

## Biologische Psychologie, 3. Auflage

### Zusammenfassungen der Kapitel

---

#### Kapitel 1 – Einleitung

- Die **Biologische Psychologie** ist dasjenige Teilgebiet der Psychologie, das zum Studium und zur Erklärung menschlichen Erlebens und Verhaltens einen biologischen Zugang wählt. Zentral sind hier neurobiologische Prozesse, die als Basisvorgänge gesehen werden, auf deren Grundlage das Verständnis menschlichen Erlebens und Verhaltens erweitert werden soll.
- Es existieren verschiedene **Schwerpunktsetzungen** in der Biologischen Psychologie. Diese unterscheiden sich in ihren zentralen Themen und in den bevorzugten Forschungsmethoden. Es sind keine Teilgebiete im strengen Sinne, die sauber voneinander abgrenzbar wären, sondern eher historisch gewachsene thematische und methodische Spezialisierungen neurowissenschaftlichen Vorgehens:
  - **Physiologische Psychologie**
  - **Neuropsychologie**
  - **Psychophysiologie**
- **Psychopharmakologie**
- Die Biologische Psychologie befindet sich an der **Schnittstelle** zwischen Medizin und Verhaltenswissenschaft, wobei es sich der Methoden beider Disziplinen bedient. Das Fach ist eine der Basiswissenschaften der Verhaltensmedizin.

## Kapitel 2 – Gene und Verhalten

- **Gene** beinhalten den Bauplan für Proteine. Sie bestehen aus einem Abschnitt der DNA, der die Codonsequenz für eine bestimmte Aminosäurekette – ein Protein – enthält. Codons bestehen aus je drei der vier Basen Adenin, Guanin, Cytosin und Thymin. Dabei spielt die Aufeinanderfolge der Basen und die damit festgelegte Sequenz der zu verkettenden Aminosäuren die entscheidende Rolle für den Aufbau des Proteins und dessen Struktur.
- Die Proteinsynthese auf der Basis der genetischen Information bezeichnet man als **Genexpression**. Am Anfang steht die Transkription. Hierbei wird eine Kopie von einzelnen Abschnitten eines DNA-Strangs angefertigt. Dies kann durch die Gegenwart bestimmter Proteine, der Transkriptionsfaktoren, angeregt werden. Zum Zwecke der Transkription wird der DNA-Doppelstrang entwunden. Dann wird die Information über die Nukleotidsequenz eines der beiden Stränge auf eine einsträngige Ribonukleinsäure in komplementärer Form kopiert. Die so entstandene RNA hat die Funktion eines Boten (daher Messenger-RNA, mRNA). Sie dient als Matrize, die den Bauplan für ein Protein enthält und diesen Bauplan aus dem Zellkern zum Ort der Proteinsynthese, den Ribosomen, trägt.  
Die Proteinsynthese geschieht hier durch **Translation**: Kleinere, spezialisierte RNA-Stücke, die sog. Transfer-RNA (tRNA), bringen die jeweils benötigten, in der Zelle vorhandenen freien Aminosäuren zu den Ribosomen. Die zusammengebaute Aminosäurekette faltet sich daraufhin in einer Weise, die durch die Sequenz der Aminosäuren vorgegeben ist. Diese Kette kann durch Anhängen anderer Molekülreste oder Abspaltung einzelner Aminosäuresequenzen modifiziert werden.  
Einzelne Gene können durch chemische Prozesse (i. Allg. durch Transkriptionsfaktoren) an- und ausgeschaltet werden. Damit kann die Proteinsynthese an die jeweiligen Anforderungen und an sich ändernde Umweltbedingungen angepasst werden.
- Ein Zyklus von einer Teilung zur nächsten besteht aus zwei Abschnitten, der **Interphase** – die Zahl der Chromosomen verdoppelt sich zu 46 Chromosomenpaaren – und der **Mitose**, in der die Zellteilung stattfindet. Während der Mitose erhält jede Tochterzelle ein Element aus dem Chromosomenpaar der Ursprungszelle. Nach der Mitose liegen wieder 23 Chromosomenpaare vor. Bei der Entstehung der Keimzellen wird während der Meiose der normale Chromosomensatz geteilt, es entstehen Zellen mit nur einem einfachen Chromosomensatz. Bei der Befruchtung einer Eizelle durch eine Samenzelle entsteht eine Zelle, die wiederum mit 23 Chromosomenpaaren ausgestattet ist. Dieser Chromosomensatz besteht je zur Hälfte aus väterlicher und mütterlicher DNA.
- Die **klassische Genetik** fußt überwiegend auf der Beobachtung systematisch angelegter Kreuzungsexperimente. Aus der phänotypischen Ausprägung der Nachkommen aus diesen Kreuzungsexperimenten wird auf die zugrunde liegende genetische Ausstattung geschlossen. Mendel kam aufgrund seiner Beobachtungen aus Kreuzungsversuchen u. a. zu folgenden Schlussfolgerungen:
  - (1) Die Anlagen eines Individuums müssen paarweise vorliegen, wobei aber u. U. nur einer von beiden Anteilen in der äußeren Erscheinung ausgedrückt wird.
  - (2) Von den Eltern müssen die Anlagen in den Keimzellen einzeln weitergegeben werden, sodass neue Kombinationen zustande kommen können.
 In den Mendelschen Regeln wird systematisch beschrieben, wie Merkmale weitergegeben werden.
- **Mutationen** sind gelegentliche Veränderungen in der genetischen Ausstattung. Als Folge von zufälligen Mutationen können im Zuge der Evolution Arten entstehen, die an ihre Umwelt besser angepasst sind. Zufällig entstandene Gene haben dann eine besondere Chance, von Generation zu Generation weitergegeben zu werden, wenn ihr Produkt einen Reproduktionsvorteil bringt.

### Kapitel 3 – Bausteine des Nervensystems – Neuronen und Gliazellen

- Das **Neuron** ist eine Spezialisierung der tierischen Zelle. Seine Grobstruktur gliedert sich in Zellkern, Zytoplasma und Zellmembran. Im Zellkern ist die genetische Information in Form des Chromosomensatzes gespeichert.
- Das Zytoplasma enthält verschiedene Unterstrukturen (**Zellorganellen**): Die **Mitochondrien** bilden das für den Energiehaushalt der Zelle lebensnotwendige ATP (Adenosintriphosphat). Die **Ribosomen** sind die Orte der Proteinsynthese. Am **glatten endoplasmatischen Retikulum** erfolgt die Synthese von Fettsäuren und Phospholipiden. Außerdem werden hier bestimmte Hormone gebildet. Das **raue endoplasmatische Retikulum** ist übersät mit Ribosomen. Hier werden Proteine synthetisiert. Der **Golgi-Apparat** dient u. a. der Aufbereitung und Umgestaltung der an den Ribosomen gebildeten Proteine. **Lysosome** besorgen den aktiven Abbau und Wegtransport von Substanzen, die in der Zelle nicht mehr benötigt werden. **Peroxisomen** spielen eine wichtige Rolle bei vielen Stoffwechselfvorgängen. Das **Zytoskelett** ist die Basis für die räumliche Struktur der Zelle.
- Zum Zytoskelett gehören: die Neurotubuli, Mikrofilamente und die Neurofilamente. Längs der Neurotubuli können Stoffe über große Entfernungen im Inneren der Zelle transportiert werden. Mikro- und Neurofilamente fördern die Stabilität der Zellgestalt und können während der Zellentwicklung zur Zellwanderung beitragen. Die Zellorganellen und das Zytoskelett sind von Flüssigkeit, dem Zytosol, umgeben.
- Die **Zellmembran** stellt eine zweischichtige Struktur aus Phospholipiden mit eingelagerten Proteinen dar. Nach dem äußeren Aufbau gliedert man das Neuron in den Zellkörper (Soma) mit dem Zellkern, das Axon und die Dendriten. Man kennt sehr viele unterschiedliche Neuronentypen. Die spezifische Funktion eines einzelnen Neurons drückt sich aus in seiner Gestalt, in den von ihm produzierten Substanzen und in den Kontakten mit anderen Zellen.
- Im Nervensystem des Menschen gibt es als zweiten Zelltyp neben den Nervenzellen die Gliazellen. Im Gehirn befinden sich etwa zehnmal so viele Gliazellen wie Neuronen. Die wichtigsten **Funktionen der Gliazellen** sind:
  - Während der Entwicklung des Nervensystems wirken Gliazellen beim Wachstum der Neuronen mit.
  - Sie dienen als Stützelemente im Nervensystem.
  - Sie wirken beim Abtransport von Abbaustoffen bzw. von abgestorbenen Neuronen mit.
  - Sie tragen zur Aufrechterhaltung des elektrischen Potenzials der Nervenzelle bei.
  - Bestimmte Typen von Gliazellen bilden das sog. Myelin.
  - Beim Aufbau der sog. Blut-Hirn-Schranke wirken Gliazellen mit.

## Kapitel 4 – Zelluläre Basis der Informationsverarbeitung

- Über die gesamte Zellmembran hinweg besteht eine **Potenzialdifferenz** infolge unterschiedlicher Konzentrationen geladener Teilchen zu beiden Seiten der Membran – das Membranpotenzial. Die Zelle ist im Ruhezustand gegenüber der Umgebung negativ geladen. Das negative Ruhepotenzial einer Nervenzelle beträgt ca.  $-70$  mV.
- Das **Ruhepotenzial** beruht vor allem auf der unterschiedlichen Verteilung von Natrium-, Kalium-, Chlor- und Proteinionen. Intrazellulär finden sich v. a. Kaliumionen und negativ geladene Proteinionen, extrazellulär dagegen v. a. Natrium- und Chlorionen. Die Zellmembran selbst ist für einige geladene Teilchen nahezu undurchlässig (impermeabel). Ionenwanderung wird durch spezielle kanalbildende Membranproteine ermöglicht.
- Die Ionen unterliegen zwei verschiedenen Kräften. Aufgrund der elektrostatischen Kräfte haben sie eine Wanderungstendenz zu entgegengesetzt geladenen Orten hin und von gleichgeladenen Orten weg. Aus ihrer ständigen Bewegung (thermische Bewegung, Brown-Molekularbewegung) ergibt sich eine Tendenz, sich durch Diffusion ausgewogen zu verteilen. Dies führt zum osmotischen Druck.
- Das Basisphänomen des Informationstransports im Nervensystem (das »Ereignis«, das zum Signal führt) ist der Wechsel des Membranpotenzials zwischen verschiedenen Werten. Das **Membranpotenzial** – und demnach auch seine Veränderungen – kommt durch die unterschiedlichen Ionenkonzentrationen innerhalb und außerhalb der Zelle zustande. Die Verschiebung des Membranpotenzials ist eine Konsequenz von außerordentlich schnellen Ionenwanderungen durch die Zellmembran. Daher spielen diese Transportvorgänge durch Kanalproteine beim Verständnis der Grundfunktion des Nervensystems eine ganz entscheidende Rolle.
- **Kanalproteine** können sich i. Allg. in einem von zwei Zuständen befinden: Im offenen Zustand ermöglichen sie einer oder mehreren Ionensorten eine Kanalpassage, im geschlossenen Zustand stellen sie dem Durchtritt einen hohen Widerstand entgegen. Durch bestimmte äußere Einwirkungen kann der eine oder andere Zustand wahrscheinlicher werden.
- Bestimmte **Membranproteine** (Pumpen) können Moleküle entgegen ihres elektrochemischen Gradienten transportieren. Dieser aktive Transport verbraucht Energie. Das wichtigste Beispiel für einen aktiven Transporter ist die Natrium-Kalium-Pumpe. Sie transportiert drei Natriumionen aus der Zelle hinaus und zwei Kaliumionen in die Zelle hinein. Die notwendige Energie für diesen Prozess erhält sie aus der Spaltung eines Moleküls ATP in ADP und einen Phosphatrest.
- Die Weiterleitung von Informationen in der Nervenzelle geschieht durch Änderung des elektrischen Potenzials. Beim passiven Transport (elektrotonische Leitung) bewirkt der Ladungseinstrom eine Auslenkung benachbarter Teilchen, die sich fortsetzt. Diese Art der Leitung ist zwar schnell, aber infolge der Ionen-Leckströme durch die Membran verlustreich.
- **Aktionspotenziale** treten erst nach Überschreiten einer bestimmten Schwelle der Potenzialverschiebung auf und zeigen dann immer dieselbe Amplitudenhöhe. Sie gehorchen dem »Alles-oder-Nichts-Gesetz«. Aktionspotenziale bestehen i. Allg. aus drei Phasen:
  - (1) einer raschen Depolarisation aufgrund eines Natriumeinstroms,
  - (2) einer langsameren Repolarisation als Folge eines Kaliumausstroms,
  - (3) einer Nachhyperpolarisation.

Während der **absoluten Refraktärphase** kann kein weiteres Aktionspotenzial ausgelöst werden. Während der relativen Refraktärphase ist eine stärkere Depolarisation zum Auslösen eines Aktionspotenzials nötig. Der Ein- und Ausstrom der Ionen wird durch spezifische, spannungsgesteuerte Kanalproteine ermöglicht, die sich öffnen und schließen können. Durch bestimmte Gifte oder Medikamente (z. B. Lokalanästhetika) können diese Kanäle blockiert werden, sodass keine Auslösung von Aktionspotenzialen möglich ist. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Aktionspotenzials ist umso größer, je dicker die Faser ist. Größenordnungsmäßig liegt die Ausbreitungsgeschwindigkeit zwischen 1 und 100 m/s.
- Bei der **saltatorischen Erregungsleitung** »springt« die Erregung von einem Ranvierschen Schnürring zum nächsten. In den myelinisierten Bereichen zwischen den Schnürringen erfolgt die Erregungsausbreitung auf passivem Wege, an den Schnürringen wird das Aktionspotenzial »aufgefrischt«.

**Kapitel 5 – Zusammenwirken von Nervenzellen**

- Ein **ankommendes Aktionspotenzial** kann an der präsynaptischen Endigung zur Öffnung spannungsgesteuerter Kalziumkanäle führen. Der Einstrom von Kalziumionen verursacht das Verschmelzen der transmittergefüllten Vesikel mit der Membran, wodurch der Transmitter in den synaptischen Spalt freigesetzt wird. Der Transmitter bindet an spezifische Rezeptoren der subsynaptischen Membran.
  - **Ionotrope Rezeptoren** stellen selbst Kanalproteine dar. Damit kann eine schnelle Ionenkanalöffnung erreicht werden, wodurch eine sprunghafte Membranpotenzialveränderung ermöglicht wird.
  - **Metabotrope Rezeptoren** lösen sekundäre Prozesse in der Zielzelle aus, die mit einer gewissen Verzögerung auch zum Öffnen von Ionenkanälen und zur Potenzialveränderung führen.
- Wird an der subsynaptischen Membran ein Schwellenwert überschritten, kann dort durch das Öffnen spannungsgesteuerter Natriumionenkanäle ein Aktionspotenzial ausgelöst werden, das weitergeleitet werden kann.
- Acetylcholin und die beiden **Typen von Acetylcholinrezeptoren**, der nikotinerge und der muskarinerge Rezeptor, stellen das am weitesten verbreitete Transmittersystem im menschlichen Organismus dar. Acetylcholin wirkt als Transmitter u. a. bei der Übertragung von Nervenimpulsen auf die Muskulatur des Bewegungsapparates und ist Überträgerstoff im vegetativen Nervensystem. Außerdem ist es im Gehirn weit verbreitet. Der nikotinerge Acetylcholinrezeptor ist ein ionotroper Rezeptor. Zu den muskarinergen Acetylcholinrezeptoren gehören mehrere Subtypen, die als metabotrope Rezeptoren jeweils mit einem G-Protein interagieren. Nachdem Acetylcholin vom Rezeptor wieder abgegeben wurde, kommt es zu einer schnellen Inaktivierung, indem es durch das Enzym Acetylcholinesterase in Essigsäure und Cholin gespalten wird. Das Cholin kann danach in die präsynaptische Nervenendigung aufgenommen werden und steht dann wieder für die Synthese neuen Acetylcholins zur Verfügung.
 

**Dopamin** spielt eine sehr große Rolle bei einer Reihe von psychischen und psychomotorischen Prozessen, z. B. bei der Steuerung der Willkürmotorik und bei der Suchtentwicklung und -aufrechterhaltung. Vom Dopaminrezeptor existieren mindestens fünf Subtypen (D1–D5). Adrenalin wird im Gehirn hauptsächlich im Bereich des Hirnstamms gebildet.

Sehr viel weiter verbreitet ist im Gehirn das **Noradrenalin**. Die wichtigste Ansammlung noradrenerger Zellkörper findet sich im Locus coeruleus. Die Axone dieser Nervenzellen sind weit verzweigt, wobei alle wichtigen Regionen im Gehirn und Rückenmark von den Axonendigungen dieser Neuronen erreicht werden. Außerdem ist Noradrenalin ein wichtiger Überträgerstoff bei der Informationsübertragung von sympathischen Nerven auf deren Erfolgsorgane. Adrenozeptoren sind Membranproteine, an denen sowohl Adrenalin als auch Noradrenalin andocken kann. Sie sind metabotrope Rezeptoren.

**Serotonin** spielt bei einer Reihe wichtiger psychischer und psychophysischer Prozesse eine Rolle. Dazu gehören die Regulation des Schlaf-Wach-Rhythmus und der emotionalen Befindlichkeit, die Schmerzwahrnehmung und die Wahrnehmung von Hunger und Durst. Es sind zahlreiche **Serotoninrezeptorsubtypen** bekannt. Teilweise sind dies ligandengesteuerte Ionenkanäle (die sog. 5-HT<sub>3</sub>-Rezeptoren), in der Mehrzahl wirken sie über Second-Messenger-Prozesse. Die Wirkungsdauer des Serotonins wird durch Wiederaufnahme in die präsynaptische Endigung beendet. Beim Abbau spielt das Enzym Monoaminoxidase (MAO) eine wichtige Rolle, das die Aminogruppe vom Molekül abspaltet.

**Glutamat** ist der am weitesten verbreitete exzitatorische Transmitter im Gehirn. Ein Teil der Glutamatrezeptoren ist ionotrop, ein Teil metabotrop.

**GABA (Gammaaminobuttersäure)** ist der wichtigste hemmende Neurotransmitter. Etwa ein Drittel, wenn nicht sogar über die Hälfte aller hemmenden Synapsen im menschlichen Gehirn verwenden GABA als Neurotransmitter. Die ionotropen GABAA- und GABAC-Rezeptoren stellen Chlorionenkanäle dar. Bei der Öffnung diese Kanals kommt es durch den Chlorionenstrom zu einer inhibitorischen subsynaptischen Potenzialverschiebung.

**Glycin** ist eine hemmend wirkende Transmittersubstanz. Anders als GABA entfaltet Glycin seine Wirkung vorwiegend an Neuronen im Rückenmark und Hirnstamm. Der Glycinrezeptor ist ein direkter ionotroper Rezeptor, der einen Chlorionenkanal darstellt.
- **Exzitatorische postsynaptische Potenziale** (EPSP) entstehen durch die Öffnung von Ionenkanälen, die das postsynaptische Membranpotenzial depolarisieren. Dies geschieht zumeist durch die Öffnung von

ligandengesteuerten Kanälen für Natriumionen. Auch die Öffnung von präsynaptischen Kalziumionenkanälen kann infolge von erhöhtem Transmitterausstoß an der subsynaptischen Membran die Depolarisation erhöhen. Die beiden wichtigsten Neurotransmitter, die ESPS auszulösen vermögen, sind Acetylcholin und Glutamat. Inhibitorische Synapsen arbeiten meist auf der Basis ligandengesteuerter Chlorionenkanäle. Ein Einstrom der negativen Chlorionen in die Zelle führt zu einer Hyperpolarisation und damit zu einer reduzierten Erregbarkeit.

- Auf dem Wege der **räumlichen Summation** können exzitatorische postsynaptische Potenziale, die sich gleichzeitig oder nur mit geringer zeitlicher Versetzung ausbilden, verstärkt werden. Für den Fall, dass die Summation im Endergebnis zu einem Aktionspotenzial führt, spricht man von räumlicher Bahnung. **Zeitliche Summation** an der Präsynapse kann durch die schnelle Aufeinanderfolge der einlaufenden Impulse zustande kommen. Dadurch kann sich die ausgeschüttete Transmittermenge erhöhen. Zeitliche Summation an der postsynaptischen Membran kann durch die schnelle zeitliche Aufeinanderfolge von Transmitterausschüttungen entstehen. Dadurch können sich die postsynaptischen Potenziale »aufschaukeln«. **Synaptische Depression** ist beobachtbar, wenn infolge der in die Präsynapse einlaufenden Impulskaskade der Vorrat an transmittergefüllten Vesikeln stark zurückgegangen ist. **Präsynaptische Hemmung** spielt eine große Rolle an vielen Schaltstellen des zentralen Nervensystems. Hier wird ein Impuls, der in die präsynaptische Endigung einer exzitatorischen Synapse einläuft, durch einen hier aufsetzenden zweiten synaptischen Kontakt reduziert. Präsynaptische Hemmung wird häufig durch die Transmitter GABA und Glycin vermittelt.

## Kapitel 6 – Aufbau und Funktion des Nervensystems

- Das **Rückenmark** ist die Verlängerung des Hirnstamms nach unten. Es befindet sich im Wirbelkanal. Es ist von Liquor umspült und von drei Rückenmarkshäuten umgeben. Die Bereiche mit Nervenzellkörpern erscheinen grau (**graue Substanz**), während die Faserverbindungen (Bahnen) aufgrund der Myelinisierung von weißer Farbe sind (**weiße Substanz**). Im Querschnitt hat die graue Substanz des Rückenmarks die Form eines Schmetterlings mit Vorder- (motorisch) und Hinterhorn (sensibel). Im Brust- und Lendenwirbelbereich ist zusätzlich ein Seitenhorn (vegetativ) erkennbar. Die Fasern der weißen Substanz des Vorderstrangs transportieren überwiegend vom Gehirn absteigende Information, der Hinterstrang führt primär Axone, die sensorische Information zum Gehirn leiten. Aus dem Rückenmark ziehen über die Vorderwurzel motorische und über die Hinterwurzel sensible Nervenfasern, die sich an jeder Seite zum Spinalnerv vereinigen. Die 31 Spinalnerven treten segmentweise – jeweils zwischen zwei Wirbeln – aus dem Rückenmark aus und innervieren ihnen zugeordnete Körperbereiche und Hautareale (Dermatome).
- Im Rückenmark werden sensible Informationen bereits grob von Interneuronen verrechnet, die z. B. motorische Reaktionen veranlassen können, die sog. spinalen Reflexe. Es werden monosynaptische (über eine Synapse verschaltete) von polysynaptischen (über mehrere Synapsen verschalteten) Reflexen unterschieden.
- Die **Medulla oblongata** (verlängertes Mark) ist die unterste Struktur des Gehirns. Sie wird von den auf- und absteigenden Bahnen zwischen Gehirn und Rückenmark durchzogen. Von der Medulla oblongata aus werden wichtige Reflexe des vegetativen Bereichs gesteuert. Hier befinden sich auch verschiedene Hirnnervenkerne, deren wichtigster der Kern des Nervus vagus ist. Bei schweren Schädigungen im Bereich der Medulla oblongata tritt der Tod durch das Versagen von Herz-Kreislauf- und Atemfunktionen ein.
- Durch die **Brücke** ziehen die Verbindungen zwischen den Kleinhirnhemisphären sowie die Verbindungsstränge zwischen Großhirn und Rückenmark. Die Brücke beheimatet verschiedene Kerne von Hirnnerven, die vor allem den Kopfbereich versorgen.
- Das **Kleinhirn** stellt quasi ein Anhängsel des Gehirns im Hinterhaupt dar. Es ist in zwei Hemisphären untergliedert. Große Bedeutung kommt ihm bei der Feinabstimmung der Motorik zu. Außerdem hat es eine wichtige Funktion bei der klassischen Konditionierung und beim Erlernen von automatisierten Handlungsabläufen.
- Die **Formatio reticularis** ist ein Netz von Neuronen, das den Hirnstamm durchzieht. Ihre wichtigsten Kerngebiete sind die serotonergen Raphe-Kerne und der noradrenerge Locus coeruleus. Die Formatio reticularis ist als steuerndes Netzwerk durch zahlreiche auf- und absteigende Bahnen mit nahezu allen wichtigen Hirnregionen, vor allem aber der Hirnrinde verbunden. Die Aufgabe der Formatio reticularis besteht insbesondere in der Regulation der allgemeinen Aktivität der Hirnrinde sowie der motorischen Grundfunktionen. Außerdem ist sie bei der Steuerung der wichtigsten Körperfunktionen (Atmung, Schlucken und Kreislauf) beteiligt.
- Das **Mittelhirn** besteht – von dorsal nach ventral – aus den drei Anteilen Tectum (Dach), Tegmentum (Haube) und Crura cerebri (Hirnschenkel). Das Tectum beinhaltet die Vierhügelplatte mit den Colliculi superiores (Verschaltung für optische Reflexe) und den Colliculi inferiores (Umschaltstelle für akustische Information vom Innenohr).
- Das **Tegmentum** enthält wichtige Kerngruppen des III. und IV. Hirnnervs (Nervus oculomotorius und Nervus trochlearis), der Formatio reticularis sowie den Nucleus ruber und die Substantia nigra (beide Bestandteile des motorischen Systems). Die Crura cerebri werden im Wesentlichen von motorischen Bahnsystemen gebildet, die vom Kortex absteigen und zu den Hirnnervenkernen, dem Rückenmark und dem Pons laufen.
- Der **Thalamus** dient als wichtiges sensorisches Umschaltzentrum, das die Information aus den Sinnesorganen filtert (»Tor zum Bewusstsein«). Darüber hinaus hat er Aufgaben im Zusammenhang mit der motorischen Koordination und der Schmerzwahrnehmung sowie höherer psychischer Funktionen.
- Der **Hypothalamus** enthält eine Reihe von Kerngebieten, die der Steuerung vegetativer Funktionen dienen. Er ist damit u. a. für die Regulation lebenswichtiger Funktionen wie Atmung, Kreislauf, Nahrungs- und Flüssigkeitsaufnahme und Körpertemperatur verantwortlich. Sympathikus und Parasympathikus unterliegen

der Steuerung durch den Hypothalamus. Über die Hypophyse vermag er auch auf hormonellem Wege regulierend auf zahlreiche Körperfunktionen einzuwirken. Aufgrund seiner engen Verbindungen zu den vegetativen Organen ist er von großer Bedeutung z.B. für emotionsbegleitende Körperprozesse.

- Die **Hypophyse** schüttet Hormone in den Blutstrom aus. Der Hypophysenvorderlappen empfängt hypothalamische Releasing- und Inhibitinghormone. Diese wiederum steuern die Ausschüttung der Vorderlappenhormone in den Blutkreislauf. Der Hypophysenhinterlappen stellt eine Durchgangsstation für die Hormone Vasopressin und Oxytocin dar. Diese werden im Hypothalamus gebildet und via Hypophysenhinterlappen in den Blutkreislauf abgegeben.
- Wichtigstes Organ des Epithalamus ist die **Epiphyse** (Zirbeldrüse), die das Hormon Melatonin produziert und damit an der Schlaf-Wach-Regulation beteiligt ist. Der Subthalamus steht in enger Verbindung mit den Basalganglien und erfüllt wie diese vor allem Aufgaben in Zusammenhang mit der motorischen Steuerung.
- Das Endhirn besteht aus den **Basalganglien** (Endhirnkerne, Stammganglien) und dem **Großhirnmantel** (Pallium, Kortex). Die Basalganglien 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 sind unabdingbar für eine reibungslos und koordiniert verlaufende Bewegungsausführung, indem sie die motorischen Impulse des Kortex in vielfacher Weise modulieren. Dies geschieht durch eine komplexe Verschaltung mit (überwiegend) hemmenden und erregenden Anteilen. Kommt es zu einer chronischen Dysfunktion der Basalganglien, ist als Konsequenz mit schwerwiegenden Krankheiten im Bereich der Motorik zu rechnen (u. a. Parkinson- Krankheit, Chorea Huntington).
- Der **Kortex** (Pallium, Hirnmantel) besteht aus grauer (Zellkörper) und weißer Substanz (Bahnen, Zellfortsätze). Die graue Substanz lässt sich histologisch in Isokortex (sechs Schichten von Nervenzellen), Allokortex (drei bis fünf Schichten) und einzelne Kerngebiete aufteilen.
- Die tiefer gelegenen Kortexanteile und Kerne werden überwiegend als **limbisches System** 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. Die **Amygdala** spielt insbesondere beim Erleben von Angst und für die Speicherung emotionaler Gedächtnisinhalte eine wichtige Rolle.
- Der **Neokortex** ist die äußerste Neuronenschicht des Gehirns. Hier sind sehr viele Nervenzellen auf komplexe Weise verschaltet, was enorme informationsverarbeitende Leistungen ermöglicht. Man unterteilt den Neokortex in vier Lappen: den Frontal-, Temporal-, Parietal- und Okzipitallappen. Der **Frontallappen** erfüllt vor allem Aufgaben in Zusammenhang mit der Motorik – auch der Sprachmotorik im Broca-Areal – sowie im präfrontalen Bereich komplexe Funktionen des Arbeitsgedächtnisses, der Handlungsplanung, Motivation und Persönlichkeit. Am **Temporallappen** endet die Hörbahn. Außerdem findet sich hier das sensorische Sprachzentrum (Wernicke-Areal). Der **Parietallappen** beinhaltet insbesondere die somatosensiblen Kortexareale. Im **Okzipitallappen** findet sich der visuelle Kortex. Zahlreiche andere differenzierte Aufgaben können bestimmten Kortexarealen zugeordnet werden. Die weiße Substanz enthält Nervenzellfortsätze, 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.



**Kapitel 7 – Steuerung vegetativer Funktionen**

- Das **vegetative Nervensystem** ist das Steuerungs- und Regulationsinstrument für die Funktionen der inneren Organe. Eine seiner Hauptaufgaben ist die Aufrechterhaltung der Homöostase. Es beinhaltet sympathische und parasympathische Anteile sowie das enterische (Darm-)Nervensystem. Sympathikus und Parasympathikus lassen sich als funktionelle »Gegenspieler« betrachten. Der Sympathikus erfüllt eher ergotrope (Leistungs-)Funktionen, d. h., er tritt insbesondere bei Anspannung, körperlicher Aktivität und Stress in Aktion. Der Parasympathikus erfüllt dagegen trophotrope (regenerierende) Funktionen; er wird vorwiegend während körperlicher Ruhephasen aktiv.
- Bei der neuronalen Transmission im **Sympathikus** und **Parasympathikus** unterscheidet man einen präganglionären Anteil (Zellkörper des Neurons im Rückenmark oder Hirnstamm) und einen postganglionären Anteil (Zellkörper des Neurons in einem peripheren Ganglion). Die Zellkörper der präganglionären Neuronen des Sympathikus sind vorwiegend im thorakolumbalen Seitenhorn des Rückenmarks anzutreffen. Die Zellkörper der postganglionären Neuronen befinden sich entweder in den Ganglien im Grenzstrang neben der Wirbelsäule oder in prävertebralen Ganglien außerhalb des Grenzstrangs.
- Der präganglionäre Neurotransmitter im Sympathikus ist Acetylcholin, der postganglionäre Noradrenalin. Die Membran des postganglionären Neurons besitzt nikotinerge Rezeptoren, während die Erfolgsorgane unterschiedliche Kombinationen  $\alpha$ - und  $\beta$ -adrenerger Rezeptoren aufweisen. Die jeweilige Rezeptorausstattung bestimmt die (teilweise entgegengesetzte) Wirkung.
- Die präganglionären Neuronen des Parasympathikus befinden sich zu einem Teil im Hirnstamm (kranialer Anteil), von wo sie sich über vier Hirnnerven (Nervus oculomotorius (III), Nervus facialis (VII), Nervus glossopharyngeus (IX) und Nervus vagus (X)) zu den parasympathischen Ganglien der Brust- und Bauchorgane erstrecken. Der andere Teil entspringt dem Sakralmark und innerviert die Ganglien im Bereich der Urogenitalorgane und des unteren Bauchraums. Alle parasympathischen Neuronen (prä- und postganglionär) verwenden Acetylcholin als Transmittersubstanz. Die Ganglienneuronen besitzen auch hier nikotinerge Rezeptoren, während das Erfolgsorgan mit unterschiedlichen muskarinergen Rezeptortypen ausgestattet ist. Die Ganglien des Parasympathikus befinden sich im Gegensatz zu den paravertebralen Ganglien des Sympathikus in nächster Nähe des Erfolgsorgans oder in dessen Wänden.

## Kapitel 8 – Hormonsystem

- Lipophile Hormone können die Zellmembran aus Phospholipiden passieren und so direkt in die Zelle gelangen. Sie gehen danach Verbindungen mit Rezeptoren im Zytoplasma oder im Zellkern ein. Hydrophile Überträgerstoffe können nicht direkt in die Zelle eintreten. Sie docken an der Außenseite der Membran an einem Rezeptor an. Über Second- Messenger-Prozesse entfalten sie i.Allg. ihre Wirkung im Zellinneren. Im Zellinneren kann die Hormonwirkung dann z.B. zum vermehrten Aufbau von Proteinen führen.
- Je nach dem räumlichen Verhältnis von Sender- zu Empfängerzelle bzw. deren Klassen werden verschiedene Arten der Signalübertragung unterschieden:
- Bei der **autokrinen** Signalübertragung wirkt eine Zelle durch den sezernierten Botenstoff auf sich selbst zurück.
- Als **parakrinen** Übertragungsmodus bezeichnet man die Wirkung eines Hormons auf Zellen, die der sezernierenden Zelle benachbart sind.
- Bei der **endokrinen** Informationsübertragung werden Hormone von bestimmten Zellen sezerniert, die häufig als Hormondrüse zusammenwirken. Ihre Wirkung entfalten sie in weiter entfernten Zielzellen, die sie über die Blutbahn erreichen.
- Bei der **neuroendokrinen** Übertragung sind die Senderorgane endokrine Drüsen und die Empfänger sind Neuronen.
  - Dienen Nervenzellen als Senderzellen, spricht man von neurokriner Übertragung.
- Aufgrund ihrer chemischen Struktur kann man vier **Hormonklassen** unterscheiden:
  - (1) Peptidhormone sind aus einer Sequenz von Aminosäuren aufgebaut.
  - (2) Aminosäurederivate sind kleine Moleküle, die durch geringe Modifikationen aus Aminosäuren hergestellt werden.
  - (3) Steroidhormone sind Abkömmlinge des Cholesterins. Wie dieses besitzen sie ein Grundgerüst aus vier Kohlenstoffringen (Steran-Gerüst).
  - (4) Die aus der Fettsäure Arachidonsäure hergestellten Fettsäurederivate (Eikosanoide) haben vor allem als Gewebehormone eine große Bedeutung.
- Die **hormonelle Aktivität** kann auf verschiedene Arten reguliert werden:
  - Bei der Produktion der Hormone kann durch Ein- und Abschalten von Genen der Syntheseprozess reguliert werden.
  - Die Aktivität bestimmter Synthesenzyme kann verändert werden.
  - Hormone können an Speicher- und Transportproteine gebunden und dabei inaktiviert sein. Erst nachdem sie von diesen abgespalten wurden, können sie ihre Aktivität entfalten.
  - Die Geschwindigkeit des Abbaus und damit der Inaktivierung von Hormonen kann über die Aktivierung oder Inhibierung der Abbauenzyme reguliert werden.
- In der **Bauchspeicheldrüse** (Pankreas) werden zwei wichtige Hormone des Stoffwechsels synthetisiert: Das Insulin ist das wichtigste anabole Hormon, das nach Nahrungsaufnahme zum Wiederauffüllen der Körperspeicher mit Glukose und für regenerative Prozesse notwendig ist. Das Glukagon ist sein Gegenspieler, der bei niedrigem Blutzuckerspiegel Glukose freisetzt und damit Brennstoff für energieverbrauchende (katabole) Vorgänge darstellt. Das bedarfsgerechte Zusammenspiel beider Hormone ist lebensnotwendig.
- Die Hormone der **Schilddrüse** Trijodthyronin und Thyroxin steigern den Grundumsatz des Körpers und die Aktivität des Herzens und werden für Wachstumsprozesse benötigt. Bei einer Unterfunktion der Schilddrüse z. B. aufgrund Jodmangels entsteht meist eine pathologische Vergrößerung der Schilddrüse (Kropf) und der Grundumsatz der Patienten ist reduziert. Bei Jodmangel während des Wachstums zeigen sich körperliche und geistige Entwicklungsstörungen (Kretinismus). Dagegen sind Patienten mit Schilddrüsenüberfunktion hyperaktiv und sehr schlank (z. B. beim Morbus Basedow). Die Synthese und Sekretion der Schilddrüsenhormone unterliegt der Hypothalamus-Hypophysen-Steuerung.

- Das **Nebennierenmark** vermittelt einen Teil der Sympathikuswirkungen durch Sekretion der Hormone Adrenalin und Noradrenalin in die Blutbahn. Über verschiedene Rezeptortypen (Adrenozeptoren) steigern sie z. B. die Herzkraft und den Herzschlag und erhöhen den Blutdruck. Darüber hinaus erweitern sie die Bronchien und hemmen die Aktivität des Magen-Darm-Traktes.
- Die **Nebennierenrinde** produziert in ihren drei Schichten drei Klassen von Steroidhormonen:
  - (1) Die **Glukokortikoide** (z.B. Kortisol) sind wichtige Hormone der Stressreaktion, die u.a. Blutzucker bereitstellen und Entzündungen hemmen können.
  - (2) Die **Mineralokortikoide** (vor allem Aldosteron) wirken in der Niere antidiuretisch, indem sie die Wasserrückresorption steigern.
  - (3) Die dritte Schicht produziert vor allem **Androgene** (männliche Sexualhormone).
- Der Kalzium- und Phosphatstoffwechsel wird durch drei Hormone – Kalzitronin, Parathormon und Kalzitriol – gesteuert. Diese Regulation ist vor allem für den Knochenaufbau sowie für die Kalziumbereitstellung von Bedeutung. Die Epiphyse produziert Melatonin, das für zirkadiane Prozesse, insbesondere den Schlaf, eine Rolle spielt. Gewebeshormone werden in spezialisierten hormonproduzierenden Zellen verschiedener Gewebsarten gebildet. Ihre Wirkung beschränkt sich meist auf benachbarte Zellen. Hierzu zählen Fettsäurederivate (Eikosanoide), Serotonin und Histamin (biogene Amine) sowie Kinine.

## Kapitel 9 – Bewegung

- Die kleinste funktionelle Einheit des Skelettmuskels ist die **Skelettmuskelzelle** oder **Muskelfaser**. Mehrere dieser länglichen Zellen sind zu Faserbündeln zusammengefasst. Die zur Kontraktion befähigten Elemente in der Muskelfaser sind die sog. **Myofibrillen**. Mikroskopisch weisen sie im Skelett- oder Herzmuskelgewebe eine Querstreifung auf. Die kontraktile Einheit der Myofibrille ist das Sarkomer.
- Bei **Aktivierung der Muskelfaser** durch eine Verschiebung des Membranpotenzials kann nach Kalziumeinstrom in die Muskelzelle – im Skelettmuskel v. a. aus dem sarkoplasmatischen Retikulum – die Verschiebung der Aktin- und Myosinfilamente der Myofibrillen gegeneinander stattfinden und damit eine Verkürzung der Muskelfaser (Kontraktion) erreicht werden. Für diesen Vorgang wird **ATP** als Energieträger benötigt. Die glatte Muskulatur zeigt keine Querstreifung. Hier sind die Zellen kürzer und spindelförmig. Die Fasern sind netzartig vermascht, weshalb der glatte Muskel sich weniger stark verkürzen kann als der Skelettmuskel. Ansonsten entspricht der Kontraktionsvorgang elektrochemisch demjenigen des Skelettmuskels: ein Ineinandergleiten der Aktin- und Myosinfilamente nach Kalziumeinstrom. Viele glatte Muskelzellen sind spontan depolarisierend, weshalb sie eine autonome rhythmische Kontraktion zeigen, die myogene Aktivität. Ein zweiter Typ glatter Muskelzellen steht unter neurogenem Tonus. Diese Zellen zeigen keine spontane Kontraktion, sondern werden nur durch vegetative Innervation zur Kontraktion veranlasst (z. B. die Pupillenmuskulatur). Viele glatte Muskelzellen bilden durch Gap Junctions elektrische Synapsen zu anderen glatten Muskelzellen aus. Durch diese können Ionen direkt von einer in die andere Zelle gelangen. Die Erregung kann dann schnell weitergeleitet werden, wodurch größere Einheiten aus mehreren Zellen gleichzeitig kontrahieren.
- Als motorische Einheit wird ein **Motoneuron** des ZNS (Hirnnervenkern oder Rückenmark) mit allen von ihm innervierten Muskelfasern (-zellen) bezeichnet. Ein Motoneuron innerviert i. Allg. mehrere Muskelfasern: Sein Axon spaltet sich gegen Ende in mehrere Axonkollaterale auf. Im Vorderhorn des Rückenmarks befinden sich die sog.  **$\alpha$ -Motoneuronen**, von denen die Skelettmuskulatur innerviert wird. Sie werden durch zahlreiche synaptische Verbindungen von absteigenden Neuronen (aus dem Gehirn), Interneuronen (des Rückenmarks) und sensorischen Afferenzen beeinflusst. Als Summe aller zu einem Zeitpunkt vorhandenen exzitatorischen und inhibitorischen postsynaptischen Potenziale kann sich ggf. am Axonhügel des Motoneurons ein Aktionspotential ausbilden, das sich zu den Muskelfasern dieser motorischen Einheit hin fortpflanzt. Die neuromuskuläre Synapse zwischen der Axonendigung und der Muskelfaser wird **motorische Endplatte** genannt. Eine Muskelfaser trägt im Regelfall nur eine motorische Endplatte, d. h., sie wird von nur einem Motoneuron innerviert. Der Transmitter der motorischen Endplatte ist Acetylcholin. Durch Acetylcholin wird an der Muskelfaser eine Depolarisation ausgelöst. Vermittels des folgenden Kalziumeinstroms kann der Muskel kontrahieren.
- Im Bewegungsapparat finden sich zwei charakteristische Rezeptoren, die Informationen über den Zustand des Muskels ins Rückenmark transportieren:
  - (1) Die **Muskelspindeln** bestehen aus spezialisierten Muskelfasern im Muskelgewebe. Sie können die Längenveränderung des Muskels registrieren. Ihr adäquater Reiz ist also die Dehnung des betreffenden Muskels. Über schnelle Ia- oder langsamere II-Fasern senden sie ihre Information zum Rückenmark. Durch  $\gamma$ -Motoneuronen können die Fasern der Muskelspindel selbst zur Kontraktion veranlasst werden. Dies dient einerseits der Voreinstellung der Muskelspindel, die damit auch bei bereits verkürztem Muskel ihre Funktion als Längenmesser des Muskels weiterhin wahrnehmen kann. Andererseits kann auch die durch  $\gamma$ -Motoneuronen bewirkte Verkürzung der Muskelspindel selbst eine Aktivierung der Sensoren der Spindel auslösen.
  - (2) In den **Sehnen** befindet sich der zweite spezielle Rezeptortyp: die Golgi-Sehnenorgane. Diese messen die Spannung des Muskels und werden daher bei Kontraktion des Muskels aktiviert. Die Golgi-Sehnenorgane leiten ihre Information über Ib-Fasern ins Rückenmark.
- Unter einem **Reflex** versteht man eine unwillkürliche, immer gleich ablaufende Antwort eines Organs (Muskel) auf einen bestimmten Reiz. Als **Reflexbogen** wird die Kette aus sensorischem Neuron, evtl. zwischengeschalteten Interneuronen, dem Motoneuron und dem von ihm innervierten Muskel bezeichnet. Man unterscheidet Eigen- und Fremdreflexe. **Eigenreflexe** sind solche, bei denen Reiz und Antwort in demselben Organ erfolgen. Hier erfolgt die Verschaltung vom afferenten Neuron zum Motoneuron über nur eine Synapse (monosynaptischer Reflex). **Fremdreflexe** (z. B. der Flexorreflex) sind polysynaptisch, da

zwischen Afferenz und Motoneuron hemmende oder aktivierende Interneuronen zwischengeschaltet sind. Beim Fremdreflex erfolgen Reiz und Reflexantwort in verschiedenen Organen.

- Das Prinzip der **reziproken Hemmung** besteht darin, bei Bewegung eines Muskels dessen Antagonisten über ein Interneuron zu hemmen, wodurch die Bewegung erleichtert wird. Diese reziproke Hemmung wird auch beim Muskeldehnungsreflex wirksam. Bei der rekurrenten oder Renshaw-Hemmung werden die sog. **Renshaw-Zellen** (hemmende Interneuronen) durch das aktivierte  $\alpha$ -Motoneuron über eine Kollaterale ebenfalls aktiviert und wirken daraufhin hemmend auf dieses zurück. Gleichzeitig kann über das hemmende Interneuron die reziproke Hemmung (des Antagonisten) gehemmt werden. So ist ein fein geregelter Spannungszustand zwischen Agonist und Antagonist herstellbar. Die **rekurrente Hemmung** unterliegt in besonderem Maße der absteigenden Modulation von höheren motorischen Zentren. Bei einem krankheitsbedingten Fehlen der Hemmung der spinalen Verschaltungen kann eine Überaktivierung der Motoneuronen und bestimmter spinaler Reflexe auftreten. Es entsteht eine übermäßige Anspannung der Muskulatur (Spastik).
- Die **Pyramidenbahn** im engeren Sinne besteht aus dem Tractus corticospinalis, d. h. aus Neuronen, deren Axone vom Kortex – hier insbesondere der primäre motorische Kortex – bis zu den spinalen Motoneuronen ziehen. Etwa 80% der Fasern kreuzen beim Absteigen in Höhe des Übergangs Medulla oblongata zum Rückenmark auf die andere Seite (**Pyramidenkreuzung**) und ziehen im Seitenstrang des Rückenmarks zum jeweiligen Rückenmarkssegment. Die restlichen 20% kreuzen erst nach dem Absteigen in Segmenthöhe zur anderen Seite. Die auffallend langen Fasern der Pyramidenbahn können ganz direkt Befehle aus dem Kortex mit hoher Leitungsgeschwindigkeit in motorische Aktivität umsetzen. Dies geschieht durch Aktivierung des  $\alpha$ -Motoneurons. **Schädigungen der Pyramidenbahn** führen zunächst zu schlaffen Lähmungen, später – durch fehlende absteigende Hemmung – zu Spastik und Hyperreflexie. Die **extrapyramidalmotorischen Bahnsysteme** sind uneinheitlich gegliedert. Der Tractus rubrospinalis geht vom Nucleus ruber aus und wirkt auf Motoneuronen im Rückenmark, insbesondere die der distalen Flexoren. Der Tractus vestibulospinalis dient vor allem der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts. Das Kleinhirn erfüllt zahlreiche Funktionen innerhalb der motorischen Steuerung. Durch Afferenzen aus dem Rückenmark und Efferenzen zum Motorkortex kann es die Feinabstimmung von Bewegungsentwürfen erreichen. Beim Stehen und Gehen erhöht es die Stabilität und erhält das Gleichgewicht durch seine Efferenzen zu den Vestibulariskernen. Außerdem kann es durch Rückenmarksafferenzen und Efferenzen zum Nucleus ruber sowie zu Kernen der Retikulärformation den Muskeltonus und die Bewegungsabläufe der Extremitäten fein modulieren. Die Basalganglien stellen ein vielfach verschaltetes Netzwerk hemmender und aktivierender Kerngebiete dar. Wichtige Aufgaben sind die Überprüfung und Modulation von Bewegungsentwürfen. Insbesondere der hemmende Einfluss des Striatums ist für fein koordinierte Bewegungen der unterschiedlichen Muskelgruppen notwendig.
- Unter den **motorischen Arealen** versteht man diejenigen Kortexareale, die im engeren Sinne mit der Organisation und Durchführung von motorischer Aktivität befasst sind, d. i. der primär-motorische Kortex, der prämotorische Kortex, der supplementär-motorische Kortex und der posterior-parietale Kortex. Im primären motorischen Kortex finden sich rechtsseitig Repräsentationen von Muskelgruppen der linken Körperseite und umgekehrt. Der primäre motorische Kortex schickt die motorischen Befehle ab, die dann über die Neuronen des Rückenmarks (bzw. der Hirnnervenkerne) die Muskulatur erreichen. Wichtigstes Bahnsystem von hier aus ist die Pyramidenbahn.
- Der **prämotorische Kortex** wirkt vor allem auf Muskelgruppen, die dem Rumpf nahe sind. Er steuert ebenfalls komplexere Folgen von Körperbewegungen. Der supplementär-motorische Kortex repräsentiert primär wesentliche, gut gelernte Bewegungsprogramme. Er ist für das Erlernen von Bewegungsfolgen und ihre mentale Vorbereitung wichtig. Der posterior-parietale Kortex spielt hauptsächlich bei denjenigen komplizierten Bewegungsfolgen eine Rolle, die durch vielfältige sensorische Information gesteuert werden. Dies betrifft v. a. die Planung und die Umsetzung von komplexen Bewegungsprogrammen im Raum.

## Kapitel 10 – Allgemeine Sinnesphysiologie

- Unter **Wahrnehmung** versteht man die Verknüpfungen einer Sinnesempfindung mit Inhalten der Erfahrung und mit Informationen aus anderen Sinnesmodalitäten. Wahrnehmung ist also immer subjektiv getönt. Sie läuft i. Allg. automatisch und ohne bewusste Steuerung ab. Das Sinneserleben vollzieht sich innerhalb verschiedener Modalitäten. Diese beziehen sich auf die Grundqualitäten der Empfindung.
- Die **Sinnesmodalitäten** sind auf der biologischen Ebene in Form unterschiedlicher neuronaler Sinnesbahnen repräsentiert. Eine mögliche Klassifikation ist: Sehen, Hören, Riechen, Schmecken, Tasten, Temperaturempfinden, Gleichgewichtssinn, Bewegungsempfinden und Schmerzempfinden.
- Die **Psychophysik** studiert die quantitativen Beziehungen zwischen physikalischen Reizeigenschaften und der Repräsentation des Reizes auf der Ebene der subjektiven Wahrnehmung. Eine wesentliche Frage der Psychophysik ist z. B., wie die physikalischen Eigenschaften eines Reizes beschaffen sein müssen, damit dieser überhaupt bewusst als Reiz wahrgenommen werden kann. Als **Wahrnehmungsschwelle** wird die Reizstärke bezeichnet, bei der ein Reiz gerade eben wahrgenommen wird. Beispiele für klassische Methoden der experimentellen Schwellenbestimmung sind die **Grenzmethode**, die **Konstanzmethode** und die **Herstellungsmethode**. Ein anderer wichtiger Schwellentyp der Psychophysik ist die **Unterschiedsschwelle**, d. h. der Abstand zwischen zwei Reizintensitäten, bei denen gerade eben ein Unterschied wahrgenommen werden kann. Die Unterschiedsschwelle hängt in ihrer Größe vom Absolutwert der Reizintensitäten ab – bei kleinen Reizintensitäten ist dieser geringer als bei großen.
- Das **Weber-Gesetz** beschreibt den Zusammenhang zwischen Referenzreiz ( $S$ ) und Reizunterschied ( $\Delta S$ ) als:  $\Delta S / S = K$
- Fechner erweiterte das Weber-Gesetz zum (Weber-) **Fechner-Gesetz**. Es ist eine Funktion aus wahrgenommener Reizintensität ( $W$ ), physikalischer Reizintensität ( $S$ ) und der physikalischen Intensität des Reizes an der Absolutschwelle ( $S_0$ ):  $W = c (\log S/S_0)$ .
- Im **Stevens-Gesetz** wird der Zusammenhang zwischen subjektiver und objektiver Reizstärke durch eine Exponentialfunktion beschrieben:  $W = c S^n$ . Dabei ist  $W$  = die wahrgenommene Reizstärke,  $S$  = die physikalische Reizintensität,  $c$  = eine Konstante und  $n$  = eine Größe, die für jede Sinnesmodalität einen typischen Wert besitzt. Dieser Wert bewegt sich ungefähr zwischen  $n = 0,2$  und  $n = 3,5$ .
- **Primäre Sinneszellen** wandeln ihr Sensorpotenzial direkt in ein Aktionspotenzial um (Transformation) und leiten es über ein eigenes Axon mittels einer Synapse an eine nachgeschaltete Nervenzelle weiter. Derartige primäre Sinneszellen sind Berührungszellrezeptoren der Haut und Riechzellen der Nasenschleimhaut. **Sekundäre Sinneszellen** (visuelle, akustische, gustatorische und vestibuläre Sensorzellen) sind selbst nicht zur Transformation befähigt und besitzen kein Axon. Ihr Sensorpotenzial bewirkt über chemische Transmitter an einem nachgeschalteten Neuron eine Potenzialverschiebung, die im Falle der Überschwelligkeit ein Aktionspotenzial generiert. Bei der Transformation sind also hier zwei Zellen beteiligt. Für **Transduktion** und **Transformation** gelten folgende Sachverhalte:
  - (1) Zur Auslösung eines Sensorpotenzials (Transduktion) ist das Erreichen eines Schwellenwertes erforderlich.
  - (2) Die Frequenzkodierung bei der Transformation des Sensorpotenzials in ein Aktionspotenzial folgt keinem linearen Zusammenhang. Dadurch gibt es Bereiche mit besonders hohem Auflösungsvermögen.
  - (3) Die Frequenz der Aktionspotenziale ist durch die Refraktärzeit begrenzt (maximal 500–1.000 Aktionspotenziale pro Sekunde), weshalb bei sehr hohen Reizintensitäten ein Sättigungseffekt beobachtbar ist.

**Kapitel 11 – Somatosensorik**

- Die **Somatosensorik** wird in drei Bereiche untergliedert:
  - (1) Sensorik der Körperoberfläche
  - (2) Sensorik des Bewegungsapparats
  - (3) Sensorik aus den inneren Organen
- Die **Haut** beherbergt unterschiedliche Sensortypen. Dazu gehören:
  - die Merkel-Tastzellen mit einer hohen Empfindlichkeit für Deformation
  - die Meissner-Tastkörperchen u. a. zur Geschwindigkeitsdetektion
  - die Vater-Pacini-Lamellenkörperchen für Druckänderungen
  - die freien Nervenendigungen; diese sind in der Haut weit verbreitet und reagieren auf Deformationen
- Die rezeptiven Felder der verschiedenen **Mechanosensoren** sind unterschiedlich groß. Die kleinsten rezeptiven Felder haben die Merkel-Tastzellen und die Meissner-Körperchen.
- Der Informationsfluss aus der Körperperipherie zu den zerebralen Regionen geschieht über zwei verschiedene Leitungssysteme:
  - (1) Im **Hinterstrangsystem** (lemnisciales System) werden überwiegend Impulse von den Mechanosensoren der Haut und denjenigen des propriozeptiven Apparats geleitet. Dieses System dient primär der detaillierten Unterscheidung von Reizeigenschaften und Einwirkungsarten.
  - (2) Im **Vorderseitenstrangsystem** (extralemnisciales System) werden Schmerz- und Temperaturreize geleitet. Die hier fortgeleiteten Informationen lösen eher unspezifische Reaktionen aus.
- Zur Unterscheidung der beiden prinzipiellen **Temperaturmodalitäten** warm und kalt besitzen wir zwei verschiedene Sensortypen. Die Kaltsensoren sind in der Haut i.Allg. dichter angeordnet als die Warmsensoren. Beide Sensortypen sind schnell adaptierend, sie reagieren also primär auf Temperaturveränderungen. Die Weiterleitung von Temperatursignalen geschieht im Vorderseitenstrangsystem. Das kortikale Projektionsgebiet für Thermoreize liegt im somatosensorischen Kortex.
- Die **Tiefensensibilität** umfasst die Wahrnehmung der Stellung der Gliedmaßen, ihrer Bewegungen und des Kraftaufwandes der Muskulatur. Die diesbezüglichen Reize werden von Sensoren in den Gelenken, den Muskeln und der Haut aufgenommen. Der Tiefenschmerz kann durch unphysiologische Zustände in verschiedenen Gewebsarten des Körperinneren, v.a. im Bewegungsapparat, ausgelöst werden.

## Kapitel 12 – Visuelles System

- **Licht** ist eine Form elektromagnetischer Energie, die sich wellenförmig ausbreitet. Die Helligkeit eines Lichtreizes wird durch die Amplitude der elektromagnetischen Welle definiert, die Farbe durch die Wellenlänge. Das Sehen besteht auf der Ebene des Auges aus einem zweistufigen Prozess:
  - (1) optische Verarbeitung der Lichtwelle zum Zwecke der Bündelung und zur Fokussierung des Abbildes auf der Netzhaut und
  - (2) Analyse des Netzhautbildes auf neuronalem Wege.
- Das **optische System** dient dazu, das Abbild des Reizes zentral und zugleich möglichst scharf auf die Netzhaut zu werfen.
- Wegen der lichtbrechenden Eigenschaften von Hornhaut und Augenlinse können die Lichtstrahlen auf der Netzhaut fokussiert werden. Die Brechkraft der Augenlinse kann durch Verstellung des Krümmungsradius (**Akkommodation**) variiert werden. Die einfallende Lichtmenge wird durch Veränderung der Pupillenöffnung reguliert.
- Die **Retina** besitzt fünf Schichten von signalverarbeitenden Zellen:
  - (1) Photorezeptorzellen (Zapfen und Stäbchen)
  - (2) Horizontalzellen
  - (3) Bipolarzellen
  - (4) amakrine Zellen
  - (5) Ganglienzellen
- Im Bereich der **Sehgrube** befinden sich allerdings ausschließlich Zapfen. An der Austrittsstelle des Sehnervs, dem blinden Fleck, fehlen die Photorezeptoren. Die Photorezeptoren sind primäre Sinneszellen. Die Zapfen dienen dem **photopischen Sehen** (»Tagesehen«), die Stäbchen dem **skotopischen Sehen** (»Dämmerungssehen«). Stäbchen und Zapfen sind prinzipiell ähnlich aufgebaut und der Phototransduktionsprozess läuft bei beiden in ähnlicher Weise ab. Bei Lichteinfall kommt es zu einer Hyperpolarisation der Membranen bei Zapfen und Stäbchen. Im Zuge der Dunkeladaptation vermag das Sehsystem seine Empfindlichkeit um einen Faktor zwischen einer und zehn Millionen zu steigern. Die photochemische Ursache für die hohe Leistung bei Dunkeladaptation ist die zunehmende (Re-)Synthese der Pigmente in den Stäbchen und Zapfen.
- Die **Ganglienzellen der Netzhaut** erhalten Information von ihren jeweiligen rezeptiven Feldern. Die rezeptiven Felder der meisten Ganglienzellen besitzen eine besondere Charakteristik: ein kreisförmiges Zentrum, das von einem ringförmigen Umfeld umgeben ist. Man unterscheidet:
  - Ganglienzellen mit einem **On-Zentrum**: Hier bewirkt ein ins Zentrum fallender Lichtpunkt eine Aktivierung, ein Lichtpunkt in der Umgebung eine Hemmung.
  - Ganglienzellen mit einem **Off-Zentrum**: Ein Lichtpunkt im Zentrum führt zu einer Hemmung, ein Punkt in der Umgebung zieht eine Aktivitätssteigerung nach sich.
- Ganglienzellen vom **magnozellulären** Typ besitzen große Zellkörper. Sie reagieren besonders auf Bewegungen, sind jedoch farbunempfindlich. Sie haben große rezeptive Felder.
- **Parvozelluläre** Ganglienzellen sind relativ kleine Zellen mit kleinen rezeptiven Feldern. Sie sind besonders farbempfindlich und antworten anhaltend auf konstante Lichtreize. Ihre Aufgabe ist in erster Linie die Mustererkennung und das Farbsehen.
- **Koniozelluläre** Ganglienzellen sind klein, uneinheitlich in ihrer Gestalt und für verschiedenartige, zumeist reflexhaft ablaufende Aufgaben zuständig.
- In der Netzhaut existieren drei Typen von **Zapfen**, die sich hinsichtlich ihrer Sehfärbstoffe unterscheiden. Dies ist die Grundlage des Farbsehens. Auf der Ebene der Ganglienzellen findet eine differenzierte Weiterverarbeitung der Farbinformation statt, die u. a. der Verstärkung von Farbkontrasten und der Feinanalyse von Farbtönen dient.



- Die verschiedenen Formen von **Farbenblindheit** kommen überwiegend durch Defekte im Photorezeptorsystem zustande. Man unterscheidet die Dichromasie, die anomale Trichromasie und die Achromasie.
- Zu den **Gehirnregionen**, die mit der Analyse visueller Reize befasst sind, gehören der Corpus geniculatum laterale des Thalamus, der primäre visuelle Kortex (striärer Kortex, V1) und weitere kortikale Regionen. V1 ist in Säulen organisiert, in denen jeweils für einen bestimmten Netzhautbereich die Eigenschaften des hier auftreffenden Lichtreizes kodiert werden. Außerdem erreichen Axone der retinalen Ganglienzellen die Colliculi superiores des Mittelhirns. Der Kortex beherbergt verschiedene visuelle Areale, die darauf spezialisiert sind, eine oder mehrere Merkmale der visuellen Information (Farbe, Bewegung) zu verarbeiten.
- **Tiefenwahrnehmung** geschieht auf der Basis verschiedener Prozesse. Dabei spielen z. B. die wahrgenommene Größe eines Objekts, dessen Farbtönung und die perspektivischen Eigenschaften einer Szene eine Rolle. Komplexe Verrechnungsprozesse der Unterschiede in den Netzhautabbildern zwischen linkem und rechtem Auge tragen ebenfalls zur Tiefenwahrnehmung bei.

**Kapitel 13 – Gehör**

- **Geräusche** sind die Folge der Schwingung von Objekten, die sich auf Luftmoleküle überträgt. Dadurch entstehen Bereiche komprimierter und dekomprimierter Luft, die sich wellenförmig von der Schallquelle weg ausbreiten. Die Frequenz dieser Welle bestimmt die Tonhöhe, ihre Amplitude die Lautstärke. Reine Töne sind Schallwellen einer einzigen Frequenz.
- Das **menschliche Ohr** besteht aus drei Teilen:
  - (1) dem äußeren Ohr,
  - (2) dem Mittelohr und
  - (3) dem Innenohr.
- Das **äußere Ohr** dient der Aufnahme von Schallwellen und ihrer Fokussierung auf das Trommelfell, welches das äußere Ohr vom Mittelohr trennt.
- Das **Mittelohr** ist ein luftgefüllter Hohlraum, in dem sich die drei Gehörknöchelchen – Hammer, Amboss und Steigbügel – befinden. Zusätzlich zu der Schalleitung zwischen äußerem Ohr und innerem Ohr bewirkt das Gehörknöchelchensystem eine Verstärkung des Schalldrucks.
- Das **Innenohr** enthält neben den Sinnesorganen für den Gleichgewichtssinn die Cochlea. Diese besteht aus drei flüssigkeitsgefüllten Kanälen: der Scala vestibuli, der Scala media und der Scala tympani. Die Reiztransduktion findet im Corti-Organ statt, das sich auf der Oberfläche der Basilarmembran zwischen Scala media und Scala tympani befindet. Sensorzellen sind die Haarzellen, die Synapsen mit dem Hörnerv bilden. Die Haarzellen werden aktiviert, wenn die Flüssigkeit im Innenohr in Folge einer Schalleinwirkung in Bewegung, d. h. Schwingung gerät. Durch das Abbiegen der Haarzellen kommt es zu Potenzialschwankungen im Zellinneren.
- Nach einer Umschaltung in den Cochleariskernen erreicht ein Teil der akustischen Fasern die Oliva superior. Über den Lemniscus lateralis gelangt die akustische Information zu den Colliculi inferiores. Von hier ziehen die Fasern in das Corpus geniculatum mediale des Thalamus. Nach einer Umschaltung im Thalamus bilden die Fasern auf dem Weg zur primären Hörrinde die sog. Hörstrahlung. Die primäre Hörrinde einer Hemisphäre erhält Informationen aus beiden Cochleae. Auf der Höhe der Formatio reticularis entsenden zahlreiche Fasern Kollateralen. Dadurch kann bei lauten bzw. alarmierenden Tönen eine globale Erregung des Gehirns stattfinden.
- Die **Ortung von Schallquellen im Raum** geschieht aufgrund verschiedener Mechanismen:
  - (1) Laufzeitunterschiede zwischen dem linken und rechten Ohr
  - (2) Intensitätsunterschiede zwischen linkem und rechtem Ohr
  - (3) Analyse der Verzerrungen durch die Gestalt der Ohrmuschel. Diese Verzerrungen sind unterschiedlich je nach relativer Lage der Geräuschquelle zum Ohr.

**Kapitel 14 – Gleichgewichts-, Bewegungs- und Lagesinn**

- Das **Vestibularsystem** verarbeitet Informationen hinsichtlich der Lage und der Bewegung im Raum. Die Sinneszellen liegen im **Vestibularorgan**, das aus den **Bogengängen** und den **Makulaorganen** besteht. Innerhalb dieser Strukturen dienen **Haarzellen** der Reiztransduktion. Diese werden entweder durch Flüssigkeitsbewegungen (in den Bogengängen) oder durch die Abscherung infolge der Schwerkraft (Makulaorgane) aktiviert.
- Die Haarzellen bilden Synapsen mit Neuronen des **Vestibularnervs**. Von hier läuft die Information zu verschiedenen Regionen des Gehirns. Es findet auf unterschiedlichen zerebralen Ebenen eine Verschaltung mit Information aus anderen Sinnesorganen – z.B. dem Auge oder den Dehnungsrezeptoren der Muskeln und Gelenke – statt.

**Kapitel 15 – Riechen, Schmecken und der allgemeine chemische Sinn**

- **Olfaktorische Reize** sind in Luft enthaltene Moleküle eines Geruchsstoffs. Fast alle Gerüche liegen gemischt vor, es gibt keine Elementargerüche. Der Mensch besitzt ein Unterscheidungsvermögen für bis zu 10.000 verschiedene Geruchsnoten. Das Riechsystem ist außerordentlich empfindlich; i.Allg. genügen wenige Moleküle eines Duftstoffs, um eine Riechsinneszelle zu erregen. Das Riechsystem zeigt ausgeprägte Adaptation.
- Olfaktorische Sensoren sind **primäre Sinneszellen**. Sie sind in das **Riechepithel** im hinteren, oberen Teil der Nasenhöhle eingebettet. Die olfaktorischen Sinneszellen sind Nervenzellen, die ständig neu gebildet werden. Ihre Axone ziehen zum **Bulbus olfactorius**. Dessen Axone ziehen als Riechbahn zum Riechhirn. Pheromone sind Duftstoffe, die der »Kommunikation« zwischen Individuen derselben Spezies dienen können. Bei vielen Säugetieren, möglicherweise auch bei Menschen, existiert ein zweites »Geruchsorgan«, das **vomeronasale Organ (VNO)**. Dieses dürfte speziell der Aufnahme von Pheromonen dienen.
- Die **Geschmacksqualitäten** sind süß, sauer, salzig, bitter, umami und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch fettig. Aus diesen »reinen« Grundqualitäten setzen sich unsere Geschmacksempfindungen zusammen. Die Intensität eines Geschmacks wird durch die Konzentration des Geschmacksstoffs, durch seine Temperatur und die Einwirkdauer beeinflusst. Die Qualität hängt sowohl von der chemischen Struktur des Geschmacksmoleküls ab als auch von der Konzentration des Stoffs. Die Schwellen für die verschiedenen klassischen Grundqualitäten des Geschmacks sind sehr unterschiedlich. Für bitter schmeckende Stoffe sind wir am sensibelsten. Bei anhaltender Exposition mit Geschmacksstoffen tritt Adaptation auf. Findet eine längere Reizung mit einem bestimmten Geschmacksstoff statt, kann dies zu Geschmacksnachbildern führen.
- Die **Geschmackssensoren** sind in **Geschmacksknospen** zusammengefasst. Diese sind zumeist eingebettet in die **Geschmackspapillen**. Die größte Zahl an Geschmacksknospen findet sich auf der Zunge, überwiegend an den Zungenrändern. In allen geschmackssensitiven Bereichen der Zunge finden sich auch alle Typen von gustatorischen Sinneszellen, allerdings in unterschiedlicher Dichte. Die Geschmacksknospen unterliegen einem ständigen Erneuerungsprozess mit einer Zyklusdauer von ca. 10 Tagen. In den Geschmacksknospen sind im Durchschnitt etwa 50 Sinneszellen lokalisiert. Diese sind sekundäre Sinneszellen.
- Die Axone des ersten Neurons der **Geschmacksbahn** (Geschmacksneuron erreicht über den VII., IX. und X. Hirnnerv das Gehirn. Eine wichtige Umschaltstelle ist der Nucleus tractus solitarii. Von hier aus werden Reflexe, die mit dem Verdauungsvorgang gekoppelt sind, ausgelöst. Aufsteigende Fasern erreichen den Thalamus, den Hypothalamus sowie das limbische System. Vom Thalamus projizieren Fasern in die primäre Geschmacksrinde (im Gyrus postcentralis).

**Kapitel 16 – Schmerz**

- **Nozizeptoren** sind freie Nervenendigungen von langsam leitenden A $\delta$ - und C-Fasern.
  - Nozizeptoren für noxische mechanische Reize werden durch extreme Deformation des Gewebes bzw. durch hohen mechanischen Druck erregt.
  - **Thermonozizeptoren** der Haut haben eine Schwelle von ca. 45 °C. In diesem Bereich liegt auch die Hitzeschmerzschwelle.
- **Chemosensible Nozizeptoren** können z. B. durch Bradykinin, Kaliumionen, Acetylcholin, Histamin, Prostaglandine, Serotonin und Wasserstoffionen aktiviert werden.
- Bei **Entzündungen** reichern sich sog. Entzündungsmediatoren (Prostaglandine, Histamin, Substanz P) an. Es können aber auch schmerzhemmende Prozesse wie die vermehrte Bildung von Opioidrezeptoren ablaufen.
- **Unimodale Nozizeptoren** reagieren nur auf eine einzige Art der Einwirkung, z. B. auf mechanische Reize hoher Intensität. **Polymodale Nozizeptoren** sprechen auf zwei oder drei verschiedene Reizklassen an. Die meisten Nozizeptoren der Haut, der Muskeln und der Gelenke sind polymodal: Sie werden sowohl durch mechanische als auch chemische Reize aktiviert. Nozizeptoren sind i. Allg. pseudounipolare Nervenzellen.
- Die **Zellkörper** der Nozizeptoren liegen in den Spinalganglien des Rückenmarks bzw. im Ganglion trigeminale des Gehirns. Das **zweite Neuron** der Schmerzbahn hat den Zellkörper im Hinterhorn des Rückenmarks bzw. im Trigeminskern. Im Rückenmark findet Informationsübertragung entweder auf die aufsteigenden Strangzellen oder auf Interneuronen statt, die Verschaltungen auf Rückenmarksebene herstellen. Das Axon einer Strangzelle durchzieht das Rückenmark im Vorderseitenstrang, um dann die Information an verschiedene Gehirnregionen weiterzugeben, u. a. an die Formatio reticularis, das periaquäduktale Grau, den Hypothalamus, das limbische System und v. a. den Thalamus. Der **Zellkörper des dritten Neurons** der schmerzleitenden Bahn findet sich entweder innerhalb der Formatio reticularis (im medialen Bereich), den Colliculi inferiores und superiores oder in verschiedenen Thalamuskernen. Aus dem Thalamus projizieren die dritten Neuronen der Schmerzbahn v. a. in den primären und sekundären somatosensorischen Kortex. Die Inselrinde dürfte als Zielgebiet vor allem von viszeralen Schmerzprojektionen erreicht werden.
- Es existieren verschiedene **Mechanismen für aktive Schmerzhemmung**. Die meisten Neuronen, die direkte schmerzhemmende Impulse vermitteln, schütten endogene Opioide aus. Eine der schmerzdämpfenden Wirkungen der endogenen Opioide besteht darin, dass sie die Freisetzung von Neurotransmittern unterdrücken, die bei der Schmerzleitung beteiligt sind (z. B. Substanz P). Im nozizeptiven System finden sich die wichtigsten Transmitter, die auch im übrigen Nervensystem präsent sind. Auf die Schmerzleitung wirken primär fördernd Substanz P, Neurokinin A und Glutamat. Eine eher schmerzhemmende Wirkung haben Serotonin, Noradrenalin, Neuropeptid Y, GABA und Glycin.
- Zur **Schmerzinduktion** verwendet man mechanische, elektrische, thermische und in Einzelfällen chemische Reize. Zur Schmerzmessung kann man die psychophysischen Verfahren der Schwellenbestimmung einsetzen. Häufig angewandt werden auch der intermodale Intensitätsvergleich und Rating-Verfahren. In der klinischen Algesimetrie sollen krankhafte Schmerzzustände quantitativ erfasst werden. Das wichtigste Instrument ist der Schmerzfragebogen. Als quasi-objektive Verfahren können psychophysiologische Messungen dienen. Hier kommt den ereigniskorrelierten Potenzialen des EEG eine besondere Bedeutung zu. Wichtige psychophysiologische Variablen sind auch die Herzfrequenz, der Blutdruck und die Hautleitfähigkeit. Im Bereich der quergestreiften Muskulatur kann man die nozifensiven Schutzreflexe sowie die Grundanspannung quantitativ erfassen.
- **Chronischer Schmerz** liegt vor, wenn der Schmerz seine Leit- und Warnfunktion verloren hat und selbstständigen Krankheitswert erlangt. Die häufigsten chronischen Schmerzen sind Rückenschmerzen, Kopf- und Gesichtsschmerzen sowie Gelenkschmerzen. Der Schmerzmittelgebrauch mündet in vielen Fällen in einen Schmerzmittelmissbrauch. Wird eine periphere nozizeptive Faser mechanisch gereizt, so folgt daraus meist eine Schmerzempfindung, die in das periphere Versorgungsgebiet der Faser projiziert wird. Bei einer Aktivierung nozizeptiver Fasern der Eingeweide kann übertragener Schmerz auftreten: Der Schmerz wird aus den Eingeweiden in Gebiete der Körperoberfläche (Head-Zonen) übertragen. Die Ursache für die Übertragung des Schmerzes liegt in der neuronalen Verschaltung beider Systeme auf Rückenmarksebene.

- **Phantomschmerzen** gehören zur Gruppe der Deafferenzierungsschmerzen. Es handelt sich um Schmerzempfindungen, die z. B. nach Amputationen auftreten und so wahrgenommen werden, als kämen sie aus dem amputierten Glied.
- Bei der Einteilung der **Analgetika** unterscheidet man opioidartige und nichtopioidartige Analgetika. Zu den Opioidanalgetika gehören die Opiate und die körpereigenen Substanzen – Endorphine, Enkephaline und Dynorphine –, die ebenfalls an den Opioidrezeptoren angreifen. Die Nichtopioidanalgetika sind meist antipyretische Analgetika, die durch Hemmung der Prostaglandinsynthese wirken. Das wichtigste Medikament aus dieser Gruppe ist das Acetylsalicylsäure enthaltende Aspirin.
- Die Unterbrechung der peripheren Schmerzleitung (= periphere Nervenblockade) kann mittels klassischer **Lokalanästhetika** geschehen. Das Lokalanästhetikum wird entweder an der Peripherie (z. B. der Haut) in das Nervende oder im Verlauf des peripheren Nervs bzw. vor seinem Eintreten ins Rückenmark appliziert. Die Gegenstimulationsverfahren beruhen auf der Tatsache, dass der Zustrom aus den schnell leitenden Nervenfasern auf die nozizeptiven Neuronen des Rückenmarks schmerzhemmend wirken kann. Bei der transkutanen elektrischen Nervenstimulation (TENS) werden A $\beta$ -Fasern elektrisch stimuliert, was auf Rückenmarksebene zu einer Hemmung der Impulse schmerzleitender A $\delta$ - und C-Fasern führt. Der schmerzlindernde Effekt der Akupunktur dürfte sowohl auf nervalen als auch auf humoralen Mechanismen beruhen. Endorphine, Serotonin und Adenosin spielen hierbei vermutlich eine wichtige Rolle. Es werden bei der Akupunktur sowohl schmerzhemmende Mechanismen auf Rückenmarksebene als auch das absteigende Schmerzhemmungssystem aktiviert.
- Beim **Biofeedback** wird ein biologischer Prozess an das Individuum apparativ zurückgemeldet und diese Information kann zur willentlichen Veränderung des Prozesses dienen. Biofeedback wird bei chronischen Rückenschmerzen, bei Spannungskopfschmerz und gelegentlich auch bei Migräne erfolgreich eingesetzt. Es ist stets sinnvoll, die Biofeedbackmethode mit anderen Verfahren der Verhaltensmedizin zu kombinieren, etwa mit Stressbewältigungstraining, Entspannungstraining oder klassischer Verhaltenstherapie. Neurochirurgische Eingriffe werden in erster Linie bei Tumorschmerzen als palliative Maßnahme durchgeführt.

## Kapitel 17 – Stress

- Der Komplex »**Stress**« setzt sich zusammen aus
  - einem Stimulus (Stressor),
  - einer Erlebenskomponente, meist im Zusammenhang mit einer Bewältigungshandlung, und
  - einer Auslenkung aus dem optimalen, im Gleichgewicht befindlichen körperlichen Funktionsniveau.
- **Glukokortikoide**, deren wichtigster Vertreter das Kortisol ist, erfüllen wichtige Funktionen im Zusammenhang mit der Energiebereitstellung im Organismus. Sie wirken außerdem immunsuppressiv. Über Rezeptoren im Gehirn können sie einen Einfluss auf die emotionale Befindlichkeit und kognitive Leistungen ausüben. Bei lang anhaltender erhöhter Glukokortikoidkonzentration kann es zu Störungen einer ganzen Reihe von Systemen kommen. Dazu gehören erhöhter Blutdruck, Zerstörung muskulären und hippocampalen Gewebes, Unfruchtbarkeit, Wachstumshemmung, Hemmung von Immunreaktionen, Hemmung von Entzündungsreaktionen und Diabetes.
- Das **CRH-System** ist nicht nur als Startpunkt der HPA-Achse von zentraler Bedeutung für die Regulation zahlreicher wichtiger Körperfunktionen, sondern es spielt selbst auch bei kognitiven und emotionalen Prozessen eine entscheidende Rolle. Demnach können Dysregulationen im Bereich des CRH-Systems und nachgeschalteter Funktionen auch an der Entstehung von Störungen kognitiver und emotionaler Prozesse beteiligt sein.
- Es herrscht eine enge Kopplung zwischen der **Stressreaktion und Immunprozessen**. Dies wird z. B. daran deutlich, dass auf Zellen des Immunsystems Rezeptoren für Adrenalin und Noradrenalin gefunden wurden. Andererseits beeinflussen Produkte des Immunsystems die Gehirnaktivität. Bei der Immunabwehr unterscheidet man
  - (1) die unspezifischen angeborenen Immunmechanismen unter Beteiligung der Makrophagen und
  - (2) die spezifischen Immunprozesse.
 Letztere werden im Laufe des Lebens erworben. Sie sind über die Lymphozyten vermittelt. Die Lymphozyten werden in den lymphatischen Organen des Körpers gebildet. Bei einer Allergie liegt eine Veränderung der spezifischen Reaktionsfähigkeit des Immunsystems vor, die sich gegen eine körperfremde, eigentlich unschädliche Substanz richtet. Es bilden sich Antikörper. In diesem Fall bezeichnet man das Antigen als Allergen.
- Die **Stressforschung** belegt immer deutlicher, dass Zusammenhänge zwischen psychischen Faktoren und Krankheitsentstehung und -aufrechterhaltung bestehen. Das Immunsystem und das endokrine System können durch psychische Faktoren in beträchtlichem Ausmaß beeinflusst werden. In der Verhaltensmedizin werden Dysfunktionen als Folge der generell engen Verzahnung zwischen psychischen und physiologischen Prozessen verstanden (Diathese-Stress-Modell). Diese führt bei extremen psychischen Belastungen auch zu extremen körperlichen Reaktionen, die chronifizieren können.
- Die **koronare Herzkrankheit** tritt gehäuft bei Personen auf, bei denen die psychischen Merkmale »Feindseligkeit«, »Ärger« und Angst besonders ausgeprägt sind. Der Bluthochdruck scheint speziell bei Personen, bei denen negative Affektivität als Persönlichkeitsmerkmal von Bedeutung ist, gehäuft aufzutreten. Auch beim Magengeschwür ist davon auszugehen, dass der Faktor Stress – wenn auch sekundär – eine pathogenetische Relevanz besitzt.
- Zu den **psychischen Erkrankungen**, bei denen eine Mitverursachung durch Stressfaktoren anzunehmen ist, gehören die Depression, die posttraumatische Belastungsstörung, bestimmte Angststörungen, verschiedene Essstörungen, die Schlafstörungen und möglicherweise auch die Zwangsstörungen sowie die Schizophrenie.

**Kapitel 18 – Sexualität und geschlechtsspezifisches Verhalten**

- **Sexualhormone** bestimmen die Entwicklung der primären und die Ausbildung der sekundären Geschlechtsmerkmale. Darüber hinaus haben sie zahlreiche Aufgaben im Körperstoffwechsel und sind nicht zuletzt bei der Verhaltenssteuerung beteiligt, besonders beim sexuellen Verhalten.
- Das Regulationssystem für Sexualhormone besteht primär aus Hypothalamus, Hypophyse und den Keimdrüsen. Vom Hypophysenvorderlappen werden nach Anregung durch das hypothalamische Releasinghormon GnRH die Gonadotropine ausgeschüttet. Diese sind
  - das luteinisierende Hormon (LH) bei der Frau, das identisch ist mit dem interstitialzellenstimulierenden Hormon (IZSH) beim Mann, sowie
  - das follikelstimulierende Hormon (FSH).
- In den Keimdrüsen bewirken sie u. a. die Produktion und Ausschüttung von Östradiol (bei der Frau) bzw. Testosteron (beim Mann). Zwei weitere Hypophysenhormone sind das Prolaktin und das Oxytocin. Die wichtigsten steroidal Sexualhormone sind die Androgene (u. a. Testosteron), die Östrogene (z. B. Östradiol) und die Gestagene (z. B. Progesteron). Zielzellen für Sexualhormone sind neben Zellen der Geschlechtsorgane auch Nervenzellen, v. a. im Bereich des limbischen Systems und des Hypothalamus.
- **Sexualverhalten** wird in gewissem Ausmaß von der Konzentration der Sexualhormone gesteuert. Weitere Einflussfaktoren auf menschliches Sexualverhalten sind soziale Interaktion, sozialer Status, Stress und Alter.
- Innerhalb des **sexuellen Reaktionszyklus** lassen sich vier relativ gut abgrenzbare Phasen mit typischen körperlichen Reaktionen unterscheiden:
  - (1) die Erregungsphase,
  - (2) die Plateauphase,
  - (3) der Orgasmus und
  - (4) die Entspannungsphase.
- Bei beiden Geschlechtern weisen die vier Phasen vergleichbare physiologische und psychische Begleiterscheinungen auf. Diese beziehen sich sowohl auf den Bereich der Geschlechtsorgane als auch auf weitere Reaktionen des vegetativen und somatischen Systems.
- Beim weiblichen **Monatszyklus** findet im 28-Tage- Rhythmus eine zeitlich genau festgelegte Abfolge von Konzentrationsveränderungen der Östrogene, Gestagene, des follikelstimulierenden Hormons und des luteinisierenden Hormons statt. Diese haben Eireifung, Eisprung und die Vorbereitung der Gebärmutter Schleimhaut auf die Einnistung eines eventuell befruchteten Eis zur Folge. Bei sehr regelmäßigem Zyklus kann durch Messung der Körpertemperatur die unfruchtbare Zeit bestimmt werden. Das prämenstruelle Syndrom kann sich in Reizbarkeit, Depressivität oder Aggressivität äußern. Körperliche Symptome können sein: Migräne, Schmerzen in der Brust und Gewichtszunahme.
- **Die Pille:** Einphasenpräparate stellen eine Kombination aus Stoffen dar, die den Östrogenen bzw. den Gestagenen eng verwandt sind. Sie werden 21 Tage lang eingenommen. Danach kommt es zur sog. Abbruchblutung. Sie verhindern den Eisprung und unterbinden das Wachstum der Gebärmutter Schleimhaut. Bei Mehrstufenpräparaten wird der zeitliche Ablauf der zyklischen Hormonschwankungen nachgeahmt. Die sog. Minipille beeinflusst kaum den weiblichen Zyklus. Ihr Wirkprinzip besteht vielmehr in einer Behinderung der Spermienwanderung.
- Der Zeitraum für eine mögliche **Konzeptionszeit** liegt bei 4–5 Tagen pro Monatszyklus. Kommt es zur Befruchtung, beginnt sofort die Zellteilung, die sich während der Wanderung der befruchteten Eizelle durch den Eileiter bis in den Uterus fortsetzt. Nach ihrer Ankunft im Uterus verändert sie sich zur Blastozyste. Diese nistet sich in der Gebärmutter Schleimhaut ein, es kommt zur Nidation.
- Nach der **Einnistung** der befruchteten Eizelle im Uterus verändert sich die hormonelle Situation der Frau. Diese Veränderungen dienen primär der körperlichen Anpassung an die Schwangerschaft und Geburt und haben meist auch Auswirkungen auf das mütterliche Verhalten. Eine normale Schwangerschaft dauert 266 3 Tage. Durch gezielte Aktivierung bestimmter Gene und Inaktivierung anderer Gene des in jeder Zelle in gleicher Weise enthaltenen Genmaterials kommt es zur Ausbildung spezifischer Zellen. Etwa ab der 28. Schwangerschaftswoche ist die Frucht auch außerhalb der Gebärmutter überlebensfähig. Von einer Frühgeburt spricht man, wenn die Geburt zwischen der 28. und der 38. Schwangerschaftswoche stattfindet.



Der Geburtsverlauf wird in drei Abschnitte eingeteilt: die Eröffnungsperiode, die Austreibungsperiode und die Nachgeburtsperiode. Die Eröffnungsperiode beginnt mit den ersten regelmäßigen Wehen und endet mit der vollständigen Eröffnung des äußeren Muttermunds. Wenn sich der Muttermund etwas geöffnet hat, zerreißt i. Allg. die Fruchtblase. Die Austreibungsperiode dauert von der vollständigen Öffnung des äußeren Muttermundes bis zur Geburt des Kindes. Wenn die Nabelschnur durchtrennt wird, beginnt das Neugeborene innerhalb einiger Sekunden selbstständig zu atmen und der eigene Kreislauf des Kindes beginnt zu arbeiten. Während der Nachgeburtsperiode kommt es zur Ablösung der Plazenta und zu deren Ausstoß. Bei der stillenden Mutter steigt der Prolaktinspiegel an. Dadurch wird u. a. das Wachstum des Brustgewebes angeregt und die Milchproduktion gesteigert.

- Ab etwa der 10. Schwangerschaftswoche beginnt die **Ausbildung der geschlechtstypischen Unterschiede**. Auf dem Y-Chromosom liegt das sog. SRY-Gen, das die Entwicklung von Hoden aus den zunächst undifferenzierten Gonaden auslöst. Die Hoden produzieren Testosteron, was schließlich zur Ausbildung der männlichen Genitalien aus den sog. »Wolff-Gängen« führt. Bei weiblichen Individuen werden die zunächst undifferenzierten Gonaden zu den Ovarien. Die sog. »Müller-Gänge« entwickeln sich zu den weiblichen Geschlechtsorganen. Durch Aberrationen in der Ausstattung mit Geschlechtschromosomen können sich verschiedene Syndrome ergeben: Hierzu gehören u. a. das Klinefelter- Syndrom (XXY), das Turner- Syndrom (XO) und das XYY-Syndrom (XYY).
- Etwa im Alter von 7–11 Jahren beginnt der Hypothalamus, das Hormon Gonadoliberin auszuschütten, wodurch die Produktion der gonadotropen Hormone ansteigt. Zu Beginn der **Pubertät** werden vermehrt Östradiol und Testosteron freigesetzt, was die Entwicklung der sekundären Geschlechtsmerkmale auslöst. Etwa zwischen dem 45. und 55. Lebensjahr setzt das Klimakterium ein. Durch Ausbleiben der Follikelreifung kommt es zu einem Rückgang der Östrogenproduktion. Dies hat zunächst eine vermehrte Produktion von FSH zur Folge. Daraus und aus dem Östrogenmangel folgen die typischen klimakterischen Veränderungen im Bereich der Sexualorgane sowie die vegetativen Beschwerden. Durch Hormongaben sind diese Symptome z. T. auszugleichen.
- Ab dem 3. bis 4. Schwangerschaftsmonat reagieren nicht nur die Keimdrüsen, sondern auch das Gehirn auf das Vorhandensein von Testosteron. Dies zeigt sich vor allem im Bereich des Hypothalamus. Bei erwachsenen männlichen Säugetieren ist das mediale präoptische Areal (MPOA) des Hypothalamus größer als bei weiblichen. Dagegen zeigt sich bei verschiedenen Säugetierarten bei Weibchen ein größerer ventromedialer Kern des Hypothalamus.
- Zwischen den Geschlechtern herrschen (geringfügige) Leistungsunterschiede bei spezifischen Aufgaben. Bei verbalen Aufgaben, in der Wahrnehmungsgeschwindigkeit und der Feinmotorik schneiden Frauen im Durchschnitt besser ab. Männer sind im Vorteil bei räumlich-konstruktiven Aufgaben und beim mathematischen Schlussfolgern. Beim Lösen komplexer Aufgaben scheint sich bei Frauen eher eine Aktivierung beider Hemisphären einzustellen. Teilweise dürften die zwischengeschlechtlichen Unterschiede bei kognitiven Leistungen mit der Konzentration von Hormonen im Blut zusammenhängen. Dies wird z. B. nahegelegt durch zyklusabhängige Leistungsunterschiede bei Frauen: Ist der Spiegel an weiblichen Hormonen besonders hoch, so sind auch die spezifisch weiblichen Leistungen besonders gut.
- Reduzierte Androgenkonzentrationen während der Schwangerschaft und der ersten Lebensmonate könnte zu einer Hirnentwicklung führen, die sich eher beim weiblichen Geschlecht findet. Als ein neuroanatomisches Korrelat homosexueller Präferenz bei Männern wird ein verkleinerter dritter interstitieller Nucleus des anterioren Hypothalamus (INAH3) diskutiert.
- Wichtige **sexuelle Funktionsstörungen** sind beim Mann die erektile Dysfunktion sowie die Ejaculatio praecox und bei der Frau die Anorgasmie. Zur Behandlung der psychisch bedingten erektilen Dysfunktion sowie der Ejaculatio praecox sind psychotherapeutische Maßnahmen i. Allg. sehr erfolgreich. Bei der erektilen Dysfunktion können heute gefäßerweiternde Medikamente in den meisten Fällen Abhilfe schaffen. Orgasmusstörungen der Frau können sehr viele verschiedene Ursachen auf der psychischen Ebene haben. Diese lassen sich in vielen Fällen durch eine sexualtherapeutische Intervention im Zuge einer Kurztherapie beseitigen oder reduzieren.

## Kapitel 19 – Rhythmen des Verhaltens

- Nahezu alle Organismen der belebten Welt weisen oszillatorische Aktivitätsschwankungen auf. Die hier beobachtbaren Rhythmen liegen im Bereich von Minuten bis Jahren. Es ist davon auszugehen, dass Rhythmen kurzer Periodendauer in Nervengewebe durch Instabilitäten im Membranpotenzial von Schrittmacherneuronen zustande kommen. Längere Periodizitäten werden durch rhythmische Veränderungen in der Expression bestimmter Gene – sog. **Clock-Gene** – gesteuert.
- Beim Menschen unterliegt eine Fülle von körperlichen und psychischen Funktionen einer 24-stündigen (zirkadianen) **Periodizität**. Allerdings sind diese rhythmischen Schwankungen meist nicht synchron, sondern gegeneinander phasenverschoben. Die Aktivitätsmaxima in den verschiedenen Systemen werden zu unterschiedlichen Zeiten innerhalb eines Tag-Nacht-Zyklus erreicht. Unter freilaufenden Bedingungen, d. h. bei Fehlen externer Zeitgeber, stellt sich bei den meisten Menschen ein etwa 25-stündiger Rhythmus ein.
- Der wichtigste zirkadian oszillierende Taktgeber ist beim Menschen der **Nucleus suprachiasmaticus (NSC)**, der sich als ein Kern des Hypothalamus oberhalb der Kreuzung der Sehnerven befindet. Er erhält Zuflüsse v. a. von der retinohthalmischen Bahn, über die vermittelt der Hell-Dunkel-Unterschiede im Tageslauf ein ständiges Angleichen (Entrainment) der Rhythmik des NSC an die Tag- Nacht-Periodizität ermöglicht wird. Die wichtigsten Zielgebiete für NSC-Impulse sind andere hypothalamische Kerne, die v. a. vegetative Funktionen steuern, sowie die Zirbeldrüse, die über die Ausschüttung von Melatonin auf hormonellem Wege zahlreichen weiteren Systemen einen zirkadianen Rhythmus aufprägt.
- Sowohl bei der Schichtarbeit als auch beim sog. Jetlag-Syndrom zeigt sich, dass eine **Umstellung der zirkadianen Abläufe** aufgrund veränderter äußerer Bedingungen nur stark verzögert möglich ist. Bei der Anpassung an veränderte Außenbedingungen spielen v. a. die Lichtverhältnisse eine wichtige Rolle.
- Bei **Schichtarbeitern** können sich auch nach Monaten oder Jahren die zirkadianen Rhythmen der meisten vegetativen und hormonellen Systeme den veränderten Bedingungen nicht anpassen. Dies führt zu Störungen im Befinden und in der körperlichen Leistungsfähigkeit, zu erhöhter Müdigkeit und zu Stimmungsschwankungen. Daneben zieht Schichtarbeit mit hoher Wahrscheinlichkeit auch körperliche Funktionsstörungen v. a. im gastrointestinalen und neurovegetativen Bereich nach sich. Der interne zirkadiane Taktgeber lässt sich durch Einwirkung von sehr hellem Licht umstellen.
- Das **Jetlag-Syndrom** tritt bei Flügen über mehrere Zeitzonen hinweg auf. Hier zeigen sich v. a. erhöhte Müdigkeit am Tage, Einschlaf- und Durchschlafstörungen, reduzierte körperliche und psychische Leistungsfähigkeit, Übelkeit und schlechtes Allgemeinbefinden. Eine wichtige Strategie zur Abschwächung des Jetlag-Syndroms besteht darin, sich am Zielort möglichst zügig den dortigen Verhältnissen anzupassen.
- **Bei blinden Menschen** bewegen sich die zirkadianen Schwankungen in der Melatoninkonzentration zumeist in einem 25-stündigen Rhythmus. Mehr als zwei Drittel aller Blinden leiden unter Schlafstörungen, die mit Unregelmäßigkeiten in der Melatoninkonzentration zusammenhängen dürften.
- Der **Basic Rest Activity Cycle** stellt eine Eineinhalb- Stunden-Rhythmik dar. Eine Reihe von Variablen weist Schwankungen in diesem Rhythmus auf. Dazu gehören das Bedürfnis nach Nahrung und nach Flüssigkeit, das Rauchen, die Sauerstoffaufnahme, die Herzrate, die Magenbewegungen, die Harnausscheidung, die Konzentration bestimmter Hormone und verschiedene psychomotorische Leistungen.

## Kapitel 20 – Schlaf und Traum

- Bei der Untersuchung im Schlaflabor werden standardmäßig abgeleitet:
  - (1) das **Elektroenzephalogramm** (EEG) zur Erfassung der hirnelektrischen Aktivität,
  - (2) das **Elektrookulogramm** (EOG) zur Registrierung der horizontalen Augenbewegung und
  - (3) das **Elektromyogramm** (EMG) zur Aufzeichnung der Muskelspannung der Wangen-, Hals- oder Nackenmuskulatur.
- Oft werden für spezielle Fragestellungen weitere Größen registriert, z. B. Atmung, Herz-Kreislauf-Aktivität, Grobmotorik und Genitaldurchblutung.
- Die **Schlafstadien** sind in folgender Weise gekennzeichnet:
  - Stadium 1: Ein Frequenzgemisch aus niedrigamplitudigen Alpha-, Beta- und Thetawellen.
  - Stadium 2: Immer noch niedrigamplitudiges EEG, jetzt mit Schlafspindeln und K-Komplexen.
  - Stadium 3: 20 bis 50% der Zeit herrscht Deltaaktivität.
  - Stadium 4: Über 50% der Zeit Deltawellen.
  - REM-Schlaf: Das EEG ist dem Schlafstadium 1 sehr ähnlich, es treten die schnellen Augenbewegungen (REM) auf.
- Die Schlafphasen werden in zyklischer Abfolge durchlaufen. Ein solcher Zyklus dauert etwa 90 Minuten.
- Um das Entstehen und Anwachsen des »**Schlafdrucks**« mit zunehmenden Wachperioden und des spontanen Wiederaufwachens nach genügend langer Schlafdauer zu erklären, bietet sich die Annahme eines »Schlafstoffs« in zirkadian variierender Konzentration an. Ein solcher Schlafstoff konnte bisher jedoch nicht eindeutig identifiziert werden. Im Zweiprozessmodell wird das Schlafbedürfnis auf der Basis der zirkadianen Periodik zu dem Schlafbedürfnis aufgrund der vorangegangenen Wachheit in Bezug gesetzt. Daraus resultiert der »Einschlafdruck«.
- Von eminenter Bedeutung für die Schlaf-Wach-Regulation ist die **Formatio reticularis** mit ihren verschiedenen Kerngebieten. Eine ihrer wichtigsten Funktionen ist die Steuerung des Arousal der Hirnrinde. Dies geschieht über zahlreiche Verbindungen zu höhergelegenen Strukturen (Thalamus, Hypothalamus, basalen Vorderhirnkernen). Aktivitätssteigernd und damit schlafhemmend wirkt der noradrenalinproduzierende Locus coeruleus im Hirnstamm. Auch Orexin ist eine wichtige aktivitätssteigernde Substanz. Die Zirbeldrüse empfängt Impulse vom NSC, wodurch ihre Melatoninproduktion reguliert wird. Bei hoher Impulsrate – hohem Lichteinfall auf die Retina – wird die Melatoninausschüttung reduziert. Melatonin ist schlaffördernd und wirkt auf zahlreiche Zielorgane aktivitätsdämpfend.
- Der **Wechsel zwischen REM- und Non-REM-Schlaf** wird einerseits durch cholinerge Neuronen in dem Nucleus reticularis pontis oralis und im gigantozellulären tegmentalen Feld (**REM-on**) bewirkt, andererseits durch noradrenerge Zellen im Locus coeruleus und im dorsalen Raphe-Kern (**REM-off**). Die für den REM-Schlaf typischen PGO-Wellen werden von den REM-on-Neuronen ausgelöst und ziehen über den Thalamus zum Okzipitalkortex. Die kortikalen Deltawellen des **Slow-Wave-Schlafs** werden von Schrittmacherstrukturen im Thalamus erzeugt. Die sehr hohen Amplituden der Deltawellen kommen durch einen positiven Feedbackkreis zwischen Kortex und Thalamus zustande. Die sog. präoptische Region des Hypothalamus dürfte den Slow-Wave-Schlaf anstoßen.
- **Träume im REM-Schlaf** sind i. Allg. lebendiger, handlungsreicher und gefühlsbetonter als Non-REM-Träume. In den Nächten nach REM-Deprivation tritt REM-Schlaf mit erhöhter Häufigkeit auf. Dies spricht für die besondere Bedeutung des REM-Schlafs. Im sich entwickelnden Organismus dürfte der REM-Schlaf die Ausbildung von ZNS-Kompetenzen fördern. Der Anteil des REM-Schlafs an der Gesamtschlafdauer ist beim Neugeborenen am höchsten und nimmt bis ins hohe Alter kontinuierlich ab. Sowohl REM-Schlaf als auch Slow-Wave-Schlaf sind für eine optimale Konsolidierung von Lern- und Gedächtnismaterial von Bedeutung.
- **Schlafdeprivation** hat einen nachteiligen Effekt auf die kognitive und motorische Leistungsfähigkeit und beeinflusst die Stimmung negativ. Es zeigen sich u. a. Konzentrationsschwierigkeiten, erhöhte Fehlerzahlen

bei psychomotorischen und mentalen Anforderungen, Wahrnehmungsstörungen, eine erniedrigte Schmerzschwelle, Niedergeschlagenheit, Gereiztheit und nicht selten auch gesteigerte Aggressivität.

- **Insomnien** haben eine Prävalenz von ca. 20 bis 30%. Man unterscheidet
  - (1) psychiatrisch bedingte Insomnien (v. a. aufgrund einer Depression),
  - (2) Insomnien infolge organischer Erkrankungen und
  - (3) primäre Insomnien (keine Folge einer anderen Erkrankung).
- Zur eindeutigen Diagnose der primären Insomnie und v. a. zur Abgrenzung von einer Pseudoinsomnie ist eine Untersuchung im Schlaflabor notwendig. Hier zeigt sich i. Allg. eine reduzierte Schlafkontinuität mit verspätetem Einschlafen. Die wichtigste nichtpharmakologische Therapiemaßnahme von Schlafstörungen ist die Verbesserung der Schlafhygiene. Außerdem ist der Einsatz von Entspannungsverfahren meist wirksam.
- Substanzen, die schlaffördernd wirken, bezeichnet man als **Hypnotika**. Die wichtigste Substanzklasse sind die **Benzodiazepine** (»klassische Tranquilizer«). Kurz wirksame Benzodiazepine fördern das Einschlafen, die Gefahr des Hangovers am nächsten Tag ist hier gering. Bei mittellang wirksamen Benzodiazepinen herrscht die Wirkdauer über die ganze Nacht, teilweise bis in den Vormittag hinein. Lang wirksame Benzodiazepine sind nur in den Fällen angezeigt, in denen auch die tagsüber anhaltende Benzodiazepinwirkung das Ziel ist, u. a. bei gleichzeitigen Angststörungen. Durch eine Reihe von Substanzen können Insomnien ausgelöst oder gefördert werden. Von besonderer Bedeutung ist die durch chronische Schlafmitteleinnahme bedingte Rebound-Insomnie. Diese ist eine sekundäre Folge der Veränderung des Schlafprofils durch Schlafmittel.
- Die **Schlafapnoe** wird meist aufgrund der übermäßigen Schläfrigkeit am Tage diagnostiziert. Beim Schlafapnoe-Syndrom kommt es typischerweise zum Auftreten von Atempausen mit 10 bis 60 Sekunden Dauer oder länger. Beim obstruktiven Schlafapnoe-Syndrom sind die Atemstillstände durch eine Behinderung des Luftstroms in den oberen Atemwegen verursacht, beim zentralen Schlafapnoe-Syndrom liegt dagegen ein Defizit der neuronalen Steuerung der Atemmuskulatur vor. Beim gemischten Schlafapnoe-Syndrom sind beide Ursachen beteiligt.

**Kapitel 21 – Psychische Störungen – Transmitterprozesse und Psychopharmakotherapie**

- Die **serotonergen Neuronen** erreichen mit ihren Aussprossungen eine Vielzahl von Gehirngebieten. Serotonerge Bahnen haben ihren Ursprung vor allem in den Raphe-Kernen, von denen aus Verbindungen u. a. zu Regulationszentren des Rückenmarks und des Hypothalamus ziehen. Außerdem werden das limbische System, die sensorischen Areale des Neokortex und Regionen des Frontalkortex erreicht. Schließlich greift Serotonin auch in die Aktivität der HPA-Achse ein. Es existieren zahlreiche Serotoninrezeptor-Subtypen, die in den verschiedenen Gehirngebieten ungleich verteilt sind. Daher sind die Auswirkungen des **Serotonins** auf Erleben und Verhalten sehr komplex.
- Zu den **nichtmedikamentösen Therapieverfahren der Depression** gehören die Lichttherapie, der Schlafentzug und die Elektrokrampftherapie. Die Lichttherapie ist relativ erfolgversprechend bei der Behandlung saisonal abhängiger Depression (SAD). Die Schlafentzugstherapie dürfte nur für eine relativ kleine Gruppe depressiver Patienten erfolgversprechend sein. Die Elektrokrampftherapie (EKT) kann dann das Mittel der Wahl sein, wenn eine pharmakologische Therapie bei schwersten depressiven Zuständen erfolglos bleibt.
- Die **Serotoninhypothese der Depression** besagt, dass bei den Betroffenen eine Minderfunktion bei der serotonergen Signalübertragung vorliegt. Auch bei Patienten mit Ess- und Zwangsstörungen wird von Veränderungen in der Funktion des serotonergen Systems ausgegangen. Neben der reduzierten Aktivität im serotonergen System ist bei der Depression auch von einer Dämpfung der noradrenergen neuronalen Übertragung auszugehen. Hierfür spricht v. a. der Erfolg der Noradrenalin-Wiederaufnahmehemmer bei der Depressionsbehandlung. Allerdings ist die Ursache der Depression kaum in der Dysfunktion eines einzelnen Transmittersystems zu suchen, sondern eher in einer Dysregulation beim Zusammenspiel mehrerer Transmittersubstanzen und Rezeptortypen. **GABA** ist der wichtigste inhibitorische Transmitter im Gehirn. Es dürfte v. a. im limbischen System angstlösend wirken. Substanzen, die fördernd auf das GABAerge System wirken, wie die Benzodiazepine, können im kurzfristigen Zeitbereich einen Angstzustand mildern oder beseitigen. Außerdem wirkt GABA dämpfend auf die Aktivität der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse ein. So kann die Konzentration des Kortikotropin- Releasing-Hormons (CRH) und somit eine stressbedingte Überaktivierung durch Benzodiazepine gemildert werden. Da auch im Hippocampus zahlreiche GABAerge Synapsen angesiedelt sind, kann es durch pharmakologisches Eingreifen in die GABA-Wirkung zu Störungen von Lern- und Gedächtnisprozessen kommen.
- Für die sog. **Dopaminhypothese der Schizophrenie** spricht zum einen, dass zur Behandlung der Schizophrenie Dopaminantagonisten mit großem Erfolg eingesetzt werden, und zum anderen, dass durch Dopaminagonisten schizophrenieähnliche Symptome ausgelöst werden können. Bei der Schizophrenie dürfte eine Überfunktion im dopaminergen System, primär vermittelt über den D2-Rezeptor, vorliegen. Weitere Neurotransmittersysteme, die bei der Schizophrenie möglicherweise dysfunktional arbeiten, sind das serotonerge und das GABAerge System. Beide sind über zahlreiche Interaktionen an das dopaminerge System gekoppelt.
- Im Neokortex ist das Acetylcholin einer der am weitesten verbreiteten Neurotransmitter. Defizite im cholinergen System spielen außer bei der **Parkinson-Erkrankung** v. a. eine Rolle bei der **Alzheimer-Demenz**. In den Gehirnen verstorbener Alzheimer- Patienten zeigt sich ein Untergang acetylcholinproduzierender Neuronen. Hemmstoffe der Acetylcholinesterase können den Fortschritt der typischen Krankheitssymptome verlangsamen.
- Seit etwa 60 Jahren kennt man die Behandlung psychischer Krankheiten mit **Pharmaka**. Davor gab es keine zuverlässige Therapie bei schweren psychischen Störungen. Psychopharmaka entfalten ihre Wirkung auf der Ebene der Synapse. Sie können z. B. die Menge eines im synaptischen Spalt verfügbaren Neurotransmitters steigern oder reduzieren, an postsynaptischen oder präsynaptischen Rezeptoren andocken, hier agonistisch oder antagonistisch wirken oder in der subsynaptischen Zelle sekundäre Transmitterwirkungen verstärken oder dämpfen.
- Die vier verbreitetsten Klassen von Antidepressiva sind trizyklische Antidepressiva (TZA), Monoaminoxidasehemmer (MAO-Hemmer), selektive Serotonin- Reuptake-Inhibitoren (SSRI) und selektive Noradrenalin-Reuptake-Inhibitoren (SNRI). Die Trizyklika wirken hemmend sowohl auf die Wiederaufnahme von Noradrenalin als auch von Serotonin. Außerdem können sie adrenerge Rezeptoren, muskarinische Acetylcholinrezeptoren sowie Histaminrezeptoren blockieren. Das bekannteste trizyklische

Antidepressivum ist das Imipramin. MAO-Hemmer blockieren das Enzym Monoaminoxidase, das für den Abbau von Serotonin, Adrenalin und Noradrenalin im Neuron notwendig ist.

- **SSRI** hemmen selektiv die Wiederaufnahme von Serotonin, indem sie das hierfür notwendige Transportermolekül blockieren. Sie besitzen ein breites Indikationsgebiet, das sich außer der Depression auch auf Zwangs- und Angsterkrankungen sowie Essstörungen erstreckt. Das wichtigste Phasenprophylaktikum v. a. zum Einsatz bei der bipolaren Störung ist das Lithium. Es kann auch akut während manischer Phasen eingesetzt werden. Das therapeutische Fenster beim Lithium ist schmal, d. h., die Dosierung muss für den einzelnen Patienten sehr genau eingestellt und eingehalten werden.
- **Neuroleptika** wirken antipsychotisch, dämpfend und sedierend. Sie werden sowohl bei chronisch verlaufender Schizophrenie als auch zur Rückfallprophylaxe schizophrener Psychosen eingesetzt. Das am weitesten verbreitete Neuroleptikum ist Haloperidol. Generell korreliert die antipsychotische Wirkung der Neuroleptika hoch mit der Fähigkeit, den D2-Rezeptor zu blockieren. Da sie jedoch auch das cholinerge und das noradrenerge System beeinflussen, ergeben sich eine Reihe von Nebenwirkungen. Aufgrund der Blockade von Dopaminrezeptoren haben vor allem die hochpotenten konventionellen Neuroleptika starke Nebenwirkungen im Bereich der Motorik.
- **Tranquillanzien** sind Stoffe mit vorwiegend dämpfender Wirkung, die anxiolytisch und emotional entspannend wirken. Die gebräuchlichsten Tranquilizer gehören zur Gruppe der Benzodiazepine. Deren Wirkungen beruhen v. a. auf der Funktionssteigerung des hemmenden GABAA-Rezeptors. Typische Nebenwirkungen von Benzodiazepinen sind Müdigkeit, Konzentrationsschwäche und Rückgang der Aufmerksamkeit und Reaktionsgeschwindigkeit. Bei länger anhaltender regelmäßiger Einnahme besteht die Gefahr von Abhängigkeits- und Toleranzentwicklung.
- **Hypnotika** fördern die Schlafbereitschaft. Sie verkürzen allerdings bevorzugt die REM-Phasen, was zu einem ungünstigen Schlafprofil führt. Benzodiazepine wirken je nach Konzentration zunächst nur schlafanstoßend und bei höheren Konzentrationen schließlich schlaf erzwingend. Häufig treten bei der Anwendung von Hypnotika, v. a. bei höherer Dosierung, am Folgetag Überhangeffekte wie Müdigkeit und Konzentrationsstörungen oder Schwindel auf.
- **Nootropika** sollen die Hirnleistung verbessern. Man kann durchblutungsfördernde, stoffwechselaktive und cholinomimetische Substanzen unterscheiden. Die Wirkung von Nootropika ist nur in Ausnahmefällen, nämlich für AChE-Hemmer und Memantine, klar belegt. Diese können die Progredienz der typischen Symptome der Demenz verlangsamen und so das Eintreten schwergradiger Einschränkungen im Alltag hinausschieben.

## Kapitel 22 – Drogenabhängigkeit

- **Drogen** sind Stoffe, die eine direkte Einwirkung auf das ZNS haben und eine positive Wirkung auf die Befindlichkeit ausüben. Unter psychischer Abhängigkeit versteht man ein starkes, nicht zu unterdrückendes Verlangen nach einer Substanz. Bei Toleranzentwicklung lässt ein substanzspezifischer Effekt nach längerer Zufuhr der Droge nach. Das **mesolimbische System** ist der wichtigste Angriffspunkt für Drogen. Es wird zum großen Teil von dopaminergen Neuronen gebildet, deren Zellkörper im ventralen Tegmentum liegen und deren Axone zum Nucleus accumbens ziehen. Dieses System spielt sowohl bei der intrakraniellen Selbstreizung als auch bei Drogenwirkung eine zentrale Rolle. Die längerfristigen Effekte bei der Abhängigkeitsentwicklung sind mit hoher Wahrscheinlichkeit auch beim Menschen durch Veränderungen in der Genexpression innerhalb von Neuronen des mesolimbischen Systems mit verursacht.
- **Alkohol** ist die in der westlichen Welt am weitesten verbreitete Droge. Etwa ein Zehntel der Bevölkerung Deutschlands nimmt täglich eine gesundheitsgefährdende Alkoholmenge zu sich. Alkoholabusus verursacht weitaus höhere Kosten als alle anderen Suchtarten zusammen. Alkoholzufuhr wirkt primär hemmend auf das ZNS, was die dämpfende und sedierende Wirkung des Alkohols erklärt. Bei chronischer Alkoholzufuhr reagiert der Organismus gegenregulatorisch auf diese Effekte, was schließlich zu einer weitgehenden Kompensation der genannten Alkoholwirkung führt (**Toleranzentwicklung**). Im Entzug, wenn der Alkoholeffekt ausbleibt, führen diese neuroadaptiven Mechanismen zu einer Übererregbarkeit des Nervensystems. Die hemmende Wirkung des Alkohols kommt einerseits durch eine Reduktion der glutamatinduzierten exzitatorischen Signalleitung zustande, andererseits durch eine Verstärkung der inhibitorischen GABAergen Transmission. Die euphorisierende und abhängigkeits erzeugende Potenz des Alkohols geht größtenteils auf seine Wirkung im mesolimbischen System zurück. Beteiligte Neurotransmittersysteme sind u. a. neben dem dopaminergen System das glutamaterge und das GABAerge System.
- **Nikotin** besitzt suchterzeugendes Potenzial. In der deutschen Bevölkerung sind in der Altersgruppe über 18 Jahre 33% Raucher. Neben dem giftigen Nikotin kommen im Tabakrauch noch zahlreiche ebenfalls giftige Substanzen vor. Spätschäden des Rauchens sind v. a. Arteriosklerose, Magen- und Darmerkrankungen und Lungenkrebs. In Deutschland sterben pro Jahr ca. 100.000 Menschen an den Folgen des Rauchens. Nikotin wirkt als Agonist an cholinergen Rezeptoren. Die psychotrope Wirkung wird primär über dopaminerge und vermutlich auch serotonerge Neuronen des mesolimbischen Belohnungssystems vermittelt, die präsynaptisch über nikotinerge ACh- Rezeptoren verfügen.
- Bei der Aufnahme von **Kokain** kommt es u. a. zu Gefäßverengung, Blutdruckerhöhung, erhöhter Pulsfrequenz, Erweiterung der Bronchien, Schwitzen und erhöhter Körpertemperatur. Bei höherer Dosierung ist mit Kopfschmerzen, Übelkeit, Zittern, Muskelkrämpfen und Ohnmachtsgefühlen zu rechnen. Bei Dauergebrauch in hoher Dosierung können sich Herzrhythmusstörungen, Schlaganfall, Krampfanfälle, Unterversorgung des Gehirns mit Blut und Sauerstoffmangel am Herzen einstellen. Die psychotrope Wirkung kommt v. a. durch die Wiederaufnahme-Hemmung des Dopamins zustande. Es ist jetzt länger und in höherer Konzentration verfügbar. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Verstärkung der Dopaminwirkung im Bereich des mesolimbischen Systems. Beim langfristigen Gebrauch wird die D2-Rezeptorenzahl zurückgeregelt. Dadurch kommt es bei fehlender Kokainzufuhr zu teilweise sehr starken Entzugserscheinungen.
- Man schätzt den Prozentsatz der Opiatabhängigen in der Bevölkerung auf ca. 0,5%. Nach der Statistik stirbt jeder fünfte Opiatabhängige innerhalb von 10 Jahren. **Opiate** entfalten ihre Wirkung im Nervensystem direkt über die Opiatrezeptoren. Die belohnende Wirkung von Morphin und verwandten Stoffen geht v. a. auf die Interaktion mit den m- und d-Opiatrezeptoren von Neuronen im ventralen Areal des Tegmentums zurück. Eine der Hauptwirkungen besteht in einer Erhöhung der Dopaminkonzentration im Nucleus accumbens. Nur 30% aller Opiatabhängigen nehmen jemals therapeutische Hilfe in Anspruch. Zu einer langfristigen Behandlung der **Opiatabhängigkeit** werden derzeit drei Verfahren eingesetzt:
  - (1) die Behandlung durch Ersatzstoffe, z. B. die sog. »Methadonsubstitution«
  - (2) eine medikamentöse Therapie mit dem Ziel, die Wirkung von Opiaten zu blockieren, z. B. durch den Opiatantagonisten Naltrexon
  - (3) eine Abstinenztherapie, die entweder ambulant oder stationär durchgeführt wird

- Ohne begleitende psychosoziale Maßnahmen ist die Rückfallquote bei jeder Art der Therapie von Opiatabhängigen extrem hoch.
- Als **Halluzinogene** oder psychedelische Substanzen bezeichnet man Stoffe, die Halluzinationen und Illusionen auslösen. Die wichtigsten Halluzinogene sind Meskalin, Psilocybin und LSD. Die akuten Hauptwirkungen des LSD sind Halluzinationen, Veränderungen im zeitlichen und räumlichen Wahrnehmungsgefüge und ein Gefühl der positiven Gestimmtheit. Hinsichtlich der psychotropen Wirkung ist zu vermuten, dass LSD in einigen Gehirnstrukturen einen Serotoninrezeptor blockiert, in anderen Strukturen hingegen die Serotoninwirkung nachahmt.
- **Ecstasy** soll zu einer Kombination von Entspannung und Anregung mit emotionssteigerndem Effekt führen. Akut zeigt sich nach Ecstasy-Einnahme u. a. eine Steigerung des Blutdrucks und der Pulsfrequenz, Pupillenerweiterung und Appetitverlust. Auf der psychischen Ebene stellt sich eine erhöhte Wahrnehmungsbereitschaft mit visuellen, akustischen und taktilen Wahrnehmungsveränderungen ein. Bei Überdosierung kommt es zu starken sympathomimetischen Effekten mit ausgeprägter Aktivitätssteigerung. Ecstasy und verwandte Substanzen fördern die Serotoninfreisetzung und/oder hemmen die Serotoninwiederaufnahme aus dem synaptischen Spalt. Sie wirken neurotoxisch. Einschränkungen psychischer Funktionen nach Dauergebrauch sind nachgewiesen.
- Das wichtigste **Cannabinoid** der Hanfpflanze ist das Delta-9-Tetrahydrocannabinol ( $\Delta^9$ -THC). Zur akuten Wirkung des  $\Delta^9$ -THC im Vegetativum gehören Hungergefühl, Beschleunigung des Herzschlags und erweiterte Pupillen. Subjektiv zeigt sich meist eine Sedierung, mäßige Euphorie und möglicherweise auch Apathie. Häufig wird eine intensivere Sinneswahrnehmung berichtet. Die Aufmerksamkeitsspanne ist reduziert, das Kurzzeitgedächtnis eingeschränkt und die motorische Koordinationsfähigkeit beeinträchtigt. Bei hohen Dosen und häufigem Gebrauch zeigt sich eine mäßige Toleranzentwicklung. Beim Menschen existieren Cannabinoidrezeptoren z. B. im Nucleus accumbens. Von daher ist aufgrund der damit zusammenhängenden belohnenden Effekte die Gefahr der Abhängigkeitsentwicklung zumindest theoretisch gegeben. Cannabis ist ein relativ starkes Schmerzmittel; außerdem wirkt es sehr effektiv bei der Linderung von Übelkeit.



**Kapitel 23 – Emotionen**

- Das **limbische System** spielt eine zentrale Rolle bei der Entstehung und Regulation von Emotionen. Im Zusammenhang mit der Angstkonditionierung und der Auslösung von typischen Angstreaktionen ist die Amygdala von besonderer Bedeutung. Darüber hinausgehend dürfte generell bei negativ getönten Emotionen eine erhöhte Amygdalaaktivierung beteiligt sein. Weitere für emotionales Geschehen wichtige Gehirnstrukturen sind der präfrontale Kortex zur Umsetzung von Emotionen in Handlungspläne und zur Antizipation von Konsequenzen emotionalen Verhaltens, der Hippocampus bei emotionalem Stress, der Gyrus cinguli für die Reizanalyse im emotionalen Kontext und die Inselrinde bei der Kopplung emotionaler mit vegetativen Prozessen.
- Die **Theorie von James und Lange** besagt, dass die Wahrnehmung körperlicher Veränderungen, die durch einen Reiz (oder dessen Vorstellung) ausgelöst wurden, das Emotionserleben ausmacht. Sowohl die Intensität als auch die Qualität der Emotion würden dadurch determiniert. Im Widerspruch dazu stehen sog. zerebrale Theorien der Emotion (z. B. die **Cannon/ Bard-Theorie**), nach denen emotionales Erleben ausschließlich durch Gehirnvorgänge – ohne Beteiligung von Signalen aus der Peripherie – zustande kommt. Eine Verknüpfung beider Ansätze findet sich in der **Theorie von Schachter und Singer**. Danach wird das Emotionserleben durch die Wahrnehmung von Körperveränderungen ausgelöst, die Qualität der Emotion erschließt sich durch den kognitiven Prozess der Situationsanalyse.
- Das **afferente Feedback** aus der mimischen Muskulatur hat eine deutliche Wirkung auf die Intensität von Emotionen. Dies unterstreicht die Bedeutung peripher-physiologischer Prozesse für das Emotionserleben.

## Kapitel 24 – Lernen und Gedächtnis

- **Lernen und Gedächtnis** sind untrennbar miteinander verbunden. Durch Kodierung, Speicherung und Abruf von Information (= Gedächtnis) kann ein vorangegangenes Geschehen zukünftiges Verhalten beeinflussen (= Lernen). Das Gelernte wiederum wird im Gedächtnis eingespeichert, um später wieder zur Verfügung zu stehen.
- Beim **nichtassoziativen Lernen** erfolgt eine Änderung des Verhaltens auf der Basis einzeln auftretender Ereignisse. Drei Typen von nichtassoziativem Lernen können beobachtet werden: Habituation, Sensitivierung und Dishabituation. Beim assoziativen Lernen werden Bezüge zwischen Ereignissen hergestellt. Die einfachsten Formen assoziativen Lernens sind Konditionierungsvorgänge.
- Wir begegnen selbst bei den einfachsten Formen des Lernens einem Prinzip, das für Lern- und Gedächtnisvorgänge weithin Gültigkeit hat:
  - (1) Kurzzeitige Effekte (**Kurzzeitgedächtnis**) sind die Folge membranphysiologischer Mechanismen, die primär auf die Ionenströme wirken.
  - (2) Langfristige Effekte (**Konsolidierung von Gedächtnis**) gehen auf Umbauprozesse in der Morphologie der Zellen zurück. Diese Umbauprozesse betreffen vor allem die Neubildung, aber auch den Untergang synaptischer Kontakte zwischen Neuronen.
- Die Untersuchungen an der Meeresschnecke **Aplysia** und an anderen einfachen Organismen zur neuronalen Basis des Lernens erbrachten ein überaus wichtiges Ergebnis. Lernen – und damit auch ein simples Gedächtnis – ist eine Leistung, die auf der Basis des einzelnen Neurons bzw. eines einzelnen synaptischen Systems erfolgen kann. Es bedarf dazu prinzipiell keines komplexen Zusammenspiels großer Zellpopulationen oder gar größerer Gehirnareale. Auf der Grundlage weniger membranphysiologischer und neurochemischer Elementarprozesse kommen einfache Lernvorgänge zustande. Die hier beteiligten Membranproteine, Neurotransmitter und Enzyme sind im menschlichen Nervensystem ebenso präsent und haben als Basiselemente von Lernen und Gedächtnis eine vergleichbare funktionelle Bedeutung wie in den einfach aufgebauten Nervensystemen wirbelloser Tiere.
- Am Säugetiergehirn konnten für die **klassische Konditionierung** die beteiligten Gehirnbereiche identifiziert werden: Kleinhirn, Nucleus ruber und diejenigen Hirnnervenkerne, die bei der Verarbeitung der sensorischen Information sowie der Auslösung der motorischen Reaktion beteiligt sind. Auch beim Menschen spielt das Kleinhirn für die Konditionierung motorischer Reaktionen eine wichtige Rolle.
- Im **Hippocampus** konnte ein Modellsystem zur Beschreibung der klassischen Konditionierung auf zellulärer Ebene identifiziert werden. Dieses arbeitet unter wesentlicher Beteiligung der glutamatergen NMDA- und Non-NMDA-Rezeptoren. An diesem Modell zeigt sich Langzeitpotenzierung (LTP), wenn etwa die Zuflüsse über zwei benachbarte Synapsen zeitgleich aktiv sind (Assoziation). LTP über Zeiträume von Tagen und Wochen ist erklärbar über morphologische Umbauprozesse. Diese werden zunächst von der stark erhöhten intrazellulären Kalziumkonzentration angestoßen, die ihrerseits dann eine Kaskade von enzymatischen und genetischen Prozessen nach sich zieht, an deren Ende die Synthese von zellstrukturbildenden Proteinen steht.
- Beim **operanten Konditionieren** spielen dopaminerge Strukturen des Gehirns eine Schlüsselrolle. Die drei wichtigsten dopaminergen Systeme sind: das nigrostriatale System, das mesolimbische System und das mesokortikale System.
- Beim **Enkodierungsprozess** ist i. Allg. der mediale Temporallappen beteiligt. Bei vielen diesbezüglichen Aufgabentypen liegt außerdem eine präfrontal lokalisierte Aktivierung vor. Bei Aktivierung des Arbeitsgedächtnisses zeigt sich eine erhöhte Aktivierung im Präfrontalkortex und – aufgabenspezifisch – in denjenigen Kortexarealen, die der jeweiligen Sinnesmodalität des Reizmaterials zugeordnet sind. Der Hippocampus spielt bei der Konsolidierung von Gedächtnisinhalten eine zentrale Rolle. Allerdings ist er nur eine von verschiedenen wichtigen Strukturen im Bereich des medialen Temporallappens, die unterschiedliche Aufgaben im Zusammenhang mit Gedächtnisleistungen wahrnehmen.
- Bei der **Enkodierung episodischen Materials** ist die Hippocampusformation beteiligt. Beim willentlichen Abruf von episodischen Gedächtnisinhalten hat man Aktivierung im rechten dorsolateralen und medialen

Frontalkortex beobachtet. Für das semantische Gedächtnis sind vermutlich der dorsolaterale Frontalkortex und unterschiedliche Regionen im Temporallappenbereich ausschlaggebend.

- Bei Anforderungen an das prozedurale Gedächtnis werden die Basalganglien, das Kleinhirn und die motorischen Kortexareale M1 und M2 aktiviert. Beim Wahrnehmungslernen dürften insbesondere die Basalganglien, v. a. das Striatum, involviert sein. Allerdings konnte verschiedentlich auch eine neokortikale Aktivierung beobachtet werden. Es ist bei diesem Aufgabentyp eine Interaktionsschleife Striatum – Thalamus – Neokortex anzunehmen. Beim Priming dürften insbesondere der Temporal- und/ oder Okzipitalkortex beteiligt sein. Je nach Modalität des vorbereitenden Reizes zeigen sich meist Veränderungen im auditorischen, somatosensorischen oder visuellen Kortex.

## Kapitel 25 – Sprache und Lateralisierung von Gehirnfunktionen

- Für eine enge Beziehung zwischen dem schon bei der Geburt vorliegenden neuronalen Apparat und dem Erwerb und Gebrauch von **Sprache** spricht die Tatsache, dass der Spracherwerb über die verschiedenen Kulturen hinweg in fast gleicher Weise abläuft:
  - einfaches Plappern (6–7 Monate)
  - Übergang zur Einwortsprache (1 Jahr)
  - Zweiwortsprache, die schon gewissen syntaktischen Regeln folgt (2 Jahre)
  - die Bildung von ganzen Sätzen und die Entwicklung differenzierten Sprachgebrauchs (ab 3 Jahre)
- Man kennt aus der Tierwelt eine Fülle von **Kommunikationssystemen** zwischen Mitgliedern derselben Spezies. Die kommunikativen Äußerungen sind jedoch hierbei in unflexibler Weise an ihre Funktion gebunden (Meldung von Gefahren, Beschreibung der Lage von Nahrungsquellen, Paarungswunsch oder -bereitschaft). Schimpansen konnte man etwa 200 Wörter der Gehörlosensprache beibringen. Die Tiere waren dann in der Lage, damit bestimmte Wünsche auszudrücken. Allerdings lernten sie nicht ausreichend den Gebrauch sprachlicher Regeln, um die gelernten Wörter flexibel einzusetzen.
- Sprache ist hierarchisch organisiert: **Phoneme** sind Sprachklänge, aus denen die kleinsten bedeutungstransportierenden Einheiten der Sprache, die **Morpheme**, gebildet werden. Aus diesen lassen sich Wörter als die eigentlichen Träger von Bedeutung zusammensetzen und daraus unter Anwendung der Regeln der Syntax schließlich Sätze. Wörter und Sätze transportieren in der Regel Aussagen mit einer bestimmten Bedeutung – das ist die semantische Ebene.
- Das **Broca-Sprachzentrum** ist in erster Linie für Prozesse im Zusammenhang mit der Sprachproduktion entscheidend. Es ist linkshemisphärisch, frontal gelegen und korrespondiert mit den Brodmann- Arealen 44 und 45. Das Wernicke-Sprachzentrum, das v. a. der Analyse gesprochener Sprache dient, schließt sich kaudal an die erste Heschl-Querwindung (Gyrus temporalis transversus) an und beinhaltet das Planum temporale. Es ist der primären Hörrinde unmittelbar benachbart.
- Die vier wichtigsten **Aphasieformen** sind:
  - (1) die Broca-Aphasie als Störung der Sprachproduktion,
  - (2) die Wernicke-Aphasie als Störung des Sprachverständnisses mit vielen Paraphasien,
  - (3) die globale Aphasie als schwer gestörte Kommunikation bei stark eingeschränkter Sprachproduktion und
  - (4) die Leitungsaphasie mit Schwierigkeiten beim Wiederholen von Sätzen und beim Benennen von Objekten.
- Eine **Alexie** – die isolierte Unfähigkeit zum Lesen – geht in vielen Fällen auf eine Unterbrechung bzw. Dysfunktion der Verbindungen zwischen dem visuellen Kortex und den Sprachzentren zurück. Eine reine Agraphie – die isolierte Unfähigkeit zum Schreiben – kommt meist durch eine gleichzeitige Dysfunktion mehrerer Gehirnregionen zustande, die sowohl mit semantischen Aufgaben als auch mit visumotorischen Aufgaben befasst sind. Bei der Dyslexie – i.Allg. gleichgesetzt mit Legasthenie – konnte sich bisher trotz verschiedener Befunde hinsichtlich der veränderten Gehirnfunktionen und morphologischen Anomalien bei diesen Patienten kein befriedigendes Erklärungsschema etablieren.
- Häufig scheint bei **dyslektischen Patienten** die Schwierigkeit zu existieren, schnell dargebotene und mit starken Kontrasten versehene visuelle Reize adäquat zu verarbeiten. Auch bei der zeitlichen Auflösung schnell aufeinanderfolgender akustischer Signale zeigen sich meist deutlich erhöhte Fehlerraten. Eine paarige Anlage von Gehirnstrukturen zeigt sich v. a. im Bereich der Hirnrinde. In tiefer liegenden Strukturen findet sich zwar keine strenge Separation mehr, dennoch liegt in fast allen Formationen eine spiegelbildliche Symmetrie vor. Erstmals wurde eine psychische Funktion, die Sprache, von Paul Broca (1861) mit der linken Gehirnhemisphäre in einen definitiven Zusammenhang gebracht. Neben der Sprache sind weitere Funktionen lateralisiert, allerdings nur mäßig, d. h., diese Funktionen werden ungleich detailliert von den beiden Hemisphären bearbeitet. Der auffallendste und am besten abgesicherte anatomische Unterschied zwischen den beiden Hemisphären ist eine linksseitige Vergrößerung des Planum temporale (Teil des

Wernicke-Sprachareals). Die Heschl-Querwindungen sind linksseitig ebenfalls dicker. Auch für die Gehirne Neugeborener sowie anderer Primaten zeigt sich dieser Befund.

- Bei **Split-Brain-Patienten** wurde durch einen neurochirurgischen Eingriff der Balken als direkte Verbindung zwischen den beiden Hemisphären ganz oder teilweise durchtrennt. Nach diesem Eingriff kann man die Tätigkeit einer Hemisphäre isoliert von der anderen studieren, wenn man nur eine Hirnhälfte selektiv mit Information versorgt. Ein Hauptergebnis besteht darin, dass bei Split-Brain-Patienten visuell dargebotene Information nur dann der sprachlichen Verarbeitung zugänglich ist, wenn sie in die linke Hemisphäre gelangt. Allerdings kann auf diese Information nichtsprachlich, etwa durch taktiles Auswählen aus einer Ansammlung von Objekten, richtig reagiert werden. Auch ergaben sich einige Befunde, die für eine Überlegenheit der rechten Hemisphäre z. B. bei räumlichen Aufgaben sprechen.
- Wichtige Untersuchungsmöglichkeiten auf **Lateralisierung** bei Gesunden sind der Wada-Test, d. h. die selektive Anästhesie einer Gehirnhälfte, die dichotische Darbietung von akustischem Reizmaterial und die kurzzeitige visuelle Halbfeldprojektion. Mit diesen Verfahren konnten die Befunde zur Lateralisierung von Gehirnfunktionen, die sich bei Patienten ergeben hatten, im Wesentlichen repliziert werden.
- Es besteht ein schwacher Bezug zwischen **Händigkeit und Sprachdominanz**. Bei 95–99% der Rechtshänder und etwa 70% der Linkshänder ist die Sprachkompetenz linksseitig lokalisiert. Für eine Überlegenheit der rechten Hemisphäre bei räumlichen Aufgaben sprechen Befunde bei Split-Brain-Patienten. Diese lösen praktische räumliche Aufgaben häufig besser mit der linken Hand. Bei der Analyse von Gesichtern scheint die rechte Hemisphäre eine Überlegenheit aufzuweisen. Aus der klinischen Praxis gibt es Hinweise, dass emotionale Prozesse mit einem gewissen Übergewicht rechtshemisphärisch ablaufen. Auch bei Gesunden zeigen sich Hemisphärenunterschiede in der Wahrnehmung und Verarbeitung von Emotionen. Negativ getönte emotionale Prozesse scheinen unter stärkerer Beteiligung der rechten Hemisphäre abzulaufen, positiv getönte dagegen unter stärkerer Aktivierung der linken.
- **Musikverarbeitung und -produktion** sind mit einer stärkeren Beteiligung der rechten Hemisphäre verbunden. Darauf weisen hauptsächlich Befunde an Patienten hin. Es spricht einiges dafür, dass Männer eine Überlegenheit bei rechtshemisphärischen Leistungen aufweisen und Frauen bessere Ergebnisse bei linkshemisphärischen Aufgaben erbringen. Diese – allerdings schwachen – Unterschiede zeigen sich besonders deutlich in den Bereichen Sprache (Frauen überlegen) sowie visuell-räumliche und mathematisch-geometrische Fähigkeiten (Männer überlegen).

## Kapitel 26 – Methoden der Biologischen Psychologie

- Das klassische Verfahren zur Strukturaufklärung des Gehirns ist die **Lichtmikroskopie** mit einer Auflösung von max. 0,25 mm. Mit dem Elektronenmikroskop erreicht man Auflösungen bis zu etwa 0,3 nm. Hiermit lassen sich synaptische Systeme und Membranstrukturen bis hin zu Ionenkanälen sichtbar machen. Zur plastischen Darstellung der Struktur von Gewebeoberflächen dient das **Rasterelektronenmikroskop**. Bei der **Fluoreszenzmikroskopie** können bestimmte Gewebsbereiche farblich sichtbar gemacht werden. Mit dem **STED-Fluoreszenzmikroskop** lässt sich eine Auflösung bis hin zu wenigen Nanometern erreichen. Mit der **Meerrettichperoxidase-Technik** kann man selektiv für einen bestimmten Ort des Gehirns feststellen, über welche Leitungswege und zu welchen Zellkörpern von hier aus axonale Verbindungen bestehen. Die **Mikrodialyse** ist ein tierexperimentelles Verfahren zur Bestimmung der Konzentration chemischer Substanzen, v. a. Neurotransmittern, in einzelnen Regionen des lebenden Gehirns.
- Man unterscheidet im **EEG** (1) die Spontanaktivität und (2) die evozierte (ereigniskorrelierte) Aktivität. Die **Spontanaktivität** zeigt sich als eine ununterbrochen an der Schädeloberfläche registrierbare Spannungsschwankung. Alphawellen besitzen eine Frequenz von 8–13 Hz. Sie kennzeichnen den entspannten Wachzustand. Das EEG einer wachen Person zeigt neben den Alphawellen immer auch Betawellen (14–30 Hz). Thetawellen (4–7 Hz) sind selten. Ihr Auftreten deutet i. Allg. auf einen stark desaktivierten Zustand wie Einschlafen, Dösen oder Meditation hin. Deltawellen (0,5–3 Hz) finden sich beim gesunden Erwachsenen nur in Phasen des Tiefschlafs. Aktivität im sog. Gammaband (31–60 Hz) dürfte eine Begleiterscheinung des Zusammenspiels verschiedener, räumlich weit auseinanderliegender Neuronengruppen sein.  
Die **evozierte Aktivität** tritt nur im Zusammenhang mit »Ereignissen« – Reizen, motorischer Aktivität, Handlungsintentionen – auf. Hierbei trennt man zwischen frühen und späten Komponenten: Die frühen Komponenten werden in ihrer Ausprägung primär durch die Reizeigenschaften determiniert, die späten spiegeln eher die für das Subjekt spezifischen Verarbeitungsprozesse wider. Die Contingent Negative Variation ist eine langsame Potenzialverschiebung zu negativen Werten, die sich sekundenschnell während Erwartungssituationen aufbaut.
- Die physiologische Basis für das EEG sind **exzitatorische und inhibitorische Potenziale**, überwiegend an den Apikaldendriten von kortikalen Pyramidenzellen. Die damit einhergehenden Ladungsverschiebungen sind von Dipolfeldern begleitet, die auch an Elektroden an der Kopfoberfläche noch zu messbaren Spannungsschwankungen führen. Die typischen EEG-Rhythmen werden entweder durch intrakortikale Netzwerke erzeugt (Beta- und Gamma- Rhythmus) oder durch thalamokortikale Feedbackschleifen (Alpha- Rhythmus) bzw. hippocampokortikale Verschaltungen (Theta- Rhythmus).
- Die **EEG-Registrierung** geschieht stets mit mehreren Elektroden. Ein weitverbreitetes Positionierungssystem für 20 Elektroden ist das sog. 10-20-System. Der wichtigste Parameter des Spontan-EEG ist die Frequenzverteilung. Damit wird wiedergegeben, welche Zeiteile einer bestimmten Untersuchungsperiode von den verschiedenen Frequenzen bzw. Frequenzbändern eingenommen werden.
- Um ereigniskorrelierte Potenziale von der sehr viel höheren Spontanaktivität zu trennen, bedient man sich i. Allg. des **Mittelungsverfahrens** (Averaging). Hierzu müssen die zu untersuchenden Reaktionen mehrfach ausgelöst werden, was wiederholte Reizdarbietungen erfordert. Das ereigniskorrelierte Potenzial besteht im Regelfall aus mehreren Maxima und Minima, den sog. Komponenten. Diese werden durch ihre Amplitudenhöhe und ihre Latenz beschrieben. Um die gleichzeitig herrschende Aktivität unter einer großen Zahl von Elektroden bildlich darzustellen, bedient man sich des Brain-Mapping. Hierbei werden die Punkte gleicher Aktivität an der Kopfoberfläche durch gleiche Farben dargestellt. Damit gewinnt man eine Art Landkarte der registrierten Aktivität.
- Die **Computertomographie** (CT) ist ein bildgebendes Verfahren auf der Basis von Röntgenstrahlen. Das zu untersuchende Körpergebiet wird mit einem fächerförmigen Röntgenstrahl aus verschiedenen Richtungen durchleuchtet. Man kann Schichtaufnahmen anfertigen, d. h. sukzessiv eng benachbarte Gewebsschichten darstellen, womit man Information über die dreidimensionale Struktur des Untersuchungsgebietes erhält.
- Die Basis der **Magnetresonanztomographie** (MRT) ist das Verhalten des Kernspins in starken Magnetfeldern. Mithilfe der MRT kann man detailliertere Bilder des Gehirns anfertigen als beim CT. Außerdem lassen sich durch spezielle Techniken auch lokale Durchblutungsveränderungen und die

neuronale Aktivität innerhalb kleiner Volumina des Gehirns registrieren. Es muss hier keine ionisierende Strahlung zur Untersuchung verwendet werden.

- Die **Positronenemissionstomographie** (PET) gestattet einerseits das Studium von Stoffwechselfvorgängen im Gehirn, andererseits auch die Identifizierung von bestimmten Proteinen (z. B. Rezeptoren), an die sich radioaktive Markiersubstanzen anlagern. Die Technik beruht auf dem Zerfall von Positronen beim Zusammenstoß mit Elektronen, was unter Abstrahlung von Gammaphotonen geschieht. Für PET-Aufnahmen ist es erforderlich, dass die zu untersuchende Person ein kurzlebiges Radionuklid aufnimmt.
- Mit der **Single-Photon-Emissions-Computertomographie** (SPECT) kann man z. B. die regionale Hirndurchblutung oder die Dichte einzelner Rezeptoren im Gehirn bestimmen. Die Untersuchung kann mit kommerziell erhältlichen radioaktiven Markierungssubstanzen durchgeführt werden. Es können einfachere Kameras verwendet werden als beim PET. Auch mit SPECT lassen sich Schnittbilder erzeugen.
- Bei der **transkraniellen Magnetstimulation** (TMS) wird über eine Spule ein starkes Magnetfeld innerhalb kleiner Kortexareale erzeugt. Dadurch wird hier die neuronale Aktivität – je nach Stimulationsfrequenz – entweder gesteigert oder unterbrochen. Mit diesem Verfahren können z. B. aktive Kortexbereiche in ihrer Arbeit gestört werden und gleichzeitig die Einflüsse auf der Ebene des Verhaltens bzw. des subjektiven Empfindens registriert werden. Es lassen sich mit diesem Verfahren auch kortikale Reorganisationsprozesse im Zusammenhang mit dem reduzierten bzw. gesteigerten Gebrauch von Muskelgruppen studieren. Die Indikatoren der Psychophysiologie betreffen neben der Aktivität des Gehirns die Aktivität des Vegetativums und der quergestreiften Muskulatur.
- Die **wichtigsten vegetativen Funktionsbereiche** sind das Herz, das Gefäßsystem, die Haut und das Auge. Die diesbezüglichen Verfahren sind v. a. geeignet, Aktivationsvorgänge zu studieren. Diese können im Zusammenhang mit emotionalen Reizen, aber auch mit Stressbelastung oder kognitiven Prozessen auftreten. Ihre Vorteile liegen in einer gewissen Spezifität für die Stimulationsbedingungen, einer i. Allg. einfachen Aufzeichnungstechnik und der geringen Belastung für die Probanden.