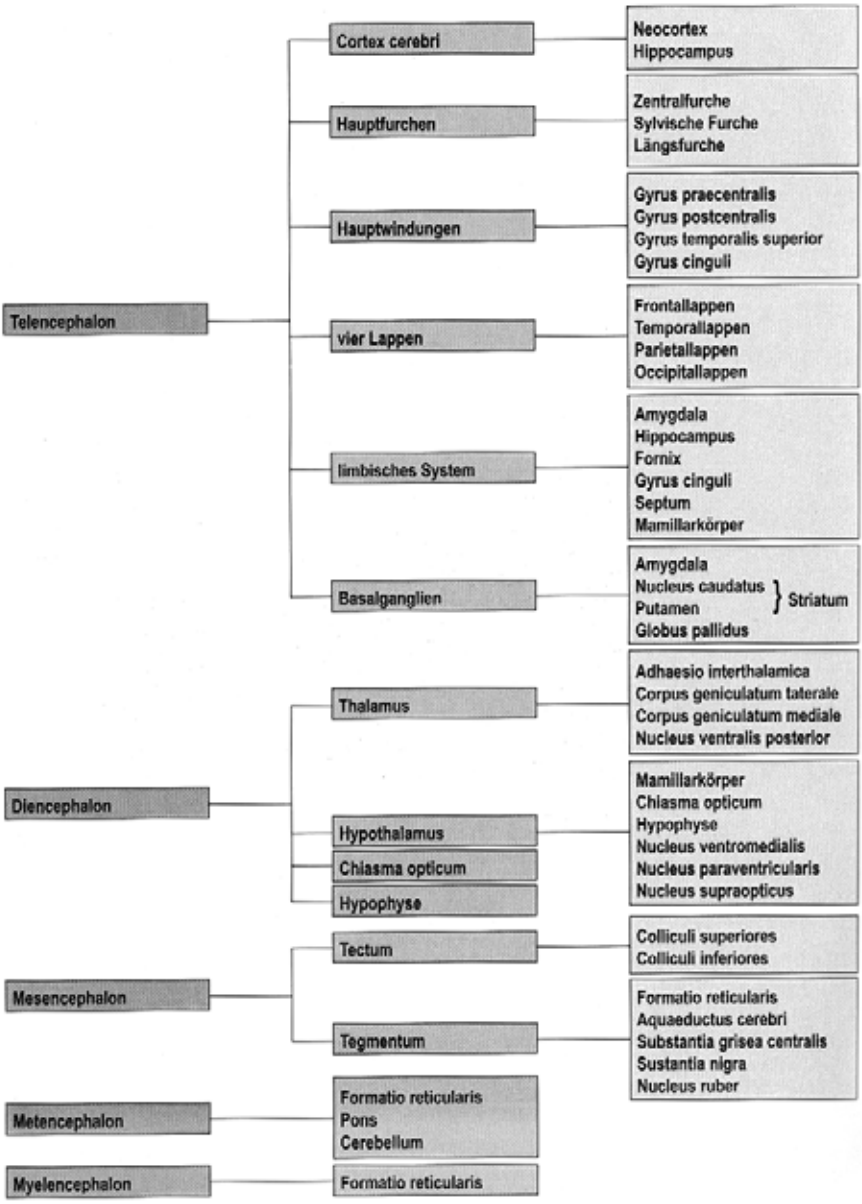

Abb. 6: Zusammenfassung der wichtigsten Hirnstrukturen (Pinel 1997, S. 78).

1.3 Das dreieine Gehirn ("The Triune Brain in Evolution")

Das Gehirn lässt sich nur im Hinblick auf die Evolution erklären und verstehen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, sich bewusst zu machen, wie die eben erwähnten Hirnbereiche evolutionär entstanden sind, welche übergeordneten Funktionen sie erfüllen und wie sie miteinander in Verbindung stehen. Eine vereinfachende, aber verständliche Erklärung hat Paul MacLean in "The Triune Brain in Evolution" (1990) gegeben. In diesem Werk wird die Architektur des Gehirns in drei evolutionären Stadien dargestellt, die sich jeweils in drei Schichten des Gehirns manifestiert haben. – Siehe Anhang Abb. 7.

Das Reptiliengehirn

Die tiefste und stammesgeschichtlich älteste Schicht ist das Reptiliengehirn ("reptilian brain"), das aus den Basalganglien oder dem extrapyramidalen motorischen System besteht. Es ist für den Entwurf von Bewegungsplänen verantwortlich, steuert aber auch einfachere Emotionen, wie das Erkundungsverhalten und einige Aspekte des Angst-, Aggressions- und Sexualverhaltens. Das Reptiliengehirn erhielt seinen Namen deswegen, weil von dort vor allem instinktgesteuerte Bewegungen und Körperhaltungen ausgehen, die Reptilien, wie eine Echse oder ein Varan, routinemäßig zeigen, z. B. bei der Jagd, auf der Suche nach Schutz, beim Sonnenbaden oder bei Drohgebärden während des Kampfes. Dazu gehören auch verschiedene soziale Ausdrucksformen, wie das Balzverhalten. Die Basalganglien waren zunächst reine Ausführungsorgane des kortikalen motorischen Systems. Es ist sehr wahrscheinlich, wie Jaak Panksepp treffend bemerkt, dass gerade in den Basalganglien, zusätzlich zu den eben beschriebenen Routineverhaltensweisen, ein Bewusstsein für Bewegung entsteht. Darin lassen sich wahrscheinlich schon erste, frühe Ansätze von Willenskraft erkennen. Die höher entwickelten Gehirnbereiche verwenden dieses System immer noch als Ausgangskanal für Verhaltensweisen. Es müssen also intensive Verbindungen zu anderen Gehirnabschnitten bestehen, das sind vor allem wichtige reziproke Verbindungen über den Thalamus zum Kortex. Auf diese Weise wird der „Gedankenstrom" aus dem Kortex wahrscheinlich mit Plänen für alltägliche Handlungsabläufe, die in den Basalganglien gespeichert sind, in Verbindung gebracht und dann über den Thalamus wieder zum Kortex zurückgesendet. Für ein harmonisches Funktionieren der Basalganglien sorgt vor allem der Neurotransmitter Dopamin, auf den ich später noch ausführlicher zu sprechen kommen werde.

Das Limbische System

Das alte Wirbeltiergehirn ("old mammalian brain") oder auch Limbisches System (siehe Abb. 4) genannt, umgibt das Reptiliengehirn und beinhaltet neuere Schaltprogramme, die mit bestimmten sozialen Emotionen wie mütterlicher Fürsorge, Herstellen und Aufrechterhalten von Beziehungen, Trennungs-

schmerz und Spielverhalten, in Verbindung gebracht werden. Mit "family values" könnte man diese Emotionen umschreiben. Das Limbische System ist eng mit den inneren Organen verknüpft. Ursprünglich bestanden intensive Verbindungen zu den Riechkolben, deswegen auch der Name „Riechhirn". Durch Paul MacLean angeregt, wird dieser Teil des Gehirns aber immer stärker mit dem emotionalen Gehirn identifiziert. Zusätzlich zur Regulierung der im Reptiliengehirn entworfenen Verhaltensweisen, unterstützt das Limbische System die Erzeugung von Basisemotionen, die zu prosozialem Verhalten führen. Die hierarchische Strukturierung des Gehirns drückt sich auch in den Verbindungen des Limbischen Systems mit anderen Teilen des Gehirns aus, mit den Basalganglien, Teilen des Hirnstamms, den sensorischen Feldern, Hypothalamus und Kortex. Auch verlaufen durch das Limbische System neurochemische Bahnen, die dazu beitragen, kognitive Prozesse, physiologische Abläufe, Gefühlszustände und Verhaltensweisen innerhalb weit voneinander entfernt liegender Bereiche des Nervensystems zu erzeugen und zu synchronisieren.

Der Neokortex

Derjenige Teil des Gehirns, der den Menschen zum Menschen macht, ist der Neokortex. Er verleiht dem Homo Sapiens die Fähigkeit zu denken und ist hauptsächlich dazu da, die auf die Sinne einströmende Fülle an Informationen aus der Außenwelt mit schon vorhandenen Ideen zu Konzepten zu verbinden, die die Weltsicht eines Menschen ausmachen. Hier ist der Ort, an dem neue Ideen entstehen, der Ort der Rationalität. Einzelne, genau abgegrenzte Regionen sind für spezielle Funktionen zuständig und haben gezielte Verbindungen mit anderen Teilen des Gehirns. Obwohl der Neokortex Gefühlszustände nicht selbst erzeugen kann, enwickelt er durchaus Bewertungsprozesse, die emotionale Reaktionen hervorrufen können. Es ist noch anzumerken, dass kognitive Funktionen wahrscheinlich aus der Notwendigkeit heraus erwachsen sind, das enge emotionale Verhaltensrepertoire zu erweitern. Anders ausgedrückt: Als sich einfache emotionale Reaktionsweisen im Wettbewerb um Lebensräume und Nahrung als unzureichend erwiesen hatten, nahm der Kortex eine entscheidende Stellung bei der Bewertung und der Hervorbringung von neuen Verhaltensplänen an, um das emotionale und motivationale Gleichgewicht oder die Homöostase aufrecht zu erhalten. Damit hat der Neokortex die wichtige Aufgabe, die relativ geschlossenen subkortikalen Systeme für einen differenzierteren Umgang mit der Umwelt immer weiter zu öffnen, um immer größere Handlungsflexibilität und -kohärenz entstehen zu lassen. Kontakte mit Thalamus, Basalganglien, Striatum und vielen anderen neuronalen Systemen im gesamten Gehirn zeugen von seinem Einfluss. Die einzelnen Beziehungen und Funktionen der drei oben vorgestellten Hirnabschnitte werden in der folgenden Abbildung noch einmal deutlich:

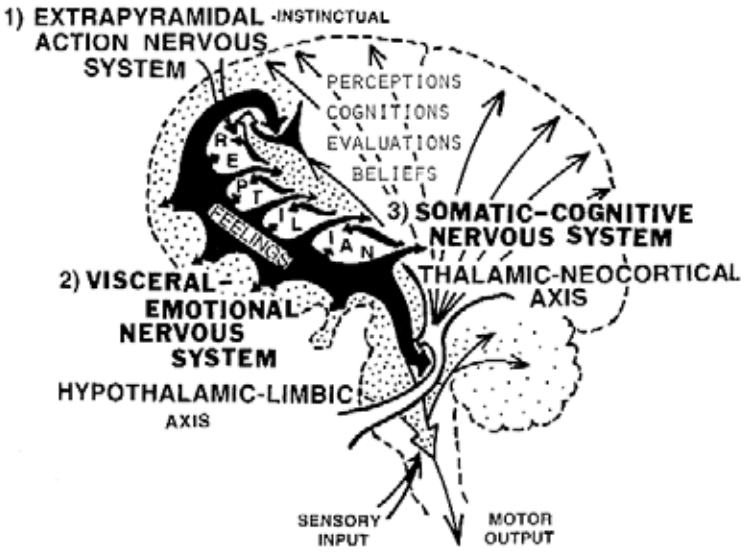

Abb. 8: Schematische Darstellung des menschlichen Gehirns mit seinen Hauptachsen der vegetativen Informationsverarbeitung auf der Achse Hypothalamus-limbisches System (Emotionsfluss) und der somatischen Informationsverarbeitung auf der Achse Thalamus-Neokortex (Gedankenfluss). Diese Achsen laufen im Reptiliengehirn zusammen. Die dorsalen Ströme neuronaler Aktivität stehen in Verbindung mit Informationen, die von den externen Sinnesorganen kommen (Sehen, Hören, Tasten), während ventral-vegetative Ströme der neuronalen Aktivität eher mit den chemischen, internen Sinnen verbunden sind (Geschmacks-, Geruchs- und Temperatursinn und verschiedene Detektoren für Hormone, Körperenergie und Wasser). Beide Informationsströme fließen in grundlegenden sen-so-motorischen Steuerprogrammen des ‚Reptiliengehirns' zusammen, wo sie ein Verhalten hervorrufen, bei welchem sowohl somatische als auch vegetative Prozesse so miteinander verbunden werden, dass kohärentes Verhalten entsteht (Panksepp 1998, S. 62).

1.4 Die Nervenzelle und ihre Verknüpfungen (die Synapsen)

Um die Gesamtheit des Gehirns zu erfassen, ist es notwendig, auch über die kleinsten Einheiten, die Nervenzellen/Neuronen (siehe Abb. 9), Informationen zu haben. Man muss sich das Gehirn als vibrierende Einheit aus 30 Billionen Neuronen (Edelman 1998, S. 38) mit über zehn Trillionen Synapsen (Damasio 1999, S. 331) vorstellen. – Siehe Anhang Abb. 9.

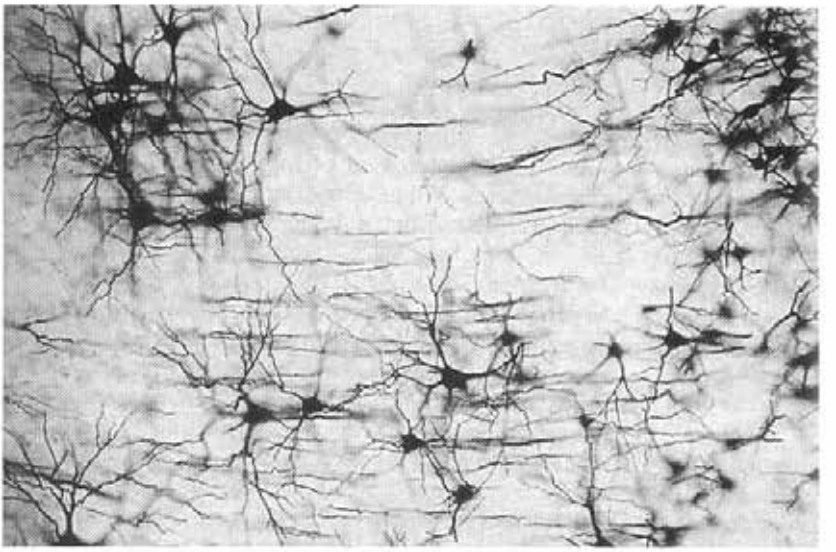

Abb. 10: Nervengewebe, das mit der Golgi-Methode angefärbt wurde. Da nur wenige Neurone Farbe annehmen, lassen sich ihre Umrisse deutlich erkennen, jedoch bleiben die Innenstrukturen unsichtbar. Normalerweise wird in einem einzigen Schnitt nur ein Teil eines Neurons getroffen (Pinel 1997, S. 63).

Bei dieser Vielzahl gleicht jedoch kein Neuron dem anderen: Bei jedem Neuron sind die Dendriten und Axone anders angeordnet und jedes Neuron weist durchschnittlich 1000 Synapsen (Damasio 1999, S. 331) auf. Ein einzelnes Neuron besitzt zwei Arten von Fortsätzen: die Dendriten, baumartige Gebilde, die Signale von anderen Nervenzellen empfangen, und das Axon, über das Informationen ausgesandt werden. Der Ort des funktionellen Kontakts zwischen dem Axon der sendenden und dem Dendrit der empfangenden Zelle heißt Synapse.

Neurone leiten Informationen als unablässigen Strom elektrischer Impulse immer nur in eine Richtung weiter, nämlich vom Zellkörper über das Axon zur Synapse mit der Zielzelle. – Siehe Anhang Abb. 11. Die neuronalen Impulse sind aufeinander folgende elektrische Wellen oder Aktionspotentiale. Das bedeutet, jede Art von äußerem Reiz (z. B. Licht- oder Schallwellen usw.) wird auf der Ebene der Nervenzelle in den gleichen elektrischen Code umgewandelt. Die Informationen werden allein durch die Frequenz und das Muster der Feuerungen (Aktionspotentiale) unterschieden und im ganzen Gehirn weitergeleitet. An der Synapse geschieht dann eine Umwandlung von frequenzgesteuerten elektrischen in amplitudengesteuerte chemische Signale. Dies wird durch die Ausschüttung

verschiedener Neurotransmitter in den synaptischen Spalt, einen etwa 5 nm (fünf Nanometer/fünf Milliardstel Meter) breiten Zwischenraum zwischen der präsynaptischen Membran des Axons und der postsynaptischen Membran des empfangenden Dendriten, bewirkt. Die Neurotransmitter verbinden sich dann mit entsprechenden Rezeptoren der postsynaptischen Membran und veranlassen auf neurochemische Weise die Auslösung oder Hemmung eines Aktionspotentials an der Zielzelle. Dabei spielen sowohl die Art und Menge des Neurotransmitters als auch die Art und Anzahl der zur Verfügung stehenden Rezeptoren und die Reihe der postsynaptisch ausgelösten biochemischen Prozesse eine wichtige Rolle. Auf diese Weise „kommunizieren" Neurone untereinander. Die chemischen Signale werden dann wiederum postsynaptisch in elektrische Impulse, in Aktionspotentiale, zur Weiterleitung zurückgewandelt.

1.5 Neurotransmitter Systeme

Bei der chemischen Reizweiterleitung an der Synapse spielen, wie oben schon erwähnt, eine Anzahl neuronaler Überträgerstoffe und die dazugehörenden Rezeptoren eine wichtige Rolle. In diesem Abschnitt gebe ich einen Überblick über die verschiedenen Arten und Funktionen solcher Neurotransmitter und über die Wirkung der Rezeptoren. Zu den niedermolekularen Neurotransmittern gehören die Aminosäuren, die Monoamine, die erst kürzlich entdeckten löslichen Gase und Acetylcholin. Zu den höhermolekularen Neurotransmittern gehört die große Gruppe der Neuropeptide. Die letzterwähnten sind für die neurowissenschaftliche Erforschung von Emotionen besonders wertvoll, weil von einigen Peptiden, besonders von den endogenen opioiden Peptiden schon bekannt ist, dass sie beim Menschen Gefühlszustände verändern und bei Tieren entsprechende Verhaltensänderungen bewirken können. Ein Großteil der Neurotransmitter wird in Vesikeln, in kleinen Bläschen, im Endköpfchen des Axons gespeichert. Die Vesikel schütten ihren Inhalt auf Anregung eines ankommenden Aktionspotentials in den synaptischen Spalt aus (Exocytose). Die freigewordenen Transmittermoleküle heften sich dann an prä- und postsynaptische Rezeptoren und lösen eine Reihe intrazellulärer Prozesse aus, die zur Weiterleitung der Information führen. Wichtig ist noch, dass sich ein Teil der ausgeschütteten Transmitter, nachdem sie ihre Aufgabe erfüllt haben, wieder durch komplexe chemische Prozesse vom Rezeptor lösen und präsynaptisch zur Wiederverwendung resynthetisiert werden. Der andere Teil verteilt sich diffus in der cerebrospinalen Flüssigkeit, die die Zwischenräume zwischen den einzelnen Zellen anfüllt oder wird dort durch Ezyme abgebaut. Neurotransmitter wirken entweder erregend/exzitatorisch oder hemmend/inhibitorisch. Bei den meisten jedoch entscheidet die Art des Rezeptors, welche Reaktion sie auslösen. Das genaue Wissen um die Aktivität von verschiedenen Neurotransmittern an den Synapsen ist für das Verständnis der psychologischen Funktionen des Gehirns sehr bedeutsam. Dies gilt

natürlich insbesondere im Zusammenhang der Einwirkungen von Emotionen auf Lernprozesse.

Aminosäuren

Aminosäuren waren, evolutionär gesehen, die ersten Neurotransmitter. Die wohl bedeutendste erregende Aminosäure als Neurotransmitter ist Glutamat. Es ist an fast allen Gehirnfunktionen beteiligt, wobei über die Mitwirkung an Gedächtnis- ("memory") und Lernprozessen ("learning") derzeit am meisten geforscht wird. Bisher kennt man drei unterschiedliche Rezeptortypen, die auf Glutamat reagieren und die hauptsächlich an der Integration von sensorischen und motorischen Abläufen, aber auch an höheren Prozessen wie der emotionalen und kognitiven Verarbeitung und an Gedächtnisleistungen beteiligt sind. Grundlegende motorische Pläne für eine Vielzahl von Emotionen sind an glutaminerge neuronale Reizweiterleitung gebunden. Gamma-Aminobuttersäure (GABA), durch einfache Modifikation der Struktur aus Glutamat synthetisiert, ist der häufigste hemmende Neurotransmitter und ist, genauso wie Glutamat, an fast allen Funktionen im Gehirn, auch an einfachen Emotionen, inhibitorisch beteiligt. Weitere als Neurotransmitter wirkende Aminosäuren sind Aspartat und Glycin.

Monoamine

Die Gruppe der Monoamine, die sich aus einer einzigen Aminosäure synthetisieren lassen, wird in Katecholamine und Indolamine unterteilt. Während Dopamin, Noradrenalin/Norepinephrin und Adrenalin/Epinephrin zu den Katecholaminen gehören, ist Serotonin den Indolaminen zuzurechnen[3]. Katecholamine kommen sowohl im Gehirn als auch im peripheren Nervensystem vor, wobei sie überwachende Funktionen bei der Stoffwechseltätigkeit und der sensorischen und motorischen Erregung übernehmen. Sie sind sozusagen die Erregungssysteme des Gehirns, wachen aber auch über die Effektivität der Informationsverarbeitung. Sie üben mehr ganzheitliche Aspekte der Gehirntätigkeit aus und haben daher wenig direkten Einfluss auf konkretes Verhalten. Dabei benötigen sie wenig Stimulation von außen, denn sie besitzen innere „Schrittmacher", um spontane Aktivitäten aufrecht zu erhalten. Indolamine hingegen brauchen zur Aktivität etwas mehr Stimulation von außen. Das Serotoninsystem ist an jeglicher motivierten emotionalen Aktivität beteiligt, speziell aber bei Depression, beim Schlaf und bei der Regelung der Körpertemperatur. Serotonin kann auch, je nach Rezeptor, hemmend und damit emotional dämpfend wirken.

---

[3] Die Unterscheidung beruht rein auf der Molekülstruktur.