

Basiswissen Biopsychologie

Ein Lernskript für Studierende der Psychologie

KARIN BORN, MARKUS HEINRICHS

Psychologisches Institut Bonn, 1993

(mit kleinen Ergänzungen durch PINEL, 1996 und BIRBAUMER & SCHMIDT, 1999)

1. Biopsychologie – Eine integrative Neurowissenschaft

- Gehirn und Verhalten – in der Biopsychologie geht es um die Schnittstelle. Verschieden weit gefaßt. Zusammenfassung aller biologischen Prozesse und Verhalten.
- Vier wesentliche Disziplinen:
 - *Physiologische Psychologie*
 - Untersuchung biologischer Vorgänge und neuronaler Strukturen anhand direkter elektrischer, mechanischer oder pharmakologischer Reizung; Registrierung oder Zerstörung der Hirnaktivität; Tierversuch
 - *Psychopharmakologie*
 - Das Studium der Wirkung unterschiedlicher Substanzen auf das Verhalten
 - *Neuropsychologie*
 - Menschen als Probanden; Untersuchung insbesondere von Patienten mit Störungen und Ausfällen der Hirntätigkeit; Entwicklung neuropsychologischer Testverfahren; Diagnostik; Rehabilitationsverfahren
 - *Psychophysiologie*
 - Am Menschen werden die Beziehungen zwischen biologischen Vorgängen fast ausschließlich mit nicht-invasiven Registrier- und Meßmethoden und physiologischen Antworten untersucht (EEG, EMG, EOG etc.).
- Die Aufgabe der integrativen Neurowissenschaft ist es, die verschiedenen Herangehensweisen miteinander zu verbinden (*Konvergenz* der Forschung).

2. Das Zentralnervensystem

2.1. Aufbau des Nervensystems

- Nervensystem
 - Zentralnervensystem (ZNS)
 - Hirn
 - Rückenmark
 - Peripheres Nervensystem (PNS)
 - Autonomes Nervensystem (ANS) *oder* Vegetatives Nervensystem (VNS)
 - afferent
 - efferent
 - Parasympathisches Nervensystem
 - Sympathisches Nervensystem
 - Somatisches Nervensystem (SNS)
 - afferent
 - efferent
- Afferente Nervenfasern (*Afferenzen*): ziehen von den Rezeptoren zum ZNS
- Efferente Nervenfasern (*Efferenzen*): leiten vom ZNS in die Peripherie
 - Jeder Nerv enthält afferente und efferente Nervenfasern.

- *Richtungsbezeichnungen*: oben (superior, cranial); unten (inferior, caudal); vorne (anterior, rostral bzw. ventral); hinten (posterior bzw. dorsal); proximal vs. Distal
- *Schnittbildebene*n: horizontal; coronar/frontal; sagittal

2.2. Das Rückenmark

- Das ZNS ist vom Schädel (Kalotte) bzw. dem Wirbelkanal umgeben.
- Zwischen zwei Wirbeln liegt ein Rückenmarkssegment (*Dermatom*).
- Unterteilungen des Rückenmarks:
 - Halsmark (*Cervical-*), Brustmark (*Thoracal-*), Lendenmark (*Lumbal-*) und Kreuzmark (*Sacral-*)
- Graues und Weißes Rückenmark
- *Vorderwurzeln* (für die Efferenzen); *Hinterwurzeln* (für die Afferenzen)

2.3. Hirnhäute und Ventrikel

- Hirnhäute (Meninges): *Dura Mater*, *arachnoide Membran*, *Pia Mater*
- *subarachnoidaler Spalt* mit *Cerebrospinalflüssigkeit*
- arterielle Blutversorgung über vertebrale Arterien und innere Carotiden
- *Ventrikel* (I–IV); Aquädukt; Zentralkanal

2.4. Die Strukturen des Gehirns und seine Funktionen

- **GEHIRN (ENCEPHALON)**
 - RAUTENHIRN
 - **Myelencephalon (Nachhirn)**
 - Medulla oblongata
 - *Formatio reticularis; aufsteigendes retikulares System (ARAS)*
 - *Atmungszentrum; Speichelsekretion; motorisches Zentrum der Extremitäten (Muskeltonus); Kreislaufregulation*
 - **Metencephalon (Hinterhirn)**
 - Cerebellum
 - *sensorische Funktionen (Haltung, Bewegung, Gleichgewicht, Koordination des Stützmotorik, schnelle Zielmotorik, Korrektur langsamer zielmotorischer Bewegungen)*
 - Pons
 - *Formatio reticularis (s.o.)*
 - MITTELHIRN
 - **Mesencephalon (Mittelhirn)**
 - Tectum
 - *superior colliculi und inferior colliculi*
 - *einfache motorische Koordination*
 - Tegmentum
 - *Formatio reticularis; sensorische rote Kerne; substantia nigra*
 - *Orientierungsbewegungen und reflexartige Reaktionen*
 - VORDERHIRN
 - **Diencephalon (Zwischenhirn)**
 - Thalamus
 - *enge afferente und efferente Beziehungen zum Cortex cerebri*
 - *thalamische Kerne: sensorische Relaykerne (Weiterleitung zur Hirnrinde)*
 - *Corpus geniculatum lateralis – visuelles System*
 - *Corpus geniculatum medialis – auditives System*
 - *Nucleus ventroolaris posterioris – Mechanosensorik*
 - *Steuerung von Aufmerksamkeitsprozessen aufgrund von Informationen aus den Basalganglien und dem Cerebellum*
 - *Einige Kernstrukturen des Thalamus sind Teil des limbischen Systems.*

- **Hypothalamus**
 - *enge afferente und efferente Einheit mit dem limbischen System*
 - *verantwortlich für Motivation und Emotion*
 - *mit allen über- und untergeordneten Strukturen des ZNS efferent und afferent verbunden*
 - *der Hirnanhangsdrüse (Hypophyse) vorgeordnet*
 - *wichtig: Modulation des ANS und Konstanthaltung des inneren Milieus (Homöostase); Lernvorgänge; Emotionen; non-homöostatische Triebe (Sexualität, Aggression); Aufmerksamkeitsverhalten; kognitive Funktionen*
- **Telencephalon (Endhirn)**
 - *beide Hemisphären sind mit Commissuren verbunden; Corpus Callosum*
 - *Assoziationsfasern: Verbindungen der Großhirnrindenzellen innerhalb einer Hemisphäre*
 - *Projektionsfasern: afferente und efferente Bahnungen, die in das Großhirn ein- und aus ihm heraustreten*
 - **Neocortex (Hirnrinde, Cortex Cerebri)**
 - *4–5mm dicke graue Substanz mit Zellkörpern und Dendriten, darunter eine weiße Substanz mit myelinisierten und unmyelinisierten Nervenfasern*
 - *Furchungen (Sulci)*
 - *Windungen bzw. Auftreibungen (Gyri)*
 - *Lappen (Lobi): Stirnlappen (L. frontalis), Scheitellappen (L. parietalis), Hinterhauptslappen (L. occipitalis) und Schläfenlappen (L. temporalis)*
 - *Sechs Schichten:*
 - *I–IV: primär Empfang von Afferenzen*
 - *V–VI: efferente Bedeutung*
 - *I–II: afferente Fasern aus anderen corticalen Regionen (Assoziationsfasern), aus der gegenüberliegenden Hemisphäre (Commissuren) und aus dem unspezifischen Thalamus*
 - *III–V: Pyramidenzellen; erhalten Afferenzen von den thalamischen Fasern aus den Sinnessystemen*
 - *Die Areale, die nicht sensorisch oder motorisch sind, sind Assoziationsareale.*
 - *Initiation willentlicher Bewegungen, Interpretation sensorischer Reize, Steuerung kognitiver Prozesse (Lernen, Sprache, Problemlösen etc.)*
 - **Basalganglien**
 - *willentliche motorische Bewegung*
 - *Steuerung von Informationen, die vom Thalamus zum Cortex geschaltet werden*
 - *kognitive Funktionen und Aufmerksamkeit*
 - *Globus pallidus*
 - *Putamen*
 - *Nuclei caudati*
 - *Amygdala*
 - *Striatum: Caudatus & Putamen zusammengefaßt*
 - **Limbisches System**
 - *Papez-Kreis: »Hippocampus – Mamillarkörper – Vicq d'Azur'sches Bündel – Nucleus anterior – Gyrus cinguli – Hippocampus«*
 - *als Grundlage der Emotionen postuliert*
 - *Beteiligung an hormonellen, vegetativen und somatischen Prozessen*
 - *Abwehrverhalten; nutritives und reproduktives Verhalten*
 - *Wach-Schlaf-Rhythmus*
 - *Lernprozesse; Gedächtnis*
 - *primitive Merkmale der Objekterkennung*
 - *Neuigerverhalten und Freude*
 - **Amygdala (Mandelkern)**
 - *neben afferenter Riechfunktion*
 - *emotional-motivationale Funktion; Wahrnehmung, Analyse und Steuerung visceral-körperinterner Informationen*
 - **Hippocampus**
 - *kognitive Funktionen*
 - *Vergleich ankommender und gespeicherter Informationen*
 - *Teil des neocorticalen Assoziationskortex*
- **Hirnstamm: Myelencephalon, Metencephalon & Mesencephalon**

3. Erregung – Entstehung, Leitung und Hemmung

3.1. Bestandteile des Nervensystems

- Nervenzellen (Neurone) sind in ihrer Form und Größe unterschiedlich, haben aber die gleichen grundsätzliche Bestandteile:
 - semipermeable Membran; *Soma* (Zellkörper) mit *Cytoplasma* (Flüssigkeit) gefüllt; *Nucleus* (Zellkern mit DNA); *Axon* mit *Axonhügel*; *Dendriten* (wie das Soma Kontaktstelle für andere Axone); *Kollaterale* (Verzweigungen der Axone)
- Axon und umgebende Gliazellen (hier: Schwann–Zellen) bilden eine *Nervenfasern*.
- Ein *Nerv* ist ein Bündel von Nervenfasern.
- Wickeln sich die *Schwann–Zellen* mehrfach um die Axone, so werden diese myelinisiert.
 - markhaltige Nervenfasern: myelinisiert
 - marklose Nervenfasern: ohne Myelin (Lipoid–Protein–Gemisch)
- *Ranviersche Schnürringe*: Unterbrechungen der *Myelinschicht*
- Leitungsgeschwindigkeit: 1 – 100 m/s. Markhaltige Fasern leiten schneller (verschiedene Klassifikationen)
- Die Neurone sind von Gliazellen (die stützen und ernähren), Blutgefäßen und dem Interstitium umgeben.
 - *Interstitium*: flüssigkeitsgefüllter, extrazellulärer Raum zwischen den Nerven–, Blut– und Gliazellen. Jeglicher Stoffaustausch (Neuron–Neuron; Neuron–Zelle; Neuron–Blutgefäß) erfolgt in und aus dem Interstitium.
- Nährstoffe für die Neurone müssen zuerst die Gefäßwand (Capillarmembran) des Blutgefäßes durchdringen und anschließend die Zellmembran des Neurons.
- *Blut–Hirn–Schranke*: Undurchlässigkeit der Capillarmembran für viele Stoffe.

3.2. Das Membranpotential

- Membranpotential: *elektrische Potentialdifferenz* zwischen dem Zellinneren und der extrazellulären Flüssigkeit. (Messung via inter– und extrazellulärer Elektrode)

3.3. Das Ruhepotential

- Das Membranpotential ohne äußere Einflüsse ist das Ruhepotential.
- Resultiert aus den intra– und extrazellulären Ionenkonzentrationen.
- Das Zellinnere ist negativ geladen (Anionenüberschuß) und an der Membranaußenseite herrscht ein Kationenüberschuß. Vier Faktoren halten das Membranpotential konstant:
 - Diffusion (passiv). Brownsche Molekularbewegungen; Herstellung gleicher Dichten
 - Elektrostatischer Druck (passiv). Gleiche Ladungen stoßen sich ab.
 - Unterschiedliche Permeabilität (passiv) der Ionenkanäle für Na^+ , K^+ und Cl^- -Ionen.
 - Na–K–Pumpen (aktiv). Aktive und energieverbrauchende (Na^+ – K^+ –ATPase) Mechanismen, die Na^+ -Ionen durch die neutrale Membran heraus und K^+ -Ionen hineinbefördern.

3.4. Das postsynaptische Potential

- Postsynaptische Potentiale werden durch *Neurotransmitter* des synaptischen Neurons generiert.
- Ob ein Transmitter eine hemmende oder erregende Wirkung hat, bestimmt die Beschaffenheit der subsynaptischen Membran.
- Ein Neuron übt entweder eine erregende oder hemmende Wirkung aus, wobei die Transmitter durchaus die gleichen sein können.

- NEUROTRANSMITTER
 - **Aminosäuren**
 - *mehrheitlich schnell wirkend und zielgerichtet*
 - Glutamat (meist erregend)
 - Glycin (meist hemmend)
 - Aspartat
 - Gamma–Aminobuttersäure (GABA; hemmend)
 - **Monoamine**
 - *diffusere Wirkweise; in Neuronengruppen im Hirnstamm zu finden*
 - Katecholamine
 - Dopamin, Noradrenalin, Adrenalin
 - Indolamine
 - Serotonin
 - **lösliche Gase**
 - Stickoxid & Kohlenmonoxid
 - **Acetylcholin**
 - *aktiv an neuromuskulären Verbindungen, vielen Synapsen im ANS und überall im ZNS*
 - **Neuropeptide**
 - *Neuromodulatoren – chemische Botenstoffe, die nicht selbst Signale in anderen Zellen induziert, sondern die Empfindlichkeit von Neuronenpopulationen für erregenden oder hemmenden Signale schnellwirkender, gerichteter Synapsen reguliert.*
 - Endorphine
- erregende *postsynaptische* Potentiale (**EPSP**). Depolarisation der Zelle; Glutamat, Substanz P.
- inhibitorische *postsynaptische* Potentiale (**IPSP**). Hyperpolarisation der Zelle; Glycin.
- *Eigenschaften der postsynaptischen Potentiale*
 - graduiert (Amplituden proportional zur Intensität des Inputs)
 - sie breiten sich passiv von der Seite ihrer Generierung her aus, wobei die Reizstärke beständig schwächer wird
 - sie werden schnell übertragen, wie »Elektrizität durch ein Kabel«
- *präsynaptische* Hemmung
 - keine Veränderung des Erregungszustandes der postsynaptischen Membran, da die Transmitterfreisetzung bereits an der präsynaptischen Membran durch die Aktivierung axo–axonischer Synapsen abgeschwächt oder unterbunden wird
- Neurone sind meist mit hunderten von Synapsen besetzt, so daß es von der *Integration* der hemmenden und erregenden Potential abhängt, ob ein Neuron feuert. Diese Integration, auch *Bahnung* genannt, kann zwei Formen annehmen:
 - zeitliche Bahnung
 - räumliche Bahnung

3.5. Das Aktionspotential

- Das Aktionspotential (AP) wird am Axonhügel ausgelöst, wenn das Membranpotential auf eine bestimmte Erregungsschwelle (etwa -60mV) depolarisiert wird. Die verschiedenen Anteile:
 - Aufstrich
 - Depolarisationsphase
 - Overshoot
 - Repolarisationsphase
 - Nachpotentiale
- Aktionspotentiale sind *nicht graduiert*. (»Alles–oder–nichts–Gesetz der Erregung«)
- *Informationen* werden im Nervensystem somit nicht über die Form der Impulse, sondern über die *Impulsfrequenz* (Anzahl pro Zeiteinheit) codiert (bis maximal 500 Impulse pro Sekunde)
- Dem AP zugrunde liegende *Ionenströme*: durch die *Depolarisation* erhöht sich die Na^+ –Leitfähigkeit, wodurch diese einströmen – es kommt zum Overshoot. Dabei kommt es zu einem vermehrten Cl^- –Einstrom. Mit einer Verzögerung von weniger als 1 ms kommt es nach Beginn der AP–Auslösung zu einer *Erhöhung der K^+ –Leitfähigkeit*.

3.6. Fortleitung des Aktionspotentials

- Zwischen erregter und unerregter Membranstelle kommt es zu einem elektrischen Spannungsunterschied, an dem entlang Strom aus dem depolarisierten zu einem noch nicht depolarisierten Bereich fließt (das Axon entlang).
- *anterograde* oder *orthodrome Erregungsleitung*: Strom fließt in Richtung Synapse
- *retrograde* oder *antidrome Erregungsleitung*: Strom fließt zum Axonhügel hin
- *Erregungsleitung* am Axon: verläuft *aktiv, langsamer, nahezu gleichbleibende Reizstärke* (im Gegensatz zu EPSP und IPSP)
- myelinisierte Fasern leiten schneller; *saltatorische Erregungsleitung*
- *absolute Refraktärphase* (etwa 1 ms nach der AP-Auslösung). In dieser Zeit kann, unabhängig von der Reizstärke, kein weiteres AP ausgelöst werden.
- *relative Refraktärphase* – die Zeit, in der es eines stärkeren Reizes als normal bedarf, um ein weiteres Aktionspotential auszulösen.

- Beispiel an einer motorischen Endplatte

- Vielfalt neuraler Funktionen – fünf zentrale Aspekte:
 - *Neurone ohne Axon und AP*
 - *Interneurone*. Sie sind klein und bilden keine Aktionspotentiale aus (Bsp.: visuelles System).
 - *Vielfalt synaptischer Kontakte*
 - axo-somatisch, axo-axonisch, axo-dendritisch; dendro-axonisch, dendro-dendritisch
 - *Elektrische Synapsen*
 - synaptischer Spalt nicht 20 nm sondern 2 nm – direkte elektrische Erregungsübertragung; Bezeichnung: *Nexus* oder *gap junction*. Name der Kanalproteine, durch die der Strom fließt: *Connexone*. Bsp.: glatte Muskeln, wie das Herz
 - *Nondirekte Synapsen*
 - Ort der Transmitterfreisetzung und Ort der Transmitterwirkung liegen weiter auseinander.
 - *Spontanaktive Neuronen*
 - Eine externe Stimulation der Neurone ist nicht (überall) nötig: ein Großteil der Neurone im ZNS feuert spontan (Bsp.: alle Neurone des visuellen Cortex).

4. Das visuelle System als Beispiel sensorischer Systeme

4.1. Grundbegriffe der Sinnesphysiologie

- Umwelt und Körper werden durch spezielle Sinnesorgane erfahren. Die Informationen, auf die ein Sinnesorgan optimal reagiert, heißen *adäquate Reize*.
- *objektive Sinnesphysiologie*: Untersuchung der Auslösung und Weiterleitung von Reizen
- *subjektive Sinnesphysiologie* (Wahrnehmung): beschäftigt sich mit den Empfindungen und Wahrnehmungen, die die Aktivität des Sinnesorgans auslöst
- *Psychophysik*: Untersuchung der Beziehungen von Reizgröße und subjektiver Empfindungsgröße
- *Psychophysiologie*: gleichzeitige Messung und Verknüpfung objektiver Ereignisse an Sinnesorganen oder zentralnervösen Strukturen mit (und) subjektiven Wahrnehmungen und Verhaltensweisen

4.2. Grunddimensionen der Empfindung

- Grunddimensionen jeder Empfindung und ihrer zugeordnete Reaktion im sensorischen Nervensystem:
 - Räumlichkeit
 - Zeitlichkeit
 - Qualität
 - Quantität (Intensität); Amplitude des Rezeptorpotentials; Frequenz der APs der sens. Nerven

- Modalität vs Qualität
 - *Modalität*: Gruppe ähnlicher Sinneseindrücke, die durch ein Sinnesorgan vermittelt werden
 - *Qualität*: weitere Differenzierung innerhalb eines Sinnesorgans (etwa Farben Rot, Grün und Blau)

4.3. Das Auge

- adäquate Reize sind *elektromagnetische Schwingungen* im Bereich von 400 bis 800 nm; sichtbares Licht
 - Licht von nur einer bestimmten Wellenlänge wird als *monochromatisch* bezeichnet
- Brechung des Lichts an der *Cornea*
- Fokussierung des einfallenden Lichts durch die (Krümmung der) *Linse*
 - Kontrolle der Linse mit Hilfe der *Zonulafasern* und den *Ciliarmuskeln*
- schärfster Punkt des Sehens ist die *Fovea centralis*
- Regulation des Lichteinfalls mit Hilfe der *Iris* (»Blende«)
- Je weiter entfernt das beobachtete Objekt ist, desto paralleler stehen die Augen, je näher das Objekt, desto stärker konvergieren sie.
- Durch die *Querdisparation* (Differenz zwischen den von einem Objekt erzeugten Abbildern auf den Netzhäuten der beiden Augen) wird das *dreidimensionale Sehen* möglich.

4.4. Die Netzhaut (Retina) und die Rezeptoren des visuellen Systems

- Die Retina hat zwei Rezeptorsysteme: Stäbchen und Zapfen.
- An diese schließen sich die *Horizontalzellen*, *Bipolarzellen*, *Amakrinen* und zuletzt die retinalen *Ganglienzellen an*.
- Das Licht muß zuerst diese Zellen passieren, bevor es von den Rezeptorzellen aufgenommen wird.
 - Nur an der *Fovea centralis* trifft das Licht direkt auf die Rezeptoren. An diese Stelle gibt es nur die farbächtigen Zapfen.
- Die Axone der retinalen Ganglienzellen, der Sehnerv, tritt am sogenannten »*blinden Fleck*« aus.

4.4.1. Die Zapfen und die Stäbchen

- Zapfen (photopisches Sehen): sind für das scharfe und das Farbsehen zuständig; etwa 6 Millionen
- Stäbchen (skotopisches Sehen): Schwarz–Weiß–Sehen; etwa 120 Millionen
- In den Außengliedern der Rezeptorzellen sind *Sehfarbstoffe* eingelagert, die bei Belichtung in bestimmte Zwischenstufen zerfallen und damit das *Membranpotential*, in diesem Falle das *Sensorpotential* verändern (Sehfarbstoff der Stäbchen: *Rhodopsin*).
- Dieses Sensorpotential entsteht auch im allgemeinen durch die Reizung von Sinnesrezeptoren und ist meistens durch eine Depolarisation der Zelle charakterisiert. Das Sensorpotential dauert so lange wie der Reiz und seine Amplitude wächst mit der Reizstärke. Das bedeutet, daß die sensorische Umwandlung der Reize in Potentiale reizabbildend ist und nicht, wie sonst bei Zellen bekannt, nach dem Alles–oder–Nichts–Prinzip funktioniert. Generell wird die Umwandlung des Reizes in Sensorpotentiale auch *Transduktion* genannt.
- Die Sensorpotentiale werden elektronisch an den Anfangsabschnitt des (erregbaren) Axons geleitet und lösen dort Aktionspotentiale aus. Die Umwandlung von Sensorpotentiale in Erregung wird wieder *Transformation* genannt.
- Für ds Rhodopsin stellt sich bei gegebener Belichtung ein Gleichgewicht zwischen Zerfalls– und Wiederaufbauprozess ein. *Hell–Dunkel–Adaptation*.
- Bezüglich aller sensorischen Systeme kann man *Adaptationen* feststellen (das Sensorpotential wird bei konstantem Reiz immer kleiner). *Adaptation* (vor allem die Schnelligkeit) ist immer von den Eigenschaften des Sensors abhängig. *Lokaladaptationen*: je nach Netzhautbild (schwarzer Strich, weißes Blatt), ist die *Adaptation* unterschiedlich, es kommt zu *Nachbildern*.

- *Trichromatische Theorie des Farbsehens* (T. YOUNG, 1773–1829).
 - Mit drei Farben (Primärfarben rot, grün, blau) ist es möglich alle anderen Farben zu mischen. Dies führte (mit anderen Hinweisen) zu der Annahme, daß die Retina über drei unterschiedliche farbempfindliche Sensortypen verfügt, das Farbsehen also auf der zunächst unterschiedlichen Aktivierung und der anschließenden gemeinsamen Verrechnung der Erregung dieser drei Farbsystem im visuellen System aufbaut.

4.4.2. Die retinalen Ganglienzellen und neuronal Verschaltungen

- Nach der Entstehung des Sensorpotentials breiten sich die Membranpotentiale langsam über die anliegenden Horizontal-, Bipolar- und amakrinen Zellen aus und zwar sowohl in *zentripetaler* (Photosensoren über Bipolarzellen auf die Ganglienzellen) Richtung als auch in *horizontaler* (über die Horizontal- und amakrinen Zellen).
 - Diese langsame Potentialausbreitung ist eine Besonderheit der Signalverarbeitung der Netzhaut und nicht bei anderen Sinnesrezeptoren zu finden.
- 125 Millionen Rezeptorzellen, aber nur 1 Million Ganglienzellen → *Konvergenz* der Signale
- *Konvergenz* ist durchaus typisch für die meisten sensorischen Systeme. Dabei bekommt jedes Neuron mehrere Afferenzen. Durch die Konvergenz benachbarter Sensoren kommt es zu einer räumlichen Summation (oder *Bahnung*) der synaptischen Potentiale. Ein schwacher Reiz kann dadurch verstärkt werden. Führen auf der anderen Seite sehr starke Reize zur »Sättigung« (maximale Erregung) des Neuronenverbands (*Occlusion*), werden direkt nebeneinander liegende Reize nicht mehr voneinander unterschieden.
- Bei der *Divergenz* hingegen breitet sich die Erregung eines Sensors auf mehrere umliegende Neurone aus. Damit wird die Lokalisation des Reizes verschlechtert. Andererseits werden schwache, auf wenige Sensoren wirkende Reize verstärkt weitergegeben.
- Um die Ausweitung der Erregung zu beschränken gibt es die *Hemmung* der Erregungsweiterleitung durch *Interneurone*. Diese sind mit den erregten Neuronen verschaltet und üben ihren hemmenden Einfluß bei Erregung aus. Der für die sensorische Weiterleitung wichtigste Mechanismus ist die *laterale Hemmung durch negative Rückkoppelung*. Dabei bildet sich um das Neuron eine Hemmzone aus, die auch auf die vorgeschalteten synaptischen Gebiete hemmend wirkt. Die Hemmung kann im Fall der *rezeptiven Felder* auch *kontrastverschärfende* Wirkung haben.
- *rezeptive Felder*
 - *ON-Zentrum-Neurone* (Neuron feuert bei Belichtung des Zentrums)
 - *OFF-Zentrum-Neurone* (Neuron feuert bei Belichtung der Peripherie)

4.5. Zentrale Weiterleitung und Verarbeitung visueller Informationen

4.5.1. Die subcortikalen Zentren der visuellen Verarbeitung

- Am *chiasma opticum* spalten sich die Sehnerven auf:
 - Die einen kreuzen und gelangen dann mit ihrem »Blickfeldäquivalent« aus dem anderen Auge in den Kerngebieten des *Thalamus*, dem *Corpus geniculatum laterale*.
 - Hier enden diese Axone synaptisch an der einzigen Umschaltstelle auf dem Weg zwischen Netzhaut und Hirnrinde.
 - *Nervus opticus – Chiasma opticum – Tractus opticus – Corpus geniculatum laterale – Radiatio optica – primärer visueller Cortex*
 - Die nicht-kreuzenden Nerven gelangen in die Kerne des *Hirnstammes* (*prätectale Region*) und die vorderen Hügel der *Vier-Hügel-Platte* (*Colliculi superiores*).
 - *Steuerung der Bewegung der Augen*; Neurone reagieren bevorzugt auf bestimmte (bewegte) Reizmuster

4.5.2. Die zentralen Zentren der visuellen Verarbeitung

- Aus dem *Corpus geniculatum laterale* geht es via Sehstrahlung in die primäre Sehrinde im

Okzipetalkortex und von dort in die sekundären und tertiären Cortices.

- *topologische Organisation* des primären visuellen Kortex: räumliche Erregungsmuster der Retina bilden sich entsprechend in der Sehrinde ab (die *Fovea centralis* allerdings viel stärker)
- Sechs unterschiedliche Zellschichten:
 - I–IV: bis hierhin gehen die Nervenfasern der Sehstrahlung
 - V–VI: eigentliche Informationsverarbeitung erfolgt senkrecht zur Zellschichtung
 - Anordnung der Neurone hier ist retinotop
 - Örtliche Aufteilung der Signalverarbeitung der verschiedenen Qualitäten (Farbe, Orientierung und Bewegung)
 - *einfache rezeptive Felder* (parallel angeordnet – nicht kreisförmig, wie im CGL)
 - *komplexe rezeptive Felder* (differenzierte Reizmuster: Hell–Dunkel–Konturen, Konturunterbrechungen)
 - *komplexe und hyperrezeptive Felder* (bewegte Reizmuster)

4.6. Weitere Eigenschaften des visuellen Systems

- *Kontrast- und Bewegungssehen*
 - bevorzugte Wahrnehmung von Reizänderungen. Bsp.: Simultankontrast
- *Flimmerfusionsfrequenz und Scheinbewegungen*
 - Licht wird in schneller Frequenz ein- und ausgeschaltet; Wahrnehmung als Dauerlicht
- *Binoculäres Sehen*
 - *Querdisparation*, Tiefensehen
- *Sehen und Wahrnehmen*
 - Die Augen liefern kein getreues Bild der Wirklichkeit.
 - Größenkonstanz der Objekte
 - Formkonstanz (Vervollständigung der Konturen)
 - optische Täuschungen; Fixationsperioden mit raschen Augenbewegungen (Sakkaden) mit Fixierungen auf auf Konturunterbrechungen und –überschneidungen
 - Blindsehen / Blindsight
 - Läsionen des visuellen Cortex. Menschen mit dieser Störung sehen bewußt keine ihnen dargebotenen Lichtbalken, können aber die Stelle, wo sie aufgetreten sind und die Orientierung der Lichtbalken angeben.
- *Oculomotorik und Blickmotorik*
 - Verschiebungen des Fixationspunktes, um eine Adaptation der Photosensoren auf den Dauerreiz zu verhindern.
 - Bei einem freien Blick in die Gegend bewegen sich die Augen gemeinsam (*konjugiert*) und in *Sakkaden* (von einem Fixationspunkt zum nächsten). Beim verfolgen eines bewegten Objektes kommt es zu gleitenden Bewegungen.
- *Reafferenzprinzip*
 - Bei Bewegung von Augen und Kopf bleibt die Umwelt trotzdem stabil, weil die Kommandozentralen für die Augenbewegungen (also Hirnstammkerne) zusammen mit den Bewegungsmeldungen im Gehirn verrechnet werden.

5. Motorische Systeme

- Haltung und zielgerichtete Bewegung sind die wichtigsten Komponenten.
- hierarchische Ordnung

5.1. Das Muskelgewebe

- Es gibt die glatte und die quergestreifte Muskulatur.

5.1.1. Die glatte Muskulatur

- Muskeln der Hohlorgane (Magen, Darm, Harnblase etc. aber nicht der Herzmuskel)
- Die vielen Muskelzellen eines Muskels gehen an ihren Enden in Sehnen über.
- Die *Myofibrillen* machen den Muskel kontraktionsfähig.
- Zum Teil zeigen glatte Muskeln spontane Aktivität (ohne besondere Erregung).
- Die Impulse für die nervale Erregung stammen aus den Nervenfasern des VNS; betroffen sind Arterien, Samenleiter, Iris- und Ciliarmuskeln

5.1.2. Die quergestreifte Muskulatur (Skelettmuskulatur)

- *Skelettmuskel* » *Faserbündel* » *Muskelfaser* » *Myofibrille* » *Sarkomeren* » *Myosin*
- An den abgeschrägten Enden gehen die Muskelfasern in *Sehnen* über, die sie mit den Knochen verbinden.
- Die *Myofibrillen* werden von *Z-Scheiben* in kleinere Abschnitte unterteilt, die *Sarkomere*.
- In der Mitte eines Sarkomeres liegen etwa 1000 langgestreckte Eiweiße (*Myosin*).
- *Muskelkontraktion*: Bei Erregung gleiten die Actinfilamente zwischen die Myosinfilamente, so daß sich zwar die Länge des Sarkomers, aber nicht die der Filamente ändert.
- Die *Gleitbewegung* wird durch die Kippbewegung der Köpfe der Myosinfilamente bewirkt (sg. »*Rudern*«) bewirkt, ATP-Verbrauch.
 - *Sarkomerkontraktion* durch Potentialverschiebung an der Membran der Muskelfaser.
 - Die nervalen Impulse kommen von *neuromuskulären (motorische) Endplatten*.
 - Transmitter: *Acetylcholin*

5.1.3. Regelung der Muskelkontraktion

- Zur Kontraktion eines Muskels bedarf es der Kontraktion hunderter bis tausender Muskelfasern.
- Die Erregung erfolgt durch vom Rückenmark ausgehende *Axone mit Kollateralen*.
- *motorische Einheit*: Motoneuron und das von ihm innervierte Kollektiv von Muskelfasern
- *Abstufbarkeit der Bewegung*: je nach Innervation (je weniger Kollaterale, desto feiner die Bewegung)
- Regulation der *Kraft und der Geschwindigkeit*:
 - *Erregungsfrequenz*
 - *Anzahl der aktivierten motorischen Einheiten* (und deren Größe)
- (*Muskel-*) *Tonus*: konstante Spannung, die durch bestimmte Entladungsfrequenzen und -verläufe möglich ist

5.2. Sensoren der Motorik

- *Proprioception* (Selbstwahrnehmung). Bedarf es zur Ausführung schneller Muskelbewegungen.
- *Dehnungsrezeptoren* wie *Muskelspindeln* und *Sehnenorgane (Golgi-Organ)* messen Länge und Spannung des Muskels (Sequenz und Intensität der Muskelspannung).
- Die *intrafusalen Muskelspindeln* werden afferent und efferent innerviert; die *Sehnenorgane* haben nur eine afferente Innervation

5.2.1. Die Muskelspindeln

- Die von einer bindegewebigen Kapsel umhüllten Muskelfasern werden *intrafusale Muskelfasern* genannt.
 - Die *extrafusalen Muskelfasern*, die den eigentlichen Muskel ausmachen, liegen darum herum.
- Um das Zentrum einer Muskelspindel schlingt sich mehrmals eine afferente Nervenfasern (*Ia-Faser*). Deren Endigung wird als *primäre sensible Endigung* oder *annulospirale Endigung* bezeichnet.
 - Die von dieser afferenten Nervenfasern ausgesandte *Impulsfrequenz ist der Dehnung (d.h. der Länge) des Muskels proportional*.
- motorische Innervation der intrafusalen Muskelfasern. (Funktion s. 5.2.3.1.)

5.2.2. Die Sehnenorgane

- Diese Dehnungsrezeptoren bestehen aus den *Sehnenansätzen* (Sehnenfaszikel) von etwa 10 extrafusalen Muskelfasern.
- Unterscheidung von den Muskelspindeln durch Entladungsfrequenz und Funktion.
- Dienen dem Schutz der Muskeln vor Überdehnung und der Konstanthaltung der Muskelspannung.

5.2.3. Spinalmotorik

5.2.3.1. Der monosynaptische Reflex (Eigenreflex, myotatischer Reflex)

- Beispiel: *Patellarsehnenreflex* (Kniescheibe)
 - Die kurzfristige Dehnung aktiviert dabei primäre Muskelspindelendigungen, so daß über die Ia-Faser eine Salve von Aktionspotentialen ins Rückenmark einlaufen und dort monosynaptische (einmal »verschaltet«) EPSP in den homonymen Motoneuronen auslösen.
- *kompletter Reflexbogen*: Rezeptor, afferenter Schenkel, einem (oder bei polysynaptisch mehreren) Neuron, einem efferenten Schenkel und einem Effektor (Wirkorgan)
- *Reflexzeit*: Latenzzeit zwischen Dehnung des Muskels und Effekt
 - abhängig von Leitungsgeschwindigkeit und Leitungsweg der afferenten und efferenten Nervenfasern, sowie der synaptischen Übertragung
- *Zweck* des monosynaptischen Dehnungs- oder Eigenreflex:
 - *Regulation und Kontrolle der Muskellänge*
 - *Aufrechterhaltung des Haltetonus in der Stützmotorik*
- *synergetisches Muskelpaar*: zwei Muskeln wirken parallel, gleichgerichtet, verstärkend
- *antagonistisches Muskelpaar*: zwei Muskeln wirken entgegengesetzt (einer verkürzt, der andere verlängert)
- Die Reflextätigkeit ist durch hemmende oder verstärkende Einflüsse auf Rückenmarksebene veränderbar.

5.2.3.2. Der polysynaptische Reflex

- Bei diesem Reflexbogen sind *mehrere zentrale Neurone hintereinander* geschaltet, wobei das Motoneuron immer das letzte Glied ist. Sensor und Effektor sind bei solchen Verschaltungen oft räumlich getrennt.
- *Vorteil* mehrfacher Verschaltung: Reflexbogen kann durch Bahnung oder Hemmung besser an die Bedürfnisse des Organismus angepaßt werden.
- Um die Erregungsstärke auf Höhe des Rückenmarks in Grenzen zu halten, gibt es Zwischenneurone (*Interneurone*), die hier *Renshaw-Zellen* heißen.
- Beispiele polysynaptischer Reflexe:
 - Lokomotionsreflex (Fortbewegung)
 - Nutritionsreflex (Nahrungsaufnahme)
 - Schutzreflex
 - Schreckreflex (startle reflex)
- Es gibt sowohl *räumliche* als auch *zeitliche Bahnung*.
- Im Gegensatz zu angeborenen Reflexbögen laufen erlernte Reflexbögen meist über höhere Abschnitte des ZNS.
 - Verweis auf klassisches Konditionieren

5.3. Zentrale Koordination und Steuerung von Bewegung

- Die zentralen Steuerungseinheiten des motorischen Systems haben sowohl efferente Verbindungen zu allen restlichen motorischen Einheiten, aber auch viele afferente Zuströme von Muskelspindeln und Rezeptoren.
- *hierarchisches Prinzip der Ordnung*: Die »Befehle« von ganz oben sind eher allgemeiner Art und werden mit absteigender Etage immer detaillierter.

5.3.1. Der Assoziationskortex (posteriorer parietaler Cortex)

- Informationen über die Körperhaltung wie auch über Position und Form der Objekte, mit denen er interagieren will.
- Mit seinen Zuflüssen aus mehreren sensorischen Systemen (visuell, auditiv, somatosensorisch) scheint er für die integrative Funktion geeignet.
- projiziert auf den sekundären Motorkortex des Frontallappens
- Er liefert die räumlichen Koordinaten, die die voluntäre Bewegung leiten.

5.3.2. Der sekundäre Motorkortex

- Liefert genaue Pläne über die Sequenzen der Muskelkontraktion.
 - prämotorischer Kortex (s.u.)
 - supplementäres motorisches Feld (s.u.)

5.3.2.1. Das supplementäre motorische Feld

- somatotopisch organisiert
- Planung / Entwurf willentlicher Bewegungen / Handlungen
- Hat (ideale) Verbindungen zu corticalen sensorischen Bereichen (vor allem Zuflüsse vom somatosensorischen Kortex) und feedback von einigen subcorticalen Strukturen.
- Projiziert bilateral zum primären Motorkortex, aber auch zum somatosensorischen und zum posterioren parietalen Cortex, sowie Zuflüsse zu subcorticalen Strukturen.

5.3.2.2. Der prämotorische Cortex

- somatotopisch organisiert
- projiziert bilateral in den primären motorischen Cortex und subcorticalen motorischen Strukturen
- erhält vorwiegend visuelle sensorische Zuflüsse
- motorisches Programmieren
- Neurone feuern genau dann, bei der Initialisierung der Greifbewegung und dem Greifen selber, sowie bei der Entdeckung eines Objektes.

5.3.3. Der primäre Motorcortex

- Hier konvergieren alle corticalen sensomotorischen Signale und von hier ziehen die meisten »zentralen« Signale in Richtung tiefer liegender sensomotorischer Strukturen.
- somatotopisch organisiert (gerne als Homunculus dargestellt)
- Feinkontrolle der Bewegungen (insbesondere der distalen Körpermuskulatur)
- Zuflüsse vom primären somatosensorischen Cortex aber auch direkt aus den Hand–Hautrezeptoren

5.3.4. Die Basalganglien

- subcorticales Bindeglied zwischen dem assoziativen Cortex und dem primären Motorcortex (Verschaltung über den Thalamus); Verbindungsglied zwischen nicht–motorischer Großhirnrinde und Motorcortex
- Zuflüsse: afferent aus der Großhirnrinde und den sensorischen Kernen des Thalamus
- projiziert über den Thalamus zum motorischen Cortex aber auch zum Hirnstamm
- Modulation von langsamen Bewegungen
- Mitwirkung bei der Umsetzung von Bewegungsplanungen in Bewegungsprogramme

5.3.5. Das Kleinhirn (Cerebellum)

- *afferente Zuflüsse* aus der *Sensorik* (Gleichgewichtsorgan, Haut– und Tiefensensoren, Muskel–, Sehnen–, Somatosensoren und visuelle und auditive Systeme), *motorischen Kernen des Hirnstamms* (über absteigende motorische Signale), aber auch vom primären Motorcortex, also insgesamt von

- Systemen, die Bewegungen wiedergeben oder planen und ausführen.
- Projiziert über den Thalamus in den motorischen Cortex als auch zu den motorischen Hirnstammkernen
- vorwiegend koordinierende und modulierende Funktion, etwa bei
 - nervöser Kontrolle von Haltung und Bewegung
 - Steuerung und Korrektur der stützmotorischen Anteile von Haltung und Bewegung
 - Kurskorrektur langsamer, zielmotorischer Bewegungen
 - schnelle Zielmotorik

5.3.6. Der Hirnstamm

- *Stützmotorik* bzw. Haltung und Stellung des Körpers im Raum
- Zielmotorik (Zulieferfunktion)

5.3.7. Die motorischen Bahnen

- Tractus corticospinalis lateralis (Pyramidenbahn)
- Tractus rubrospinalis
- Tractus corticospinalis ventralis
- Tractus corticobulbospinalis
- *Vergleich der beiden dorsolateralen (1&2) mit den beiden ventromedialen (3&4) motorischen Bahnen*
 - Die beiden ventromedialen Bahnen sind viel diffuser; viele ihrer Axone innervieren Interneurone auf beiden Seiten der grauen Rückenmarkssubstanz in mehreren verschiedenen Rückenmarkssegmenten. Dagegen haben die Nervenfortsätze der beiden dorsolateralen Bahnen ihre Endigungen nur in der kontralateralen Hälfte eines einzigen Segments, manchmal direkt an einem Motoneuron.
 - Die Motoneurone, die von den beiden ventromedialen Bahnen aktiviert werden, projizieren auf die proximalen Muskeln von Rumpf und Gliedern (zum Beispiel auf die Schultermuskeln), wohingegen die Motoneurone, die von den dorsolateralen Bahnen aktiviert werden, auf distale Muskeln projizieren (zum Beispiel auf die Muskeln der Finger). (vergl. PINEL, 1999, S.232)

6. Endokrines und Immunsystem

6.1. Endokrines System

- *Hormone*: Organische Substanzen, die im Organismus von von spezifischen Geweben oder Organen (*endokrine* Drüse = Drüse mit innerer Sekretion, bsp. Keimdrüse, Schilddrüse); *exokrine* Drüse = Drüse, die die Stoffe über einen Kanal nach außen befördert (bsp. Tränendrüse, Schweißdrüse)) gebildet werden, und über verschiedene Wege (über *Blutbahn*, über *Nervenbahn*) zum Wirkungsort mit einem *Rezeptor* gelangen, mit dem sie nach dem *Schlüssel-Schloß-Prinzip* interagieren.
- *Neurohormone*
- Informationen können entweder direkt oder indirekt weitergegeben werden:
 - *direkt*: ein (fettlösliches) Hormon, bsp. Steroidhormon, passiert die Zellwand und interagiert direkt im Zellinneren mit dem Genom
 - *indirekt*: Andocken an die Zellmembran an einen Rezeptor, Weiterleitung der Information durch einen second messenger (etwa cAMP, cyclisches Adenosinmonophosphat) ins Zellinnere);
 - Möglichkeit der hormonellen Reizung einer Zelle mit nervaler Weiterleitung
- *Regulation der Hormonausschüttung* über *positive und negative Feedback-Schleifen*; *Regelkreis* mit kybernetischer Terminologie
 - Hormonregulationssysteme können sowohl *synergetisch* (unterstützend) als auch *antagonistisch* (unterdrückend) wirken.

- Möglichkeiten der *Hormonklassifizierung*:
 - nach *Ausschüttungsort*
 - *chemischer Struktur*
 - *Amine*
 - Adrenalin; Nordadrenalin; Tyroxin
 - *Polypeptide*
 - ACTH; FSH; TSH; Insulin; Glukagon; Oxytocin; Vasopressin; STH–RH; T–RH; LH–RH
 - *Steroide*
 - Östrogen; Progesteron; Androgene; NNR–Hormone; Glukokortikoide; Mineralokortikoide
- die *wichtigsten endokrinen Drüsen* (nach PINEL, 1996, S. 282)
 - Epiphyse (Zirbeldrüse)
 - Hypothalamus
 - Hypophyse
 - Thyreoidea (Schilddrüse)
 - Parathyreoidaldrüse
 - Thymusdrüse
 - Nebenniere
 - Pankreas (Bauchspeicheldrüse)
 - Ovarien (Eierstöcke)
 - Testes (Hoden)

6.1.1. Hypothalamus und Hypophysenvorderlappen (HVL)

- Hypophyse (H)
 - *Hypophysenvorderlappen* (HVL, Adenohypophyse)
 - *Hypophysenhinterlappen* (HHL, Neurohypophyse)
 - *Hypophyse produziert*:
 - *glandotrope* (auf Drüsen wirkende) Hormone
 - ACTH; FSH; LH; LTH; TSH
 - *Stimulation der Hormonausschüttung* in peripheren, endokrinen Organen (Nebennieren, Schilddrüse..)
 - ACTH: Einfluß auf Erregung des ZNS
 - *effektorische Hormone*
 - TSH
 - *Einfluß auf Stoffregulation und Funktion peripherer Organe und Gewebe*
- *Releasing– oder Inhibiting–Hormone des Hypothalamus regulieren zum großen Teil die Hormonausschüttung der Hypophyse.*
 - Ausschüttung der Hormone wird durch »Rückregelungen« durch endokrine Organe der Peripherie (hier: NNM) wieder gebremst.

6.1.2. Hypothalamus und Hypophysenhinterlappen (HHL)

- Die *effektorischen Hormone des Hypothalamus* (Vasopressin, Oxytocin) gelangen über Axone neurosekretorischer Zellen (am Hypophysenstiel) in den *HHL* und von dort ins Blut.
 - *Vasopressin*: hemmt die Wasserausschüttung der Niere
 - *Oxytocin*: Kontraktion der mütterlichen Brustdrüse; scheinbar auch bei der (interpersonalen) »Bindungsbildung« relevant (vgl. BIRBAUMER & SCHMIDT, 1999, S. 92)
 - beide Hormone mit Einfluß auf Gedächtnisfunktionen
- Hypothalamus ist Verbindungsstück zwischen ZNS, VNS und ES

6.1.3. Gonaden (Keimdrüsen: Ovarien, Testes)

- Regulation der Sexualhormone über feed–back–Schleifen; starke Zunahme der Hormone in der Pubertät

- »männliche« Hormone (Androgene)
 - bsp.: Testosteron (in den Leydig'schen Zellen gebildet und ausgeschüttet; durch hypophysäres ICSH (LH) reguliert)
 - Einfluß auf Stimme, Haarwuchs, Genitalien; Einfluß auf Aggressivität wird diskutiert
- »weibliche« Hormone:
 - Östrogene (Follikelhormon): bsp.: Östradiol und Östron
 - Gestrogene: bsp.: Progesteron (=Gelbkörperhormon)
 - werden in den Ovarien produziert
 - »Die *Produktion dieser Hormone* steht wiederum unter der *Kontrolle des HVL* (FSH und LH) *und des Hypothalamus* (FSH-RH und LHRF). Die Produktion hypothalamischer Hormone unterliegt wiederum zentralnervöser Einflüsse. (*Limbisches System, Regio prae- und supraoptica*). Im Falle des *menstruellen Zyklus* findet sich neben den üblichen negativen Feedbackschleifen auch eine positive Rückkoppelung auf die Hypophyse und den Hypothalamus. Mit Wachstum des Follikels in den ersten Zyklustagen steigen Östrogene und Progesteron zuerst langsam an. Dieser Anstieg bewirkt um den 12. Tag eine plötzliche starke LH- und FSH-Produktion (burst). Dieser burst löst die Ovulation aus. Die Follikelzellen werden zum Gelbkörper, welcher vermehrt Progesteron und Östradiol sezerniert. Nun beginnt eine negative Schleife, in der der Progesteronanstieg zu einer Erniedrigung der LH-, FSH-Ausschüttung führt. Schließlich wird die Östrogen- und Progesteronausschüttung durch weiteres Herunterfahren von LH und FSH beendet.«
- *Prä-, peri- und postnatale Einflüsse der gonadalen Hormone* haben starke Effekte auf die *körperliche Entwicklung* (primäre und sekundäre Geschlechtsmerkmale), aber auch auf die Entwicklung des *Gehirns* und das *Verhalten* einer Person (bsp. sexuelle Präferenzen).
- Die Entwicklung des *gonadale Geschlechts* (Keimdrüsengeschlecht) ist abhängig von der An- bzw. Abwesenheit des *H-Y-Antigens*.
- NNR produziert Androgene.
- Produziert eine Frau mehr Androgene als normal, kommt es zur *Virilisierung*.
- *androgenitales Syndrom*:
 - »Dabei schüttet die NNR statt Cortisol androgenähnliche Hormone aus, die zwar androgen wirksam sind, aber vom Hypothalamus, bzw. von der Hypophyse natürlich nicht als Cortisol anerkannt werden, d.h. für den Hypothalamus ist zu wenig Cortisol vorhanden. Daher schüttet er CRF aus, welches die Hypophyse zur Ausschüttung von ACTH veranlaßt. Dadurch wird die NNR noch mehr aktiviert und schüttet immer mehr von dem »falschen« Hormon aus. Ein Teufelskreis schließt sich. Die Person entwickelt mehr und mehr männliche, sekundäre Geschlechtsmerkmale (=Virilisierung).«

6.1.4. Nebennierenrinde (NNR)

- NNR steht unter direkter *hypothalamo-hypophysärer Kontrolle*.
- Produziert drei Gruppen von Hormonen:
 - *Androgene*
 - (s.o.)
 - *Mineralcorticoide*
 - Aldosteron (Hauptvertreter)
 - Homöostase des Natrium-, Kalium- und Wasserhaushaltes
 - *Glucocortikoide*
 - Cortisol und Corticosteron
 - steuern Mechanismen zur Bereitstellung von Glucose an die Zellen
 - Stoffwechselprozesse
 - Verhalten
 - Immunsystem

6.1.5. Das Nebennierenmark (NNM)

- umgewandeltes Bauchganglion des sympathischen NS
- nervöse (sympathische) Steuerung
- synthetisiert:
 - Noradrenalin (NA) (20% der NNM-Produktion)
 - Adrenalin (A) (80% der NNM-Produktion)
 - beide: Veränderung von Herzleistung, Blutdruck, Muskeldurchblutung, Atmung, Blutzucker
 - NA und A bestimmen das Ausmaß einer Aktivierungsveränderung

- Angriffspunkte: α - und β -Rezeptoren
 - Noradrenalin eher auf α -Rezeptoren; Adrenalin auf beide
- *Adrenalin* setzt eher zentral an (Herzmuskel und ZNS)
- *Noradrenalin* wirkt eher in der Peripherie gefäßverengend

6.1.6. Die Bauchspeicheldrüse

- Hormonproduktion in den *Langerhansschen Inseln*
 - *Insulin* (aus den β -Zellen-Inseln)
 - in der Freisetzung vom Blutzuckerspiegel und Impulsen vom Nervus vagus abhängig
 - senkt hohen Blutzuckerspiegel; regt Glykogenbildung an
 - *Glucagon* (α -Zellen-Inseln)
 - wirkt dem Insulin entgegengesetzt

6.1.7. Die Schilddrüse

- Hormone: *Tyroxin* und *Trijodt*, sowie *Parathormon* und *Calcitonin*
 - allgemeine, länger andauernde Steigerung des Grundumsatzes
 - Wachstums- und Reifungsprozesse
 - Feinregulation des Calcium- und Phosphathaushaltes
- Kontrolle über Hypophyse (HVL) und deren TSH
 - TSH-Ausschüttung
 - kontrolliert über
 - Feedbackschleife des Thyroidhormonspiegels
 - hypothalamisches Releasinghormon (TRH)

6.2. Das Immunsystem (IS)

- erste Schutzmechanismen des Körpers: Haut, Lungenbläschen, Schleimhäute des Magen-Darm-Traktes

6.2.1. Die Organe des Immunsystems

- Lymphorgane (primäre und sekundäre)
 - primär: Knochenmark (KM) und Thymus
 - sekundär: Tonsillen (Mandeln), Lymphknoten, Milz, Darm- und Bronchien-assoziiertes Gewebe
- Lymphgefäße
 - Verkehrswege des IS; drainieren fast alle Körperteile
- Blut(Bahnen)
 - Großteil der immunologischen Reaktionen spielt sich hier ab; Blutkörperchen, Blutplättchen

6.2.2. Was passiert im IS und welche Funktion hat das?

- Erkennen und Markieren
 - B-Lymphozyten, Immunglobuline, Komplementzellen
 - hat Immunreaktion zur Folge
- Abtöten bzw. »Auffressen« (=phagozitimieren)
 - T-Killerzellen, Makrophagen, natürliche Killerzellen, neutrophile Granulozyten
- Modulieren
 - T-Helfer- und T-Suppressorzellen, Interleukine, Interferone
 - Auslösung oder Stimulation anderer Zellen
- Speichern
 - T-Gedächtnis-Zellen
 - speichern Informationen von Immunreaktionen
- Alle Zellen mit einem B- oder T- vorangestellt sind *Lymphozyten* (Stammzellen aus dem KM). T- für *Thymus*; B- für *bone-narrow*)

- Eindringlinge werden aufgrund von Bindungseigenschaften erkannt, dann entweder sofort eliminiert oder markiert, meist durch Anhängen (*Antigen–Antikörper–Reaktion* (AG–AK–Reaktion)).

6.2.3. Welche Arten von »AG–Immunisierung« gibt es?

- *unspezifische Abwehr*: Immunzellen stürzen sich auf jeden Fremdkörper
- *spezifische Abwehr*: Zerstörung bestimmter Antigene
- erworbene vs. angeborene Immunität
- Zwei Wege zur Zerstörung der Antigene:
 - direkte Lyse (=Auflösung) der Zelle durch T–Lymphozyten mit Antigen–Rezeptor
 - indirekt: Phagozytose (durch Makrophagen oder Granulozyten) nach Zuführung durch Antikörper (Immunglobuline), die von den B–Zellen (Plasmazellen) produziert werden.

6.2.4. Welche Zellen und Stoffe sind noch beteiligt?

- *Suppressorzellen*: negativer Rückkoppelungseffekt zur Vermeidung von Immunüberreaktionen; Aufrechterhaltung der Toleranz gegenüber körpereigenen Substanzen
- *Komplement*: Enzyme, die eine Erregeroberfläche markieren und AG–AK–Reaktionen vermitteln; aktivieren sich gegenseitig und lösen Entzündungen aus
- *Gedächtniszellen*: (T– und B–Gedächtniszellen); merken sich jeweils eine Fremdsubstanz, schlagen Alarm, starten Antikörperproduktion

6.2.5. Zusammenspiel ZNS, VNS, ES und IS

- Das ZNS reagiert mit dem IS vor allem über das autonome NS (Sympathicus, Parasympathicus und Darmnervensystem) und über die Hormone der Hypophyse, deren Ausschüttung vom Hypothalamus gesteuert wird.
- *Lymphgewebe* sowohl sympathisch als auch parasympathisch innerviert
- *Hypothalamus* modifiziert zelluläre und humorale Immunantworten und umgekehrt wird die Aktivität einzelner hypothalamischer Regionen von der Immunreaktion beeinflusst.
- *Hormone und Neurotransmitter* beeinflussen direkt die Aktivität von Lymphozyten und Makrophagen
- Wechselseitige Beeinflussung von *IS und ZNS* durch *endogene opioide Peptide* (endogene Opiate: Endorphin, Enkephalin); Schmerzbeeinflussung
- Reaktion auf *Hilflosigkeitssituationen* geht mit Ausschüttung von *ACTH* einher, was zu *anhaltender Immunsuppression* führt, was zu *erhöhter Krankheitsanfälligkeit* führt.
- Immunreaktionen können als klassisch konditionierbare Reaktionen auftreten.

6.2.6. Das Immunsystem und psychologische Fragestellungen

- (steht nicht viel; selber nachlesen(?): BIRBAUMER & SCHMIDT, 1990, S. 161)

7. Das autonome Nervensystem

- Das vegetative / autonome Nervensystem (VNS/ANS) *innerviert die glatte Muskulatur aller Organe und Organsysteme, das Herz und die Drüsen.*
- *Regelung* von Atmung, Kreislauf, Verdauung, Stoffwechsel, Drüsensekretion, Körpertemperatur und Fortpflanzung
- *unterliegt nicht der direkten willkürlichen Kontrolle (autonom)*; Wirkungen des autonomen und somatischen Nervensystems verlaufen aber integriert (Hypothalamus gehört etwa beiden Systemen an)
- neben dem endokrinen System das zweite *Kommunikationssystem der Organe* des Körpers

7.1.Funktionelle Anatomie des peripheren autonomen Nervensystems

- *Teilsysteme*: sympathisches Nervensystem (*Sympathicus*), parasympathisches Nervensystem (*Parasympathicus*) und *Darmnervensystem*
- *vegetative Ganglien*: außerhalb des ZNS liegende Endneurone des sympathischen und parasympathischen Nervensystems
- *präganglionäres Neuron*: Soma im ZNS, Axon endet im Ganglion
- *postganglionäres Neuron*: Soma im Ganglion, Axon endet auf den *Effectoren* (Erfolgsorganen)
- *Darmnervensystem*: Neurone liegen in den Wänden des Gastrointestinaltraktes (Magen–Darm–Trakt)
- *Sympathicus*
 - Die *Zellkörper aller präganglionären* sympathischen Neurone liegen im *Thoracalmark und oberen Lumbalmark*. Neurone verlassen das Rückenmark über die Vorderwurzeln und ziehen durch die weißen Rami in die sympathischen Ganglien (Umschaltstelle).
 - *Grenzstrang* (links & rechts): paarweise Anordnung der meisten sympathischen Ganglien
 - *unpaarige Ganglien* im in Bauch– und Beckenraum; hier *noch keine Umschaltung*, sondern erst in den prävertebralen Ganglien
 - *divergierende* und *konvergierende* prä– und postganglionäre Axone, jedoch ausschließlich bei Neuronen gleicher Funktion; weist auf hohen Grad funktioneller Spezifität des Nervensystems hin
 - *präganglionäre Neurone* mehrheitlich *myelinisiert* (20m/s; B–Faser)
 - *postganglionäre Neurone* mehrheitlich *unmyelinisiert* (1m/s; C–Faser); nah am Rückenmark, sehr lang
 - *Effectoren*: glatte Muskelfasern aller Organe (bsp.: Eingeweide, Sexualorgane, Pupillen), sowie Herzmuskel und einige Drüsen (Speichel–, Schweiß–, Verdauungsdrüsen)
 - *wirkt erregend* auf die glatte Muskulatur der Gefäße, Haare, Schließmuskeln, Pupillen
 - *wirkt hemmend* auf die Muskulatur der Eingeweide, Verdauungsdrüsen und Luftröhre
- *Parasympathicus*
 - *präganglionäre Neurone* im *Sacralmark und Hirnstamm*
 - *Axone der präganglionären Neurone* *sehr lang* (im Gegensatz zum Sympathicus) enden selten nahe, meist auf den Effectororganen; *keine Grenzstränge*
 - *Nervus vagus*: präganglionäres Neuron im Brust– und oberen Bauchraum
 - *Nervus splanchnicus pelvinus*: sacrale parasympathische Fasern, die die Beckenorgane innervieren
 - *Effectoren*: glatte Muskulatur und Drüsen des Gastrointestinaltraktes, der Ausscheidungs– und Sexualorgane und der Lunge; Vorhöfe des Herzens; Tränen– und Speicheldrüsen; innere Augenmuskeln
 - versorgt kein einziges Gefäßsystem (Ausnahmen anscheinend nicht bedeutend) und auch keine Schweißdrüsen
- *Darmnervensystem*
 - zwei Zellgeflechte kleiner Ganglien
 - Plexus myentericus (Auerbach–Plexus); liegt zwischen der glatten Längsmuskulatur und der glatten Ringmuskulatur
 - Plexus submucosus (Meissner–Plexus); unterhalb der Ringmuskulatur
 - drei Arten von Neuronen
 - sensorische Neurone (Dehnung und Kontraktion der Darmwand)
 - motorische Neurone (innervieren die glatte Längs– und Ringmuskulatur)
 - Interneurone (den afferenten (sensorischen) und efferenten (motorischen) Neuronen zwischengeschaltet)
 - *ohne zentralnervöse Einflüsse funktionstüchtig* (»wahrhaft« autonom)
 - kontrolliert und koordiniert Effectorsysteme des Gastrointestinaltraktes: glatte Muskulatur, sekretorische Epithelien, resorptive Epithelien, vaskuläre Systeme und endokrine Systeme
- Das *ANS sendet viscerale Afferenzen* (aus den Eingeweiden kommend).
 - Entsprechende Receptoren liegen in den Organen des Brust–, Bauch– und Beckenraumes, sowie den Gefäßwänden
 - Somata sind in den Spinalganglien; folgende Funktionen:
 - »18 von 26« – Los! Lern' noch 'ne Seite ...

- Messung des intraluminalen Druckes (z.B. in den Arterien) indirekt über die Dehnung der Wände der Hohlorgane oder den Füllungsstand der Hohlorgane (bsp.: Harnblase)
- Messung des Säuregrades und der Elektrolytenkonzentration des Hohlorgans (Blut- oder Mageninhalt)
- Registrierung schmerzhafter Reize im Eingeweidebereich

7.2. Antagonistische Wirkungen von Sympathicus und Parasympathicus

- Das ANS hat im wesentlichen eine *modulierende Funktion* auf die *Grundtätigkeit* der Organe.
- Alle *parasympathisch* innervierten Organe werden *auch sympathisch innerviert* (nicht umgekehrt!)
- Wo der *Sympathicus* erregend wirkt (s.o.), wirkt der *Parasympathicus* hemmend, wo der *Sympathicus* hemmend wirkt, wirkt der *Parasympathicus* erregend – *antagonistisch*.
- Der antagonistischen Wirkung von *Sympathicus* und *Parasympathicus* steht funktionell ein sinnvolles Miteinander (*funktionaler Synergismus*) gegenüber.

7.3. Synaptische Transmission im peripheren autonomen Nervensystem

- Die *synaptische Übertragung (Neurotransmission)* erfolgt nach den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten: *chemisch*.
- Wichtiger Unterschied in der Struktur der *präsynaptischen* Axone, besonders bei den postganglionären Neuronen:
 - Ausbildung von *Varikositäten*, in deren *Vesikeln* die *Transmitter* des peripheren ANS gespeichert sind.
 - *Varikositäten*: Ort der Synthese und Speicherung der Transmitter
 - *Cotransmission* (verschiedener Transmitter)
- Transmitter
 - *Acetylcholin* (Essigsäure (Acetatsäure) + Cholin)
 - Überträgersubstanz aller *präganglionären* Axone (sympathisch & parasympathisch)
 - *postganglionär* dient es nur im *parasympathischen* Nervensystem
 - *cholinerge* Zellen/Neurone haben Rezeptoren für Acetylcholin
 - *Noradrenalin*
 - Überträgersubstanz der *postganglionären* Axone des *sympathischen* Nervensystems
 - *adrenerge Neurone* haben die entsprechenden Rezeptoren
 - *nicht* zu verwechseln mit den *adrenergen Zellen des Nebennierenmarks (NNM)*
 - Endokrine Zellen des NNM waren eigentlich sympathische postganglionäre Zellen, die auch entsprechend durch präganglionäre Axone innerviert werden und 80% Adrenalin und 20% Noradrenalin ausstoßen.
- Die *cholinergen und adrenergen Neurone* unterliegen neben der Kontrolle des peripheren autonomen Nervensystems insbesondere auch einer *präsynaptischen Kontrolle ihrer Transmitterfreisetzung*, die durch die Transmitterfreisetzung selbst ausgeübt wird. (positiver und negativer Rückkoppelungsmechanismus)
- Sowohl sympathisch als auch parasympathisch innervierten Organen hemmen sich die freigesetzten Transmitter in der Ausschüttung aus den Varikositäten (*Antagonismus auf präsynaptischer Ebene*).

7.4. Membranrezeptoren autonomer Transmitter

- Über spezifisch *Transmitter*, die an die Rezeptoren der postsynaptischen Membran andocken, kann deren Leitfähigkeit moduliert werden. Nach *pharmakologischer Terminologie* werden sie unterteilt in:
 - *Agonisten* (bzw. *partielle Agonisten*) erhöhen Leitfähigkeit
 - *Antagonisten* führen zu keiner Veränderung der Leitfähigkeit

- Einige Agonisten und Antagonisten cholinerg und adrenerger Membranrezeptoren:
 - *Cholinerge Membranrezeptoren*
 - Nicotin als Agonist (nicotinerger)
 - Sympathicus und Parasympathicus: in allen Ganglien (Übertragung von prä- nach postganglionär; (neuro–neuronale Synapse)
 - Antagonisten sind hier quartäre Ammoniumbasen; Ganglienblocker
 - Muscarin (Fliegenpilzgift): muscarinerg
 - Parasympathisches Nervensystem: bei der Übertragung von postganglionär zum Effector (neuro–effectorische Synapse)
 - Antagonist ist hier das Atropin (Tollkirschengift).
 - Adrenerge Membranrezeptoren
 - neuro–effectorische Übertragung im sympathischen Nervensystem
 - α -adrenerge Rezeptoren
 - Reaktion auf: Noradrenalin (+); Adrenalin; Isoproterenol (–), synthetisch
 - keine Antagonisten, eher α -Blocker
 - β -adrenerge Rezeptoren
 - Reaktion auf: Isoproterenol (+), synthetisch; Adrenalin; Noradrenalin (–)
 - keine Antagonisten, eher β -Blocker
 - Die meisten Organe, die durch Catecholamine (Adrenalin, Noradrenalin, Dopamin) beeinflusst werden, besitzen *sowohl α - als auch β -Rezeptoren*, wobei die dabei ausgelösten *Effekte antagonistisch* sind.

7.5. Der spinale vegetative Reflexbogen

- *vegetativer Reflexbogen*: einfachste Verschaltung zwischen Afferenzen und vegetativen Efferenzen auf spinaler segmentaler Ebene im Rückenmark
- spinale vegetative Reflexbögen haben *mindestens disynaptische Verschaltungen*
 - spinaler vegetativer Reflexbogen: *mindestens drei Synapsen*:
 - zwei in der grauen Substanz des Rückenmarks & eine Synapse im vegetativen Ganglion
- efferentes Neuron des *vegetativen* Reflexbogens: postganglionäres Neuron (Soma in einem vegetativen Ganglion, außerhalb des Rückenmarks)
- efferentes Neuron des *somatischen* Reflexbogens: Soma des Motoneurons im Vorderhorn des Rückenmarks
- »Während beim vegetativen Reflexbogen zwischen afferentem Neuron und postganglionärem Neuron also mindestens zwei Neuronen zwischengeschaltet sind (Interneuron (IN) und das postganglionäre Neuron), enthält der monosynaptische Reflexbogen kein Neuron zwischen afferenter Faser und Motoneuron.
- Diese enge Verknüpfung von afferenten und efferenten Neuronen desselben Organs sorgt bereits auf *spinaler Ebene* für eine *rückkoppelnde Überwachung und Regelung* der autonomen Neurone auf ihr Effectororgan.«

7.6. Vegetative Efferenzen und viscerale sowie somatische Afferenzen

- Darstellung der *pathophysiologischen Bedeutung* der vegetativen Reflexe bei krankhaften Prozessen im Eingeweidebereich:
 - über dem Krankheitsherd eine Spannung der Bauchwandmuskulatur so wie eine Rötung des jeweiligen Hautareals, das durch das gleiche Rückenmarkssegment (Dermatom) innerviert wird.
 - Rötung des Hautbereichs (vasoconstrictorische Efferenzen des Sympathicus) durch viscerale Afferenzen der Eingeweide (*viscero–cutaner Reflex*)
 - Spannung der Bauchmuskulatur, (analog) (*viscero–somatischer Reflex*)
 - *Linderung der Bauchschmerzen* durch Änderung der Hauttemperatur des Dermatoms; Verschaltung der Afferenzen der Thermorezeptoren mit den vegetativen (sympathischen) Efferenzen des Darms (*cuti–visceraler Reflex*)

7.7. Aufgaben von Hirnstamm und Hypothalamus bei der Kontrolle des spinalen ANS

- *Hirnstamm* und zahlreiche *hypothalamische Kernregionen*
 - synchronisierende Abstimmung der verschiedenen spinalen Systeme zu »funktionellen Koalitionen auf Zeit«
- *Hypothalamus*
 - »Zentrum aller vegetativen Prozesse in der Mitte des Gehirns« (s.a. Kap. 2)
 - integrative Funktion
 - Koordination des vegetativen und somatischen Nervensystems, sowie des hormonellen Systems
- *limbisches System*
 - vegetative Prozesse (s.a. Kap. 2)
- *Sympathisches Nervensystem*
 - *ergotrop* (leistungssteigernde Funktion)
 - erhöhte Herzrate, Vasodilatation der arbeitenden Muskulatur, Erweiterung der Bronchien; Hemmung von Organen, die nicht aktiv sein müssen, wie Verdauungsorgane und Genitalien
- *Parasympathisches Nervensystem*
 - *histotrop* (schonende und erholende Eigenschaften)
 - langsame Herzrate, Förderung von Verdauungsvorgängen und –drüsen, Vasodilatation der Genitalien)

8. Somatosensorik und Nociception

- *Sensoren* (syn. Rezeptoren, Sinnesfühler)
 - *Exteroceptoren* (Reize aus der Umwelt)
 - Auge, Ohr
 - *Enteroceptoren* (chemische oder mechanische Reize aus den Eingeweiden)
 - Barorezeptoren, Chemorezeptoren
 - *Proprioceptoren* (Lage und Bewegung des Körpers)
 - Muskelspindeln, Gleichgewichtsorgan

8.1. Grundbegriffe der allgemeinen Sinnesphysiologie

- *Allgemeine Sinnesphysiologie*: Gegenstand: Gesetzmäßigkeiten der Organisation und Funktion der verschiedenen Sinnesorgane, die Verschaltung mit den Gehirnzentren und den ausgelösten Reaktionen
 - *objektive Sinnesphysiologie*
 - Erfassung der Umwelteinflüsse, die ein Organ als Reiz beeinflussen; Veränderungen in den jeweiligen speziellen Receptorzellen in den Sinnesorganen; Überführung in ein neuronales Impulsmuster; Verarbeitung dieser Impulsmuster in den sensorischen Arealen des Gehirns
 - *subjektive Sinnesphysiologie* (Wahrnehmungspsychologie)
 - Die Aktivität verschiedener Sinneseindrücke bringt subjektive Sinneseindrücke mit sich. Die Interpretation dieser Sinneseindrücke unter Bezugnahme auf Gelerntes wird als Wahrnehmung bezeichnet.
- Modalität (z.B. Geschmack)
 - Qualität (z.B. salzig, süß)
- Quantität oder Intensität (z.B. sehr salzig)
- *Psychophysik*: Betrachtung der quantitativen Beziehung zwischen *Reizgröße* und *subjektiver Empfindungsgröße*
- *Psychophysiologie*: Vergleich objektiver Ereignisse an Sinnesorganen oder zentralnervösen Strukturen mit subjektiver Wahrnehmung und Verhalten

8.2. Bestandteile somatovisceraler Sensibilität

- Informationen aus der Umwelt oder dem Körper, die durch Sensoren der Haut, Skelettmuskeln, Sehnen, Gelenke werden als *somatoviscerale Aktivität* bezeichnet.
 - *Somatische Sensibilität (Somatosensorik)*
 - Oberflächensensibilität
 - Haut
 - Tiefensensibilität
 - Gelenke, Skelett, Sehnen
 - *viscerale Sensibilität*
- vier Grundtypen der Sinnesrezeptoren:
 - *Mechanorezeptoren* (Tastsinn der Haut und Tiefensensibilität)
 - *Thermorezeptoren* (Temperatur)
 - *Chemorezeptoren* (vorwiegend in den Eingeweiden)
 - *Nociceptoren* (sehr intensive Reize, etwa Gewebsschädigungen (Noxen))

8.3. Zentrale Weiterleitung somatovisceraler Afferenzen

- Alle Afferenzen der Somatosensorik und der Eingeweide enden in synaptischen Verbindungen mit spinalen Neuronen des Rückenmarks im dorsalen Teil der grauen Substanz (*Hinterhorn*).
 - Afferente Information wird durch *zwei Hemmsysteme* kontrolliert:
 - afferente Hemmung auf spinaler Ebene
 - descendierende (absteigende) Hemmung von zentral
- zwei Stränge zur Informationsverarbeitung somatovisceraler Afferenzen zum Gehirn; beide liegen (wie alle auf- und absteigenden Bahnen!) in der weißen Substanz des Rückenmarks
 - *Hinterstrang*
 - alle dicken myelinisierten Afferenzen der *Mechanorezeptoren* des Rumpfes und der Extremitäten
 - verschaltete Hinterwurzelafferenzen *ipsilateral* (beidseitig) bis zur *Medulla oblongata*, wo sie *kontralateral umgeschaltet* werden und als *mediale Schleifenbahn* (Tractus lemniscus medialis) zum *Thalamus* ziehen
 - *spezifisches* oder *lemniscales System der Somatosensorik*: Hinterstrang und Schleifenbahn (bis zur Medulla oblongata ipsilateral und von dort kontralateral zum Thalamus)
 - Hinterstrangläsionen: ipsilaterale Beeinträchtigung der räumlichen Lokalisation taktiler Reize
 - *Vorderseitenstrang*
 - alle Afferenzen der *Mechano-, Thermo- und Nociceptoren*
 - verschaltete Hinterwurzelafferenzen *kontralateral* (gegenseitig)
 - Nomenklatur der Bahnen nach Zielort:
 - *Thalamus*: Tractus spinothalamicus; Unterteilung nach Entwicklungsgesch. Alter:
 - Tractus palaeospinothalamicus (älter)
 - Tractus neospinothalamicus (jünger)
 - *Formation reticularis*: Tractus spinoreticulares
 - *extralemniscale Bahn* oder *unspezifisches sensorisches System*:
 - Tractus palaeospinothalamicus & Tractus spinoreticulares
 - Vorderseitenstrangläsionen: Unfähigkeit, in kontralateralen Körperregionen Temperatur- oder Schmerzreize wahrzunehmen
- sensorische Fasern aus der *Kopf- und vor allem Gesichtsregionen* (Nervus trigeminus) gelangen über den *Pons* ebenfalls in den *Thalamus*
- »Da im *Thalamus* alle *Bahnkreuzungen abgeschlossen* sind, verarbeiten die rechten Thalamusneurone im wesentlichen die Informationen aus der linken Körperhälfte und umgekehrt. Dabei *projizieren* die verschiedenen *Kerngebiete des Thalamus in die jeweils entsprechenden Areale der Hirnrinde*, d.h. die motorischen Kerngebiete in den *motorischen Cortex (Gyrus praecentralis)* und die somatosensorischen Kerngebiete in den *somatosensorischen Cortex (Gyrus postcentralis)*. Die somatosensorischen Kerngebiete des Thalamus nennt man auch *Ventrobasalkerne*.«

- *somatotopische Gliederung (sensorischer Homunculus)*: jeder Teil des Körpers hat sein entsprechendes Projektionsfeld in der Großhirnrinde; Areale unterschiedlich proportioniert

8.4.Mechanoreception

- vier Qualitäten:
 - Druckempfindungen
 - Berührungsempfindungen
 - Vibrationsempfindungen
 - Kitzelempfindungen
- Die Haut ist nicht überall, sondern nur an bestimmten *Tastpunkten* mechanosensibel (unterschiedliche Verteilungen).
- *räumliche Unterschiedsschwelle*: Abstand zwischen zwei taktilen Reizen, welche gerade noch als getrennte Reize wahrgenommen werden
- *simultane Raumschwellen*: Maß für das räumliche Auflösungsvermögen der Haut
- Einige der Receptortypen kommen sowohl in *behaarter* als auch *unbehaarter Haut* vor, andere nur in einem Hauttyp.
- Alle Receptortypen werden von schnell leitenden myelinisierten Nervenfasern der Gruppe II innerviert, wodurch die Weiterleitung eines Impulses zum Rückenmark nur wenige Millisekunden dauert.
- *getrennte Differenzierung der Rezeptoren für unbehaarte und behaarte Haut* nach folgenden Kriterien:
 - Verhalten auf *konstante Druckreize* (langsam, mittelschnell und sehr schnell adaptierend)
 - bezüglich *adäquater Reize* bzw. welcher *Parameter* eines Reizes (*Intensität, Geschwindigkeit, Beschleunigung*) bevorzugt übertragen wird
- *Intensitätsrezeptoren*: Druckdetektoren, die langsame adaptieren und die Stärke oder die Eindringtiefe eines mechanischen Hautreizes messen
 - *Merkel-Zellen*: in unbehaarter Haut in der untersten Schicht der Epidermis; in behaarter Haut als *Tastscheiben* auf der Hautoberfläche
 - *Ruffini-Körperchen*: beide Hautsorten, langsame Druckadaption, aber auch Dehnung der Haut (Meldung von Scherkräften)
- *Geschwindigkeitsrezeptoren*: Berührungsdetektoren, die mittelschnell adaptieren und die Geschwindigkeit eines bewegten Reizes messen
 - *Haarfollikel-Rezeptoren*: lassen Haare des Handrückens nur dann spürbar sein, wenn sie sich bewegen (Bewegung und Geschwindigkeit)
 - *Meissner-Körperchen*: dito, für unbehaarte Haut
- *Beschleunigungsrezeptoren*: Vibrationsdetektoren, die auf mechanische Reize lediglich zu Beginn und am Ende eines Reizes mit je einem Impuls reagieren; sehr schnelle Adaption
 - *Pacini-Körperchen*: beide Hauttypen; reagieren besonders gut auf Sinusschwingungen
- neben den myelinisierten enthält *jeder Hautnerv* auch *50% unmyelinisierte Nervenfasern*
 - postganglionäre Nervenfasern (Versorgung der glatten Muskulatur, Haarbalge und Schweißdrüsen)
 - *freie Nervenendigungen*
 - *Temperaturrezeptoren*
 - *Nociceptoren*
 - Kitzelempfindungen

8.5.Thermoreception

- zwei Qualitäten: *Kältesinn* und *Wärmesinn* mit entsprechenden *Kalt-* und *Warmrezeptoren*.
 - Registrieren Temperatur und sind gemeinsam den Thermorezeptoren des ZNS (z.B. im Hypothalamus) an der Thermoregulation beteiligt.
- Innerhalb der Thermoreception:
 - *statische Temperaturempfindungen*: bei *konstanter Hauttemperatur*; im *mittleren Bereich* kommt es zu *vollständiger Adaption* (Erwärmung oder Abkühlung wird nur vorübergehend empfunden, dann folgt eine *Neutralempfindung*; *Zone der Indifferenztemperatur*)

- dynamische Temperaturempfindungen: Temperaturempfindungen, die während der Veränderung der Hauttemperatur auftreten; durch drei Parameter bestimmt:
 - *Ausgangstemperatur* der Haut; *Geschwindigkeit der Temperaturveränderung*; *Größe des Hautareals*
- Eigenschaften von Kalt- und Warmrezeptoren
 - *Dauerentladungen bei konstanten Hauttemperaturen* (Entladungsrate proportional der Hauttemperatur)
 - *Unempfindlichkeit gegenüber nicht-thermischen Reizen*
 - *kleine receptive Felder* (weniger als 1 mm²)
- Thermorezeptoren liegen als *freie Nervenendigungen* vor. *Kaltrezeptoren* eher an der *Hautoberfläche* (werden von dünnen, myelinisierten Gruppe-III-Fasern versorgt). *Warmrezeptoren* eher etwas *tiefer* gelegen (marklose Gruppe-IV-Fasern).

8.6. Proprioception

- *Proprioception (Tiefensensibilität)*: Fähigkeit über die Stellung der Glieder zueinander informiert zu sein, sowie die Wahrnehmung von Bewegungen der Gelenke durch von außen einwirkende Kräfte oder aktive Bewegungen mit Hilfe unserer Muskeln
- Qualitäten:
 - Stellungssinn; Bewegungssinn; Kraftsinn
- *Stellungssinn*: Orientiert uns jederzeit über die Winkelstellung der Glieder. Adaptiert fast nicht.
- *Bewegungssinn*: Ermöglicht es, ohne visuelle Kontrolle eine Gelenkstellung zu ändern und dabei Richtung und Geschwindigkeit dieser Bewegung wahrzunehmen. Aktive Gelenkbewegungen werden ebenso registriert wie passive Gelenkbewegungen durch eine andere Person.
- *Kraftsinn*: Möglichkeit der Abschätzung der erforderlichen Kraft, um einen Gegenstand aufzuheben oder ihn freischwebend zu halten
- Diese Sinne werden durch die *Proprioceptoren in den subcutanen Strukturen* (Gelenke, Muskel, Sehnen) registriert.
- *Gelenkrezeptoren*
 - mechanosensitive Receptorkörperchen (ähnlich den Ruffini- und Pacini-Körperchen)
 - Vermittlung des *Bewegungssinns*, für Stellungssinn anscheinend ohne Bedeutung
- *Muskelrezeptoren (Muskelspindeln)*
 - Stellungen- und Bewegungssinn; wahrscheinlich Kraftsinn gemeinsam mit den Sehnenorganen
- *Mechanorezeptoren der Haut*
 - minimaler Beitrag zur Tiefensensibilität, da die Haut bei jeder Bewegung der Gelenke in deren Umgebung gestaucht wird
- Erst durch die *zentrale Integration der verschiedenen Afferenzen* in den subcorticalen sensorischen Schaltkernen (z.B. im Thalamus) gelangt man zu den notwendigen Informationen der Tiefensensibilität.
- Um einer Mehrdeutigkeit afferenter Informationen vorzubeugen (etwa zur Unterscheidung von äußeren und inneren Reizen) erhalten die *zentralen sensorischen Zentren* von den *zentralen motorischen Zentren* einen »Durchschlag«, eine *Efferenzkopie*. Des Weiteren gibt es ein *efferentes Hemmsystem* der motorischen Schaltkerne durch ein *afferentes Hemmsystem* der receptiven Systeme untereinander. Sowohl die efferente als auch die afferente Hemmung existieren in allen sensiblen Kernen vom Rückenmark bis zum Thalamus.
- *Körperstellung im Raum*: Integration der Informationen aus Stellungssinn und Gleichgewichtssinn
- *Körperschema*: Bewußtsein der räumlichen Ausdehnung unseres Körpers in der Umwelt
 - Dieses relativ stabile Körperschema spielt vor allem bei der Erforschung des bislang kaum befriedigend erklärten *Phantomgliedschmerzes* (»Überschußempfindung« des Körpers) eine wesentliche Rolle.
 - *Linksneglect* (Wegfall des Körperschemas): nach einem Schlaganfall in der rechten Hirnhälfte wird die linke Körperhälfte völlig ignoriert.

8.7. Nociception und Schmerz

- *Schmerz*: eine unangenehme Sinnesempfindung, welche mit einem unlustbetonten Gefühlserlebnis verbunden ist.
- *Schmerzrezeptoren (Nociceptoren)*: hohe Schwelle (nur bei gewebsschädigenden oder bedrohenden Reizen), adaptieren nicht
- *Nociception*: Registrierung, Weiterleitung und zentralnervöse Verarbeitung noxischer Reize. Folge einer Nociception ist ein subjektives Schmerzgefühl.
- *Modalität*: Schmerz
- *Qualitäten*:
 - *somatisch*
 - Oberflächenschmerz
 - auf der Haut:
 - *heller Schmerz* (schnell abklingend, gut lokalisierbar): *erster Schmerz*
 - *Fluchtreflexe*
 - *dumpher Schmerz* (0,5 – 1,0 s Latenz, schwer lokalisierbar): *zweiter Schmerz*
 - *Schonhaltung*
 - Tiefenschmerz
 - aus den Muskeln, Knochen, Gelenken, Bindegewebe; schwer lokalisierbar, langsam abklingend und häufig in die Umgebung ausstrahlend
 - *visceral*
 - aus den Eingeweiden; vor allem durch rasche und starke Dehnung der Hohlorgane hervorgerufen
 - unabhängig von der Lokalisation Einteilung nach Dauer
 - *akute Schmerzen*: meist auf den Ort der Schädigung begrenzt; Ausmaß proportional zur Schädigung; *Warnfunktion*
 - *chronische Schmerzen*: können als eigenes Krankheitsbild auftreten: chronisches Schmerzsyndrom
 - *verschiedene Komponenten*:
 - *sensorische Komponente*: Sinnesempfindung einer *Noxe* hinsichtlich Lokalisation, Intensität, Beginn und Ende
 - *affektive oder emotionale Komponente*: psychologischer Aspekt des Schmerzes; *Leiden am Schmerz*
 - *autonome oder vegetative Komponente*: reflektorische Reaktion des vegetativen/autonomen Nervensystems auf eine *Noxe*; *visceral*
 - *motorische Komponente*: reflektorisches Wegziehen, bevor der Schmerz »bewußt« wird; Schutzreflex beim Oberflächenschmerz; Tiefenschmerz oder Eingeweideschmerz: Muskelverspannungen
 - *kognitive Komponente*: Schmerzvergleich mit bereits gemachten Schmerzerfahrungen
 - *psychomotorische Komponente*: verzerrte Mimik oder Wehklagen
 - *psychosoziale Faktoren*: Erziehung, soziales Umfeld, ethnische Herkunft
- *Juckreiz*: unklar, ob es eine dem Schmerz verwandte Sinnesqualität ist
- *Spezifitätstheorie des Schmerzes*: Schmerz ist eine eigenständige Erfindung mit eigenen Rezeptoren, Nervenbahnen und Zentren
- »Im Rückenmark werden die nociceptiven Afferenzen an Neuronen des Hinterhorns auf die Vorderseitenstrangbahnen umgeschaltet, und laufen zum Hirnstamm aufwärts, wo sie sich mit den nociceptiven Afferenzen aus dem Kopfbereich (Nervus trigeminus) vereinigen, um dann weiter zum Thalamus zu ziehen. Auch Teile der Großhirnrinde sind an Nociception und Schmerz beteiligt (...).«
- *Abnorme Schmerzformen*:
 - *Übertragener Schmerz*
 - Für jedes innere Organ gibt es typische Hautareale, auf die eine nociceptive Reizung der Eingeweide übertragen wird (*Head-Zones, oberflächliche hyperalgetische Zonen*). Diagnostisches Hilfsmittel.
 - *Dermatom*: Hautafferenzen konvergieren hier auf das gleiche Rückenmarkssegment, das

auch die visceralen Schmerzimpulse empfängt.

- *Projizierter Schmerz*
 - Ort der noxischen Reizung ist nicht mit dem der Schmerzempfindung identisch.
 - Starke Reizungen der afferenten Fasern des Ellenbogens werden in das Versorgungsgebiet der Afferenzen projiziert wo die normalerweise herkommen (hier die Hand/Finger).
- *Neuralgie*
 - Chronischer Nervenschmerz, der zu spontanen Schmerzen führt.
 - Schmerzen, die durch Reizung einer nociceptiven Nervenfasern oder einer Hinterwurzel aufgrund pathophysiologischer Schmerzen entstehen.
- *Zentraler Schmerz*
 - Erhebliche, spontan auftretende Schmerzen durch funktionelle *Schäden der nociceptiven Systeme des Zentralnervensystems*. *Thalamusschmerzen* bei Schädigungen der Ventralkerne des thalamischen Kerngebietes.
- *Messung des Schmerzes*
 - *subjektive Algesimetrie*
 - Methoden der Psychophysik
 - Schmerzschwelle (Reizstärke, bei der der Schmerz auftritt)
 - Schmerzintensität (verbal oder andere Anzeigemethoden)
 - Schmerztoleranzschwelle (Abschalten der Schmerzquelle durch den Probanden)
 - zur Erforschung der Zusammenhänge zwischen noxischem Reiz und Schmerz
 - *objektive Algesimetrie*
 - Messung motorischer und vegetativer Reaktionen auf Schmerzen (z.B. Pupillengröße für Sympathicotonus)
 - Registrierung evozierter Hirnrindenelemente
- *Kontrolle und Hemmung von Schmerzen*
 - *endogene Schmerzkontrollsystem (körpereigen)*
 - spezifische Opiatrezeptoren
 - Endorphine, Enkephaline, Dynorphine
 - descendierende Hemmsysteme
 - elektrische Reizung supraspinaler Areale führt im Tierversuch zu Analgesie (stimulationsproduzierte Analgesie)
 - Wirkung setzt in beiden Fällen im Hinterhorn des Rückenmarks an.
 - *exogene Schmerzkontrollmethoden*
 - pharmakologisch
 - nicht-narkotische Analgetica: wirken analgetische (schmerzhemmend), ohne zu einer Einschränkung oder Ausschaltung (Narkose) des Bewußtseins zu führen
 - narkotische Analgetica: zur Behandlung starker Schmerzen; beruhigende bis einschläfernde Wirkung
 - Psychopharmaka: Dämpfung von Schmerzen (Tranquilizer) oder während einer endogenen Depression (Antidepressiva)
 - örtliche Betäubung: Lokalanästhetica machen einen Nervenblock für bestimmte Zeit schmerzfrei
 - physikalisch
 - Wärme- und Kältebehandlung; Massagen; Gymnastik
 - Akupunktur: afferente Hemmung
 - elektrische Reizungen: afferente Hemmung durch »Gegenirritationen«
 - neurochirurgischer Eingriff: etwa Durchschneidung des Vorderseitenstranges des Rückenmarks (Chordotomie) zur Beseitigung schwerer Schmerzen für die Dauer mehrerer Wochen
 - psychologisch
 - Entspannung (Autogenes Training oder Eutonie)
 - Hypnose
 - operante Methoden
 - Biofeedback