

# Lehrgangsskript „Heilpraktiker/in für Psychotherapie“

## Grundlagen der Neuroanatomie und Neurobiologie

© Thomas Wiebke

### Grundlagen der Neuroanatomie und Neurobiologie

<b>1. Allgemeines</b>	<b>43</b>
<b>2. Das Nervengewebe</b>	<b>43</b>
<b>2.1. Das Neuron</b>	<b>43</b>
<b>2.2. Das Ruhemembranpotential</b>	<b>44</b>
<b>2.3. Das Aktionspotential</b>	<b>45</b>
<b>3. Neurotransmitter – Funktion und Stoffwechsel</b>	<b>47</b>
<b>3.1. Funktion der Neurotransmitter</b>	<b>47</b>
<b>3.2. Neuromodulation und second messengers</b>	<b>48</b>
<b>3.3. Wichtige Neurotransmitter</b>	<b>49</b>
<b>3.4. Der Stoffwechsel der Neurotransmitter         und seine Beeinflussung durch Arzneien und Drogen</b>	<b>51</b>
<b>4. Das zentrale Nervensystem</b>	<b>53</b>
<b>4.1. Das Gehirn</b>	
<b>4.1.1. Der Hirnstamm</b>	<b>53</b>
<b>4.1.1.1. Das verlängerte Rückenmark (Medulla oblongata)</b>	<b>53</b>
<b>4.1.1.2. Die Brücke (Pons)</b>	<b>53</b>
<b>4.1.1.3. Das Mittelhirn (Mesencephalon)</b>	<b>53</b>
<b>4.1.2. Das Kleinhirn (Cerebellum)</b>	<b>55</b>
<b>4.1.3. Das Vorderhirn</b>	<b>55</b>
<b>4.1.3.1. Das Zwischenhirn (Diencephalon)</b>	<b>55</b>
<b>4.1.3.2. Das Großhirn (Endhirn, Telencephalon, Cerebrum)</b>	<b>57</b>
<b>4.1.6.1. Stirnlappen (Lobus frontalis)</b>	<b>57</b>
<b>4.1.6.2. Scheitellappen (Lobus parietalis)</b>	<b>59</b>
<b>4.1.6.3. Schläfenlappen (Lobus temporalis)</b>	<b>59</b>
<b>4.1.6.4. Hinterhauptslappen (Lobus occipitalis)</b>	<b>60</b>
<b>4.1.6.5. Assoziationsgebiete</b>	<b>60</b>
<b>4.1.4. Das limbische System</b>	<b>60</b>
<b>4.2. Das Rückenmark</b>	<b>63</b>
<b>5. Das periphere Nervensystem</b>	<b>64</b>
<b>5.1. Die Rückenmarksnerven</b>	<b>64</b>
<b>5.2. Die Hirnnerven</b>	<b>65</b>
<b>6. Das vegetative Nervensystem</b>	<b>65</b>
<b>6.1. Sympathikus</b>	<b>66</b>
<b>6.2. Parasympathikus</b>	<b>67</b>

# Lehrgangsskript „Heilpraktiker/in für Psychotherapie“

## Grundlagen der Neuroanatomie und Neurobiologie

© Thomas Wiebke

### 4.1.3.2. Das Großhirn (Endhirn, Telencephalon, Cerebrum)

- Das Großhirn stülpt sich als größter Hirnabschnitt wie der Hut eines Pilzes über Mittelhirn und Zwischenhirn und liegt - nur getrennt durch die Hirnhäute (*Meningen*) - unter der knöchernen Schädelkapsel.
- Es ist der Sitz des Bewusstseins, d.h. aller bewussten Wahrnehmungen bzw. Empfindungen, des bewussten Handelns, der Kreativität und des Gedächtnisses, oder – ganz allgemein – der Sitz der höheren Hirnfunktionen.
- Die Oberfläche des Großhirns ist durch starke Auffaltungen (*Gyri*)<sup>27</sup> und Furchen (*Sulci*)<sup>28</sup> geprägt; besonders tiefe Furchen - die sog. *Fissuren* - unterteilen es in 2 Hälften (*rechte und linke Hemisphäre*), welche durch den *Balken (Corpus callosum)* miteinander verbunden sind.
- Andere Fissuren unterteilen jede Hemisphäre in jeweils 4 Großhirnlappen (*Stirnloben, Scheitellappen, Schläfenloben, Hinterhauptslappen*); hier liegen Verbände von Nervenzellen mit ähnlicher Funktion in den sog. *Rindengebieten* beieinander. Nach der Funktion unterscheidet man primär motorische und primär sensorische Rindengebiete (zusammengefasst auch als Projektionskortex bezeichnet) sowie Assoziationsgebiete (Assoziationskortex).
- Im Frontalschnitt kann man deutlich eine eher grau erscheinende äußere Rindenschicht (Kortex) von den darunter liegenden Strukturen unterscheiden, die überwiegend weißlich erscheinen (Marklager).<sup>29</sup>

#### 4.1.3.2.1. Stirnloben (Lobus frontalis)

- Im Stirnloben liegt das **primär motorische Rindengebiet** (Gyrus praecentralis, vordere Zentralwindung) als Sitz der motorischen Funktionen; dieser Bereich ist somit zuständig für willkürliche Bewegungen (s.u. Exkurs: Pyramidenbahn und extrapyramidales System, Basalganglien)
- Ebenfalls im Bereich des Stirnlobens liegt das motorische Sprachzentrum (**Broca-Zentrum**), und zwar einseitig (meist links, unabhängig von der dominanten Hirnhälfte); bei Ausfall des Broca-Zentrums sind die Betroffenen unfähig zu sprechen bei intaktem Sprachverständnis (*motorische Aphasie, Broca-Aphasie*).
- Der am weitesten stirnwärts gelegene Pol des Stirnlobens wird auch als **präfrontaler Kortex** bezeichnet; er zählt zu den sog. Assoziationsgebieten (s.u.) und ist eng vernetzt mit anderen Assoziationsgebieten, sowie mit dem limbischen System und den Basalganglien. Dieses Areal wird oft allgemein als „Sitz der Persönlichkeit“ bezeichnet. Es spielt (in Zusammenarbeit mit dem Corpus Striatum) eine wichtige Rolle beim Kurzzeitgedächtnis und steuert verschiedene Exekutivfunktionen<sup>30</sup> bzw. Ich-Funktionen wie z.B. den Aufbau von Selbst- und Objektpräsentanzen.  
Schädigungen in diesem Bereich können demnach je nach genauer Lokalisation über Kurzzeitgedächtnisstörungen bis hin zu deutlichen Persönlichkeitsveränderungen führen, welche mit Affektverflachung, allgemeiner Enthemmung und Missachtung sozialer Normen einhergehen (sog. Stirnhirnsyndrom).

---

<sup>27</sup> Einzahl = *Gyrus*

<sup>28</sup> Einzahl = *Sulcus*

<sup>29</sup> Die sog. **graue Substanz** des Großhirns besteht v.a. aus den Zellkörpern der einzelnen Neurone, welche v.a. in der Großhirnrinde (Kortex) und den sog. Basalganglien liegen, während die **weiße Substanz** aus den myelinisierten (markhaltigen) Axonen besteht.

<sup>30</sup> s.u. Exkurs: Corpus Striatum (S.59)

# Lehrgangsskript „Heilpraktiker/in für Psychotherapie“

## Grundlagen der Neuroanatomie und Neurobiologie

© Thomas Wiebke

### Exkurs: Pyramidenbahn und extrapyramidales System, Basalganglien

- Von den Neuronen im motorischen Rindenfeld ziehen die Nervenfasern über eine große Bahn direkt zum Rückenmark, wo eine Umschaltung der Reize zu den motorischen Neuronen der Körperperipherie erfolgt. Die Gesamtheit dieser Nervenfasern wird auch **Pyramidenbahn** bezeichnet.
  - Die Pyramidenbahn steuert nicht nur die willkürliche „Zielmotorik“, sondern sie wirkt auch hemmend auf die Regulation der Muskelgrundspannung und auf das Zustandekommen der Muskeleigenreflexe.
  - Schäden der Pyramidenbahn führen zu Lähmungen (auf der Gegenseite) und dem Verlust der Feinmotorik. Bei einer Untersuchung werden zudem überschießende Muskeleigenreflexe (Hyperreflexie), spastische Lähmungen und andere Symptome festgestellt (sog. Pyramidenbahnzeichen).
- Das Pyramidenbahnsystem (PS) arbeitet bei der Steuerung der Bewegungen eng mit einem weiteren Leitungssystem zusammen, dessen Fasern ebenfalls vom Großhirn zum Rückenmark verlaufen, und die in ihrer Gesamtheit als **extrapyramidales System** (EPS) bezeichnet werden.
  - Das extrapyramidale System ist z.B. für die unwillkürlichen Muskelbewegungen zuständig, die oft auch als „Haltemotorik“ bezeichnet werden, und die dafür sorgen, dass wir unser Gleichgewicht durch Ausgleichsbewegungen halten können, wie z.B. das Armpendeln beim Gehen oder Koordinationsbewegungen beim Fahrradfahren etc. Darüber hinaus steuert das extrapyramidal-motorische System die Grundspannung der Muskulatur. Es hat Verschaltungen mit dem Kleinhirn, dem Gleichgewichtssinn und dem optischen Reflexzentrum Mittelhirn.
  - Einen wesentlichen Bestandteil des EPS bilden die sog. Basalganglien<sup>31</sup>. Mit diesem Begriff bezeichnet man bestimmte Nervenkerne an der Basis des Großhirns, die Afferenzen aus verschiedenen Bereichen des Kortex erhalten und ihrerseits Informationen über den Thalamus zum frontalen Kortex senden, so dass ein hochkomplexer Regelkreis entsteht, der vor allem gewisse motorische Funktionen steuert, insbesondere solcher, die unbewusst und automatisiert und gleichzeitig schnell und koordiniert ablaufen. Darüber hinaus sind Teile der Basalganglien mit an der Planung von Bewegungen beteiligt, was aber nicht unmittelbar zu einer realen Bewegung führen muss. Teile der Basalganglien sind auch beteiligt an emotionalen und kognitiven Prozessen, so etwa das sog. Belohnungssystem, dessen zentraler Kern, der Nucleus accumbens, zu den Basalganglien gezählt wird. Eine Überaktivität der Basalganglien scheint das Entstehen psychotischer Symptome wie Wahn und Halluzinationen mit zu verursachen.
  - Wichtigste Neurotransmitter im Bereich des extrapyramidalen Systems sind v.a. Dopamin, aber auch Glutamat. Schädigungen des EPS oder Dopaminmangel führen (je nach Ort) zu unterschiedlichsten Bewegungsstörungen (Dyskinesien), die sich im Auftreten unwillkürlicher Bewegungen (Hyperkinesien) sowie in Störungen der Muskelgrundspannung (Dystonie) zeigen können. Beispiele: Morbus Parkinson mit Einschränkungen der willkürlichen Bewegungen durch ein hypokinetisch hypertones (rigides) Syndrom, oder Chorea Huntington mit hyperkinetisch hypotonen Störungen.

---

<sup>31</sup> Die Nervenkerne der Basalganglien heißen: Nucleus caudatus, Nucleus lentiformis (Putamen und Pallidum), Nucleus subthalimicus, Nucleus accumbens, Substantia nigra.

# Lehrgangsskript „Heilpraktiker/in für Psychotherapie“

## Grundlagen der Neuroanatomie und Neurobiologie

© Thomas Wiebke

### Exkurs: Corpus Striatum (Striatum, Streifenkörper)

- Einen wichtigen Teil der Basalganglien bildet das Striatum<sup>32</sup>, welches Nervenreize von verschiedenen Arealen des Gehirns empfängt (und daher auch als „Eingangsseite der Basalganglien bezeichnet wird), aber auch Nervenreize in verschiedene Areale des Gehirns projiziert.
- Eine wichtige Funktion des Striatums ist die Hemmung von Bewegungen. Bei bestimmten Erkrankungen (v.a. Chorea Huntington) fällt diese Bewegungshemmung aufgrund einer Zelldegeneration bestimmter Bereiche des Striatum teilweise aus, was die für die Krankheit typischen überschießenden tänzelnden Bewegungen erklärt.
- Dabei erhält das Striatum Informationen von verschiedenen Arealen der Großhirnrinde (z.B. Sinneswahrnehmungen), des Stammhirns und von anderen Basalganglien; diese afferenten Projektionen werden v.a. über den Neurotransmitter Glutamat vermittelt. Über den Thalamus laufen die efferenten Projektionen dann vom Striatum wieder zur Großhirnrinde - v.a. des Frontallappens - zurück; auch hier ist Glutamat der wichtigste Neurotransmitter. So entsteht ein sog. fronto-striataler Regelkreis, der eine elementare Rolle bei der Regelung von sog. Exekutivfunktionen spielt; zu diesen gehören z.B.:
  - die Fähigkeit zur Handlungsplanung mit Berücksichtigung der möglichen Konsequenzen der Handlung, sowie zielgerichtetes Beginnen und Koordinieren von Handlungen,
  - die Fähigkeit zur Impulskontrolle,
  - Entscheidungsfähigkeit,
  - Fähigkeit zum Lösen von Problemen,
  - bewusste Aufmerksamkeitssteuerung, Arbeitsgedächtnis,
  - soziale Kompetenz,
  - motorische Umsetzung, Beobachtung der Handlungsergebnisse und Selbstkorrektur.

Verschiedene Störungen des fronto-striatalen Regelkreises sollen u.a. mit Erkrankungen bzw. Störungen wie M. Parkinson, Chorea Huntington, ADHS, Tourette-Syndrom und Schizophrenie in Verbindung stehen.

#### 4.1.6.2. Scheitellappen (Lobus parietalis)

- Im *Scheitellappen* liegt das *primär sensorische Rindenfeld* (Gyrus postcentralis, hintere Zentralwindung), das als Zentrum für bewusste Empfindungen angesehen wird. Hier werden Informationen von peripheren Rezeptoren verarbeitet, z.B. von Rezeptoren in der Haut, den Muskeln und Gelenken oder auch den inneren Organen; dabei unterscheidet man zwischen *Oberflächensensibilität* (= Berührungs- und Tastsinn, Druck-, Schmerz- und Temperaturempfindung) und *Tiefensensibilität* (= Gefühl für Muskelspannung, Gelenkstellung etc.).

#### 4.1.6.3. Schläfenlappen (Lobus temporalis)

- Im *Schläfenlappen* mit der *Hörrinde* werden die Informationen vom Hör- und Gleichgewichtsnerv verarbeitet.
- Hier liegt auch (einseitig, meist links) das sog. *Wernicke-Zentrum* als Rindenfeld für Klangerinnerungsbilder; ein Ausfall dieses Zentrums hat eine Unfähigkeit zur Deutung akustischer Signale bei erhaltener Wahrnehmung zur Folge (*sensorische Aphasie*, *Wernicke-Aphasie*).
- Im Bereich des Schläfenlappens befinden sich auch die Amygdala („Mandelkern“) und der Hippocampus („Seepferdchen“), welche zum limbischen System (s.u.) gehören.

---

<sup>32</sup> Nucleus caudatus und Putamen sind über feine Streifen von Nervenzellen miteinander verbunden und werden daher auch als Streifenkörper (Corpus Striatum oder einfach Striatum) bezeichnet.

# Lehrgangsskript „Heilpraktiker/in für Psychotherapie“

## Grundlagen der Neuroanatomie und Neurobiologie

© Thomas Wiebke

### 4.1.6.4. Hinterhauptslappen (*Lobus occipitalis*)

- Der *Hinterhauptslappen* mit der *Sehrinde* enthält das Sehzentrum.

### 4.1.6.5. Assoziationsgebiete

- Die sog. Assoziationsgebiete des Großhirns (*Assoziationskortex*) dienen der Integration (d.h. der Zusammenführung und weiteren Verarbeitung) von Sinneseindrücken und motorischen Handlungsentwürfen; durch Verbindungen verschiedenster motorischer und sensorischer Rindenzonen bilden sie die Grundlage für Hirnleistungen wie z.B. das logische Denken oder die Kreativität. Zu den Assoziationsgebieten gehören zahlreiche Zonen der vier Großhirnlappen (z.B. der präfrontale Kortex) sowie Anteile des limbischen Systems.
- Die beiden Großhirnhälften unterscheiden sich besonders in den Assoziationsgebieten voneinander:
  - die linke Hemisphäre ist bei den meisten Menschen Sitz der Sprache, der Zahlenkenntnis und des abstrakten logischen Denkens,
  - die rechte Hemisphäre bildet eher die Grundlage für Kreativität, künstlerische Begabungen, Einsicht und Vorstellungskraft.

### 4.1.4. Das limbische System

- Hier handelt es sich um eine funktionelle Einheit, die aus Strukturen des Großhirns, des Zwischenhirns und des Mittelhirns gebildet wird, welche den Thalamus saumförmig (Saum = Limbus) umgeben.
- Das limbische System spielt bei der Entstehung von Gefühlen und emotionalen Reaktionen wie Furcht, Angst, Wut, Aggression, sowie beim Sexualtrieb eine wichtige Rolle.<sup>33</sup>
- Über den Hypothalamus nehmen die Erregungen des limbischen Systems auf zahlreiche vegetative Funktionen Einfluss (z.B. Durchfall und Erhöhung des Blutdrucks und der Herzfrequenz vor der Überprüfung zum Heilpraktiker für Psychotherapie).
- Zum Limbischen System gehören u.a. folgende Strukturen: *Nucleus accumbens*, *Amygdala*, *Hippocampus*.<sup>34</sup>
  - *Nucleus accumbens*
    - \* Hier befinden sich bestimmte Rezeptoren für Dopamin (D2-Rezeptoren), deren direkte oder indirekte Stimulation durch Dopamin oder durch bestimmte Drogen Glücksgefühle auslöst.
    - \* Er wird daher auch als „Belohnungszentrum“ des Gehirns angesehen und spielt u.a. eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Suchterkrankungen.

---

<sup>33</sup> Scherzhafte Eselsbrücke amerikanischer Studenten: die 4 F's: „feeding, fighting, fleeing and sexual behavior“.

<sup>34</sup> Dazu noch Teile des Thalamus, der Mamillarkörper, der Gyrus cinguli und die Fornix, welche Hippocampus und Mamillarkörper miteinander verbindet.

# Lehrgangsskript „Heilpraktiker/in für Psychotherapie“

## Grundlagen der Neuroanatomie und Neurobiologie

© Thomas Wiebke

### → *Amygdala* („Mandelkern“)

- \* Die Amygdala ist ganz wesentlich an komplexen Hirnfunktionen wie z.B. der Steuerung von Emotionen und Verhaltensmustern beteiligt.
- \* Sie erhält u.a. vom Thalamus weitergeleitete optische, akustische und sensorische Informationen und kann so z.B. in Gefahrensituationen das Stresssystem des Körpers und damit die Flucht- oder Kampfreaktion aktivieren. Dabei arbeitet sie mit anderen Hirnbereichen, wie z.B. dem in unmittelbarer Nachbarschaft gelegenen Hippocampus eng zusammen. Funktionsstörungen der Amygdala können unter anderem zu Angststörungen, Phobien und Depressionen, sowie zu Störungen der emotionalen Bewertung führen.<sup>35</sup>
- \* Dabei scheint die linken Amygdala eher Emotionen wie Angst und Traurigkeit zu induzieren, während mit der rechten Amygdala eher angenehme Gefühle wie Freude oder Glücks assoziiert sind, so dass diese wohl auch eine wichtige Funktion im Belohnungssystem des Gehirn hat. Beide Hälften der Amygdala verfügen demnach auch über unabhängige Gedächtnissysteme, arbeiten aber zusammen, wenn es um das Speichern, kodieren und interpretieren von Emotionen geht.

### → *Hippocampus* („Seepferdchen“ oder „Ammonshorn“)

- \* Der Hippocampus spielt u.a. für die Speicherung von Gedächtnisinhalten eine wichtige Rolle, genau gesagt für die Übertragung von Inhalten aus dem Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis, dabei kann es sich auch um Eindrücke handeln, die der Mensch unbewusst erlebt. Insofern hat der Hippocampus auch eine große Bedeutung für unsere räumliche Orientierung.
- \* Hippocampus scheint aber auch eine Rolle beim Abrufen von Gedächtnisinhalten zu spielen. Er kann demnach z.B. Sinneswahrnehmungen mit bewussten (und unbewussten) Vorerfahrungen vergleichen und somit zur Bewertung von Situationen beitragen.
- \* Menschen, bei denen beide Hippocampi entfernt oder zerstört wurden, können keine neuen Erinnerungen bilden und weisen somit eine chronische anterograde Amnesie auf, alte Erinnerungen bleiben jedoch meist erhalten.
- \* Daher scheinen Funktionsstörungen des Hippocampus besonders bei der Genese von Gedächtnisstörungen und Depressionen eine wichtige Rolle zu spielen.<sup>36</sup>
- \* Wichtig ist dabei, dass hier lediglich Erinnerungen generiert, aber nicht abgespeichert werden; letzteres findet an verschiedenen anderen Stellen in der Großhirnrinde statt.

---

<sup>35</sup> Die Amygdala scheint demnach auch eine Rolle bei autistischen Störungen zu spielen.

<sup>36</sup> Menschen, denen die Hippocampi entfernt wurden, leiden unter einer anterograden Amnesie, d.h., sie können sich nichts Neues mehr merken. Bei Menschen mit Depressionen sind die Hippocampi oft verkleinert.

# Lehrgangsskript „Heilpraktiker/in für Psychotherapie“

## Grundlagen der Neuroanatomie und Neurobiologie

© Thomas Wiebke

- \* Im Hippocampus finden sich u.a. auch Rezeptoren für das Stresshormon Cortisol. Man nimmt an, dass es bei einer Aktivierung dieser Rezeptoren eine Art Feedback für den Hypothalamus gibt, der daraufhin die Produktion von CRH drosselt, was zum einem Absinken des Spiegels von Cortisol (aber auch Noradrenalin führt). Bei einer dauerhaften Aktivierung der Stressachse kommt es aber quasi zu einer Überbelastung und einer damit verbundenen Volumenverkleinerung des Hippocampus, was die Erklärung dafür ist, warum Menschen mit posttraumatischen Belastungsstörungen und schweren Depressionen oft auffällig verkleinerte Hippocampi aufweisen. Andererseits scheint aber der Hippocampus eine der wenigen Hirnregionen zu sein, in denen Nervenzellen nachwachsen können.

### Exkurs: Die Ausbildung neuronaler Netzwerke und Ich-Bewusstsein

- Ab 7. Schwangerschaftswoche kann man beobachten, wie der Embryo erste spontane Muskelkontraktionen zeigt, die zu noch sehr unkoordinierten Bewegungen führen. Etwa in dieser Zeit beginnen die Axone der Hirn- Rückenmarksnerven mit den einzelnen Muskelzellen Synapsen zu bilden, wodurch nun zunehmend die Nervenzellen die Muskelzellen zur Kontraktion anregen; dies geschieht über den Neurotransmitter Acetylcholin.
- Auf der anderen Seite geben kleine Rezeptoren zwischen den Muskelzellen, die sog. Muskelspindeln, ihrerseits sensorische Rückmeldungen über den Dehnungs- und Anspannungszustand der Muskelzellen an das Gehirn und das Rückenmark zurück, wodurch Verknüpfungen zwischen motorischen und sensorischen Nervenzellen entstehen, zunächst im Rückenmark, zunehmend auch in den motorischen Schaltzentralen im Gehirn.
- Vor allem im Gehirn gibt es zunächst eine sehr große Anzahl von Synapsen zwischen den einzelnen Nervenzellen, die grundsätzlich eine nahezu unendliche Vielzahl von Verschaltungen ermöglichen. Dabei werden aber nur bestimmte Verschaltungen immer wieder „benutzt“, abhängig davon, welche Bewegungen immer wieder ausgeführt werden, während die anderen bestehenden Verschaltungswege (Synapsen) eher verkümmern.
- Dadurch ist der Embryo zunehmend in der Lage, bestimmte Bewegungen sehr koordiniert durchzuführen und beispielsweise irgendwann den Daumen gezielt in den Mund zu stecken. So entsteht allmählich eine ganz bestimmte neuronale Schaltmuster im Gehirn, eine Art inneres Bild bzw. eine Repräsentanz für diese Bewegung. Diese Prozesse werden auch als **Bahnung** bezeichnet. Wichtig für diese Bahnung ist, dass die entsprechenden sensorische Synapsen im Gehirn auch durch Reize aktiviert werden; ein Embryo, der beispielsweise aufgrund eines genetischen Defektes keine Arme ausgebildet hat, kann auch keine entsprechenden netzwerkartigen Verschaltungen im Gehirn ausbilden, da ja keine Informationen von den Muskeln der Arme zum Gehirn geleitet werden.
- Auf diese Art und Weise bilden sich aber auch neuronale Netzwerke und Regelkreise für die Steuerung von Organfunktionen, von Atmung und Kreislauf, von einfachen Reaktionen auf bestimmte Umweltreize etc.; zunehmend bilden sich aber auch hochkomplexe Netzwerke und Regelkreise in höheren Hirnarealen. Dabei entsteht zunehmend eine Art Körperselbst, also eine Repräsentation von Körpergefühlen, die selbst dann bestehen bleibt, wenn es aktuell keine sensorischen Reize von den Muskeln oder der Haut gibt – wie haben quasi Erinnerungen an Empfindungen gespeichert, und wissen, wie es sich anfühlt, wenn wir beispielsweise den Arm und die Hand bewegen um etwas zu greifen.
- Aufbauend auf diesem Körperselbst (als Repräsentation von Körpergefühlen), bilden sich immer mehr kognitive und selbstreflektierende Fähigkeiten heraus, die zu einem zunehmend differenzierten Selbstbild und zum Ich-Bewusstsein führen.