

Alexander Kostka

Neurodidaktik für den Musikunterricht



Alexander Kostka

Neurodidaktik für den Musikunterricht

Alexander Kostka

Neurodidaktik für den Musikunterricht

Tectum Verlag

Alexander Kostka

Neurodidaktik für den Musikunterricht

© Tectum Verlag Marburg, 2017

Zugl. Diss. Universität Osnabrück 2016

ISBN: 978-3-8288-6674-4

(Dieser Titel ist zugleich als gedrucktes Buch unter
der ISBN 978-3-8288-3890-1 im Tectum Verlag erschienen.)

Umschlagabbildungen: shutterstock.com © Andrii Vodolazhskyi, Africa
Studio, Lane V. Erickson (v.l.o.)

Alle Rechte vorbehalten

Besuchen Sie uns im Internet

www.tectum-verlag.de

Bibliografische Informationen der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Angaben sind
im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Meiner Familie gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1	Zum Gegenstand dieser Arbeit	
1.1	Fragestellungen	11
1.2	Operationalisierung.....	12
Kapitel 2	Fundamentale neuronale Systeme des Menschen	
2.1	Mikroanatomische Ebene.....	17
2.2	Makroanatomie des Zentralnervensystems.....	19
2.3	Überblick über das vegetative Nervensystem.....	21
2.4	Die Topografie der Hirnrinde.....	24
2.5	Sensorik – Grundlagen der Musikwahrnehmung.....	27
2.6	Motorik – Pyramidenbahn und extrapyramidalmotorisches System.....	31
2.7	Neuronale Plastizität.....	34
2.8	Didaktische Diskussion	
2.8.1	Mentale Repräsentationen im Musikunterricht.....	36
2.8.2	Die Bedeutung der Lernsituation.....	42
2.8.3	Lernen durch vernetzende Wiederholung.....	49
2.8.4	Mentales Training für Aufführungssituationen.....	54
Kapitel 3	Musik wahrnehmen, Musik verstehen und Musik lernen	
3.1	Ein neurokognitives Modell der Musikperzeption.....	60
3.2	Musik verstehen.....	68
3.3	Musik lernen.....	72
3.4	Didaktische Diskussion	
3.4.1	Das Prinzip der perzeptionsorientierten Wissensvermittlung.....	81
3.4.2	Das Prinzip der erfahrungsbasierten Bedeutungskonstruktion....	84
3.4.3	Das Prinzip des kommunikationsbasierten Ausdrucksbegreifens..	86
3.4.4	Musikalische Analyse und Interpretation im Musikunterricht.....	97
3.4.5	Das forschend-musikanalytische Unterrichtsverfahren.....	102

Kapitel 4 **Musik und Emotion**

4.1	Einführung.....	115
4.2	Das Phänomen der Emotion	
4.2.1	Division des Phänomens in verschiedene Teilkomponenten.....	116
4.2.2	Emotionstheorien.....	118
4.2.3	Zur Klassifikation verschiedener Emotionen.....	120
4.2.4	Abgrenzung zu eng verwandten Phänomenen.....	124
4.3	Neurobiologie der Emotionen	
4.3.1	Das limbische System.....	126
4.3.2	Einfluss des limbischen Systems auf vegetative Systeme.....	128
4.4	Die Bedeutung von Emotionen für Lernprozesse.....	129
4.4.1	Gedächtniskorrelate und Gedächtnisebenen.....	130
4.4.2	Die Rolle des Hippocampus.....	133
4.5	Emotionales Erleben beim Musikhören.....	136
4.5.1	Aus der Musikpsychologie: Der Gänsehauteffekt der Musik.....	138
4.5.2	Musik und Emotion: Neurowissenschaftliche Erkenntnisse.....	144
4.5.3	Affektive Effekte der Musik – echte Emotionen.....	150
4.5.4	Faktoren der emotionsauslösenden Macht der Musik.....	155
4.6	Musik und Emotion: Didaktische Diskussion.....	165

Kapitel 5 **Spiegelneuronen und Musikunterricht**

5.1	Die Entdeckung der Spiegelneuronen.....	182
5.2	Spiegelneuronentheorie – Intuition, Mitgefühl und Empathie.....	184
5.3	Spiegelneuronen und Musikunterricht: Didaktische Diskussion.....	186
5.3.1	Für die Persönlichkeitsentwicklung von Schülern spielt Spiegelung eine bedeutende Rolle.....	187
5.3.2	Frühkindliche Bewegungserfahrungen beeinflussen späteres Lernen.....	190
5.3.3	Eine Erziehung mit dem Ziel empathischer, vertrauensvoller und gestärkter Menschen setzt empathische, vertrauensvolle und gestärkte Lehrerpersönlichkeiten voraus.....	194

Kapitel 6	Neurodidaktik für den Musikunterricht: Modellbildung	
6.1	16 Prinzipien neurodidaktischen Musikunterrichts.....	207
6.2	Neurodidaktische Lernwege im Musikunterricht.....	213
6.3	Neurodidaktik für den Musikunterricht: Didaktisch-dimensionale Verortung.....	218
	Zusammenfassung.....	228
	Literaturverzeichnis.....	235

Kapitel 1 . Einführung

- 1.1 Fragestellungen
- 1.2 Operationalisierung



Kapitel 1

Einführung

Seit der Antike nimmt die Musikpädagogik einen festen Platz im abendländischen Kanon zur Erziehung heranwachsender Menschen ein. Schon Aristoteles war sich der Wirkungen von Musik auf das Gemüt wie auch auf die Persönlichkeitsentwicklung bewusst und formulierte Grundsätze der Begegnung junger Menschen mit Musik. Im letzten Jahrhundert des vergangenen Jahrtausends ist dem musikpädagogischen Diskurs schließlich eine facettenreiche Didaktik entsprungen, die auch nach der Jahrtausendwende Lehrer- und Schülerhandeln im schulischen Musikunterricht bestimmt. Nach einer lebhaften Phase in den 1970er bis 90er Jahren ist in den letzten zehn bis 15 Jahren tendenziell Ruhe im didaktischen Diskurs eingeleitet. Dabei haben gerade in dieser jüngsten Zeit technologische Fortschritte völlig neue Ansatzpunkte der Lehr-Lern-Forschung ermöglicht: Elektrophysiologische und bildgebende Verfahren geben direkten Einblick in die Funktionsweise des menschlichen Gehirns und bringen Einsichten über das Lernen, über Wahrnehmung und Reizverarbeitung auf direkt messbarer und häufig topografisch nachvollziehbarer Ebene hervor. Im Gegensatz zum musik(fach-)didaktischen Umfeld haben einige (Allgemein-) Didaktiker die Möglichkeiten der modernen neurobiologischen Forschung bereits genutzt und eine neue, kaum zehn Jahre junge Disziplin gegründet – die Neurodidaktik. Dabei wird versucht, anhand von Ergebnissen der Gehirnforschung darüber, wie Menschen lernen, pädagogische und im Speziellen didaktische Konsequenzen zu ziehen.

Ziel dieses Buches ist es, das ebenso junge wie vielversprechende Forschungsfeld der Neurodidaktik für die Musikpädagogik nutzbar zu machen. Dabei wird eine Neurodidaktik speziell für den Musikunterricht entwickelt, die ein Angebot sein soll an all diejenigen, die mit der komplexen Lehr-Lern-Wirklichkeit des Musikunterrichts konfrontiert sind – ein Angebot, jene komplexe musikpädagogische Realität aus einer an biologischen Gegebenheiten des Lernens orientierten Perspektive heraus besser verstehen und beherrschen zu können. Zu diesem Zweck werden in den nachfolgenden Kapiteln diverse neurobiologische Erkenntnisse aufgezeigt, die musikalisches Lernen bzw. Lernen im Musikunterricht betreffen. Ferner wird jeweils aufgezeigt, inwieweit diese Erkenntnisse schließlich didaktisch verwertbar sind, inwieweit sie also handlungsleitend sowohl für Lehrer- als auch für Schülerhandeln sein können. Abschließend wird dann gezeigt, wie sich Neurodidaktik für den Musikunterricht didaktisch positioniert. Dazu wird anhand von didaktischen Dimensionen ein didaktischer Raum definiert, innerhalb dessen man eine neue Didaktik schließlich verorten kann.

1.1 Fragestellungen

Die Konstruktion einer Neurodidaktik für den Musikunterricht wird entlang von drei Fragestellungen vollzogen, die konsekutiv behandelt werden:

1. Welche neurowissenschaftlichen Erkenntnisse gibt es, die für das Lernen von und mit Musik relevant sind?
2. Wie sind relevante neurowissenschaftliche Erkenntnisse über das Lernen von und mit Musik auf didaktischer Ebene verwertbar, also didaktisch nutzbar?
3. Wie ist eine Neurodidaktik für den Musikunterricht im didaktischen Raum verortet?

Dieses konsekutive Vorgehen, vor allem in der Differenzierung zwischen erster und zweiter Fragestellung, berücksichtigt ein grundsätzliches Problem: Denn „jede noch so gute Lerntheorie beschreibt eben nur das Lernen – sie beschreibt damit noch nicht, wie gelehrt werden soll“.¹ Die Frage der Anwendbarkeit neurowissenschaftlicher Erkenntnisse für die Erziehungswissenschaft wird aktuell kontrovers diskutiert. Während v.a. Neurowissenschaftler die Neurobiologie zum neuen Fundament einer Pädagogik erheben, „die sich an die ‚üblichen Standards der medizinischen Forschung‘ halte (Spitzer, 2003a)“,² äußern sich Erziehungswissenschaftler oftmals zurückhaltender. Becker (2006) moniert mit Bezug auf die Rezeption einiger neurowissenschaftlicher Erkenntnisse zurecht, „dass sich zwischen den konkreten Forderungen und den referierten Studien keine zwingenden Ableitungszusammenhänge erkennen lassen“.³ Erziehungswissenschaftler seien sich Becker zufolge dennoch „darin einig, dass man sich innerhalb der Erziehungswissenschaft bislang zu wenig um die Rezeption biowissenschaftlicher Erkenntnisse bemüht hat“.⁴ Meines Erachtens ist jeder dieser angeführten Positionen Gehör zu schenken: Zum einen wäre es fahrlässig, neurobiologische Erkenntnisse über das Lernen im pädagogischen und speziell fachdidaktischen Diskurs zu ignorieren – gerade auch, da sich einige Fachdidaktiken wie

¹ Jank, W. / Meyer, H.: Didaktische Modelle. Berlin: Cornelsen, 2011, S.199f.

² Becker, N.: Von der Hirnforschung lernen? In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9.Jg., Beiheft 05/2006, S.182. Vgl. Spitzer, M.: Medizin für die Pädagogik. In: Die Zeit, 18.09.2003, Nr. 39/2003.

³ Becker, 2006, S.189.

⁴ Ebenda, S.190.

insbesondere auch die Musikdidaktik zunehmend dem Lernenden zuwenden, z.B. im Zuge konstruktivistischer Ansätze. Andererseits muss man sich stets vor Augen halten, dass neurowissenschaftliche Erkenntnisse über das Lernen nicht automatisch didaktische Konsequenzen implizieren – der jeweilige didaktische Wert muss erst im Spiegel pädagogischer Expertise sowie pädagogischer Erfahrung geprüft werden. In jener kritischen Prüfung des didaktischen Werts neurowissenschaftlicher Erkenntnisse soll sich in diesem Buch genau diejenige „interdisziplinäre Sachverständigkeit“⁵ widerspiegeln, die Becker einfordert. Der Möglichkeit, dass didaktisch relevante „Ergebnisse der Neurobiologie benutzt werden [können], um bestehende unterschiedliche Vorstellungen in den Erziehungswissenschaften mit naturwissenschaftlichen Erkenntnissen zu vergleichen“, wie es Pflüger (2006) trefflich formuliert,⁶ soll post hoc schließlich im Rahmen der Erkenntnisgewinnung zur abschließenden dritten Fragestellung Rechnung getragen werden.

1.2 Operationalisierung

Der ersten aufgeworfenen Fragestellung wird durch Metaanalyse von Studien, Erkenntnissen und Theorien zur Neurobiologie des Musiklernens nachgegangen. Ziel ist die induktive Bildung möglichst allgemeingültiger Theorien über das Lernen von, mit und durch Musik. Dabei sollen nicht nur die neuroanatomischen und neurophysiologischen Grundlagen der Musikperzeption in der Tiefe des aktuellen Kenntnisstandes ergründet werden, sondern soll darüber hinaus der Fokus explizit auch auf musikalische *Lernprozesse* gelegt werden. Denn anhand von Erkenntnissen über Aufbau und Kommunikationsprozesse von Nervenzellen oder Nervenzellgruppen allein – auch im Kontext der Musikperzeption – lassen sich noch keine direkten Schlussfolgerungen über Kommunikationsprozesse im Musikunterricht ziehen. Derartige Schlussfolgerungen sind erst dann möglich, wenn neurobiologische Erkenntnisse explizit Lernprozesse charakterisieren, also gewissermaßen Auskunft darüber geben, wie Lernen funktioniert. Erst über diesen Umweg können neurobiologische Erkenntnisse didaktische Strahlkraft erlangen.

Die Fokussierung auf Prozesse des Lernens wird, häufig in bewusster Abgrenzung zur Fokussierung auf das Lehren, mitunter als Mathetik bezeichnet:

⁵ Ebenda, S.191.

⁶ Pflüger, H.-J.: Von den Neurowissenschaften erziehen lernen? In: ZfE 9, Beiheft 05/2006, S.44.

„MATHETIK geht auf das griechische Verb ‚mathein‘ bzw. ‚manthanein‘ zurück. Beide Verbformen stehen im Infinitiv und bedeuten ‚lernen‘, der Begriff ‚kann als ‚Lehre vom Lernen‘ verstanden werden“.⁷ In dieser Arbeit sollen neurowissenschaftliche Erkenntnisse gewissermaßen eine Mathetik des Lernens von und mit Musik bilden. Diese musikbezogene Mathetik soll den aktuellen

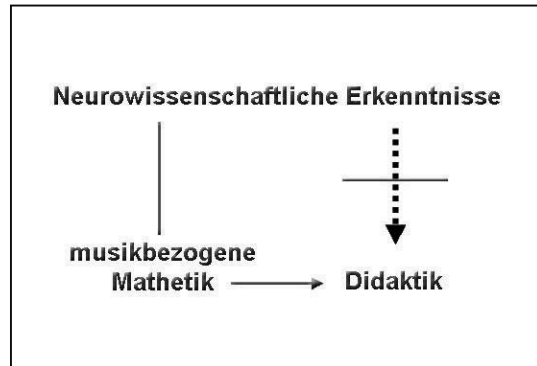


Abbildung 1: Erkenntnisweg zwischen Neuro- und Erziehungswissenschaften

neurowissenschaftlichen Kenntnisstand über das Lernen im Kontext von Musik darstellen. In einem darauffolgenden Schritt die Transferierbarkeit musikbezogener Mathetik in handlungsleitende Didaktik zu prüfen und damit letztendlich dann doch „Empfehlungen [auszusprechen], die sich aus den [ursprünglich] referierten [neurowissenschaftlichen] Erkenntnissen [auf direktem Wege] nicht deduzieren lassen“,⁸ ist dann eine spezifisch pädagogische Aufgabe, die wahrscheinlich innerhalb der Neurowissenschaft allein nicht geleistet werden könnte. Die Operationalisierung der entsprechenden zweiten Fragestellung fällt dabei konkret so aus, dass versucht wird, aus der im ersten Schritt gezeichneten musikbezogenen Mathetik handlungsleitende didaktische Prinzipien aufzustellen.

Jede Didaktik ist letztlich ein Angebot zum Begreifen, Leben und Gestalten der Lehr-Lern-Wirklichkeit. Handlungsleitende didaktische Prinzipien sind als Kern eines solchen Angebots gut geeignet: Sie bieten kompakte Aussagen zum Begreifen der Lehr-Lern-Wirklichkeit, sie unterstützen, da sie eben handlungsleitend sind, z.B. hinsichtlich lehrerseitiger Entscheidungen zur Unterrichtsphasierung, zu Methoden oder auch Materialien, und sie bieten Orientierung, da sie Kerninhalte einer Didaktik prägnant und viabel wiedergeben. In dieser Arbeit sollen in entsprechende didaktische Diskussionen neurowissenschaftlicher Inhalte, die dann in das Aufstellen didaktischer Prinzipien münden, auch pädagogische Erfahrungen einfließen; die entstehende Didaktik soll auch in der pädagogischen Praxis wurzeln. Nach dem Aufstellen didaktischer Prinzipien wird nachfolgend noch

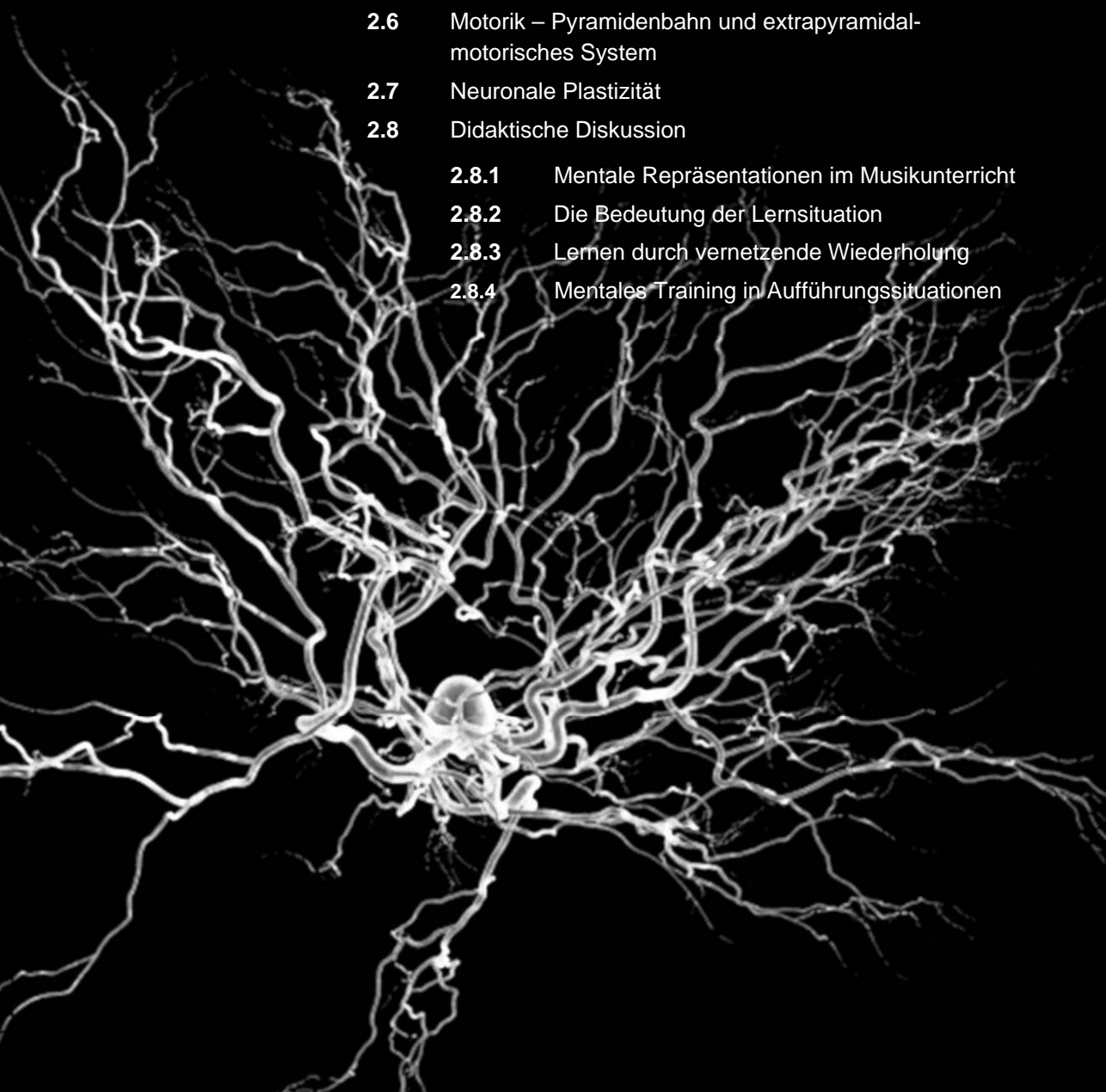
⁷ Kohlberg, W.D. / Unseld, Th.: Mathetik. Osnabrück: Universität Osnabrück, 2007, S.2, Hervorhebung im Original.

⁸ Becker, 2006, S.191.

zusammenfassende Modellbildung vorgenommen, um einen weiteren Zuwachs an Viabilität zu erreichen. Abschließend wird die aufgestellte Neurodidaktik für den Musikunterricht dann gemäß der dritten aufgeworfenen Fragestellung im didaktischen Raum verortet. Dazu ist es notwendig, diesen Raum zu definieren: Es müssen Dimensionen gefunden werden, in denen musikdidaktisch-diskursive Gegensätze abgebildet werden. Innerhalb einer solchen Dimension kann Neurodidaktik für den Musikunterricht dann positioniert werden: Ihre Inhalte können z.B. einer von zwei gegensätzlichen Extrempositionen mehr oder weniger nahe stehen oder aber sich innerhalb einer bestimmten didaktischen Dimension neutral verhalten. Die Verortung im musikdidaktischen Raum wird damit durch die Positionen innerhalb der einzelnen Dimensionen konstituiert.

Kapitel 2 · Fundamentale neuronale Systeme des Menschen

- 2.1 Mikroanatomische Ebene
- 2.2 Makroanatomie des Zentralnervensystems
- 2.3 Überblick über das vegetative Nervensystem
- 2.4 Die Topografie der Hirnrinde
- 2.5 Sensorik – Grundlagen der Musikwahrnehmung
- 2.6 Motorik – Pyramidenbahn und extrapyramidal-motorisches System
- 2.7 Neuronale Plastizität
- 2.8 Didaktische Diskussion
 - 2.8.1 Mentale Repräsentationen im Musikunterricht
 - 2.8.2 Die Bedeutung der Lernsituation
 - 2.8.3 Lernen durch vernetzende Wiederholung
 - 2.8.4 Mentales Training in Aufführungssituationen



Kapitel 2

Fundamentale neuronale Systeme des Menschen

Neuronale Systeme sind wohl eine der wesentlichsten evolutionären Errungenschaften der lebenden Natur. Angefangen von einfachen oligozellulären Systemen wirbelloser Tiere bis hin zum Zentralnervensystem der Wirbeltiere und vor allem des Menschen haben sich diese Systeme im Dienste der intra- und inter-individuellen Kommunikation immer weiter ausdifferenziert.

Das humane Nervensystem ist neben dem Hormonsystem – dem sogenannten endokrinen System – eines von zwei großen Kommunikationssystemen innerhalb des menschlichen Körpers. Es ist in der Lage, in sehr kurzer Zeit eine große Menge an Informationen zu vermitteln und ist in dieser Hinsicht dem Hormonsystem hoch überlegen.⁹ Außerdem ermöglicht es im Gegensatz zum endokrinen System die Aufnahme, Verarbeitung, Deutung und das Aussenden von Informationen aus bzw. an die Umwelt. Und schließlich ist es Grundlage jeglicher Reflexion des eigenen Selbst. Es ist damit Ursprung allen Fühlens, Denkens und Lernens. Der Aufbau des Nervensystems ist sowohl auf zellulärer, mikroanatomischer Ebene als auch auf der Ebene der mit bloßem Auge erkennbaren Strukturen, der makroskopischen Ebene, hoch komplex. Beide Strukturebenen sind für das Verständnis der Funktionsweise des Nervensystems relevant und werden im Folgenden näher erläutert.

⁹ Die Hormone des endokrinen Systems wiederum können demgegenüber eine sehr große Zahl an Zielzellen erreichen, wenn auch in vergleichsweise langsamer Geschwindigkeit.

¹⁰ Jank, W. / Meyer, H.: Didaktische Modelle. Berlin: Cornelsen, 2011, S.199f.

¹¹ Becker, N.: Von der Hirnforschung lernen? In: Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, 9.Jg., Beiheft 05/2006, S.182. Vgl. Spitzer, M.: Medizin für die Pädagogik. In: Die Zeit, 18.09.2003, Nr. 39/2003.

¹² Becker, 2006, S.189.

¹³ Ebenda, S.190.

¹⁴ Ebenda, S.191.

¹⁵ Pflüger, H.-J.: Von den Neurowissenschaften erziehen lernen? In: ZfE 9, Beiheft 05/2006, S.44.

¹⁶ Kohlberg, W.D. / Unsel, Th.: Mathetik. Osnabrück: Universität Osnabrück, 2007, S.2, Hervorhebung im Original.

¹⁷ Becker, 2006, S.191.

2.1 Mikroanatomische Ebene

Die kleinsten funktionellen Einheiten des Nervensystems sind Neurone. Sie sind in der Lage, sich zu größeren Funktionskreisen zusammenzuschließen und bilden somit den Rohstoff für alle übergeordneten Funktionssysteme. Jede dieser hochspezialisierten Zellen besteht aus einem Zellkörper, dem Perikaryon, Fortsätzen dieses Zellkörpers, den zuführenden Dendriten und dem wegführenden Axon. Letzteres verzweigt sich weitläufig und ragt mit mehreren Ausläufern an die Dendriten, also die zuführenden Fortsätze wiederum anderer Nervenzellkörper, oder direkt an die Zielperikarya heran. Mehrere Fortsätze schließen sich zu einer Nervenfasern, mehrere Nervenfasern zu einem Nerv zusammen. Die Tatsachen, dass erstens alle Kontaktstellen eines Axons an seine Zielzellen einen gemeinsamen Ursprung an *einem bestimmten* Neuron haben und dass zweitens jede Nervenzelle über ihre Dendriten Impulse gleich mehrerer anderer Nervenzellen aufnimmt, sind hinsichtlich der Funktionsweise des Nervensystems auf mikroskopischer Ebene wesentlich: Jedes Neuron hat zwar viele Eingänge (Inputs) über zuführende Dendriten, jedoch nur einen Ausgang in Form des abgehenden Axons. Die Kontaktstelle zwischen axonalen Endverzweigungen und entweder Dendrit oder aber Zellkörper wird als *Synapse* bezeichnet (im erstgenannten Fall spricht man von *axodendritischer Synapse*, im zweitgenannten Fall von *axosomatischer Synapse*, vgl. Abb.2). Es handelt sich um eine Verdickung am Ende des Fortsatzes, in dem bei einlaufendem elektrischen Impuls eine Signalkaskade in Gang gesetzt wird, die schließlich zur Ausschüttung von Botenstoffen, den Neurotransmittern, in Richtung des angrenzenden Dendriten oder Perikaryons führt.

Diese Botenstoffe durchwandern den synaptischen Spalt zwischen Synapsen- und Dendriten- bzw. neuronaler Membran und binden an Rezeptoren der Zielzelle. Jede Nervenzelle besitzt dabei an allen aus ihrem Axon hervorgehenden Synapsen stets denselben Botenstoff. Je nachdem, um welchen synaptischen Transmitter es sich dabei handelt, wirkt die Ursprungszelle entweder erregend oder hemmend auf ihre Zielzellen ein. Erregend wirkt beispielsweise der Neurotransmitter Acetylcholin, hemmend z.B. Gamma-Amino-Buttersäure (-acid), kurz GABA.¹⁹ Da nun wie oben erwähnt jedes Neuron von vielen anderen Neuronen erreicht wird (viele Inputs), erhält es häufig sowohl erregende als auch hemmende Signale. Alle einlaufenden Signale werden über die Nervenzellmembran fortgeleitet und

¹⁸ Die Hormone des endokrinen Systems wiederum können demgegenüber eine sehr große Zahl an Zielzellen erreichen, wenn auch in vergleichsweise langsamer Geschwindigkeit.

¹⁹ Einen guten Überblick über die verschiedenen Neurotransmitter gibt Kreuzzig, Th.: Kurzlehrbuch Biochemie. München, Jena: Urban und Fischer, 2002, S.499ff.

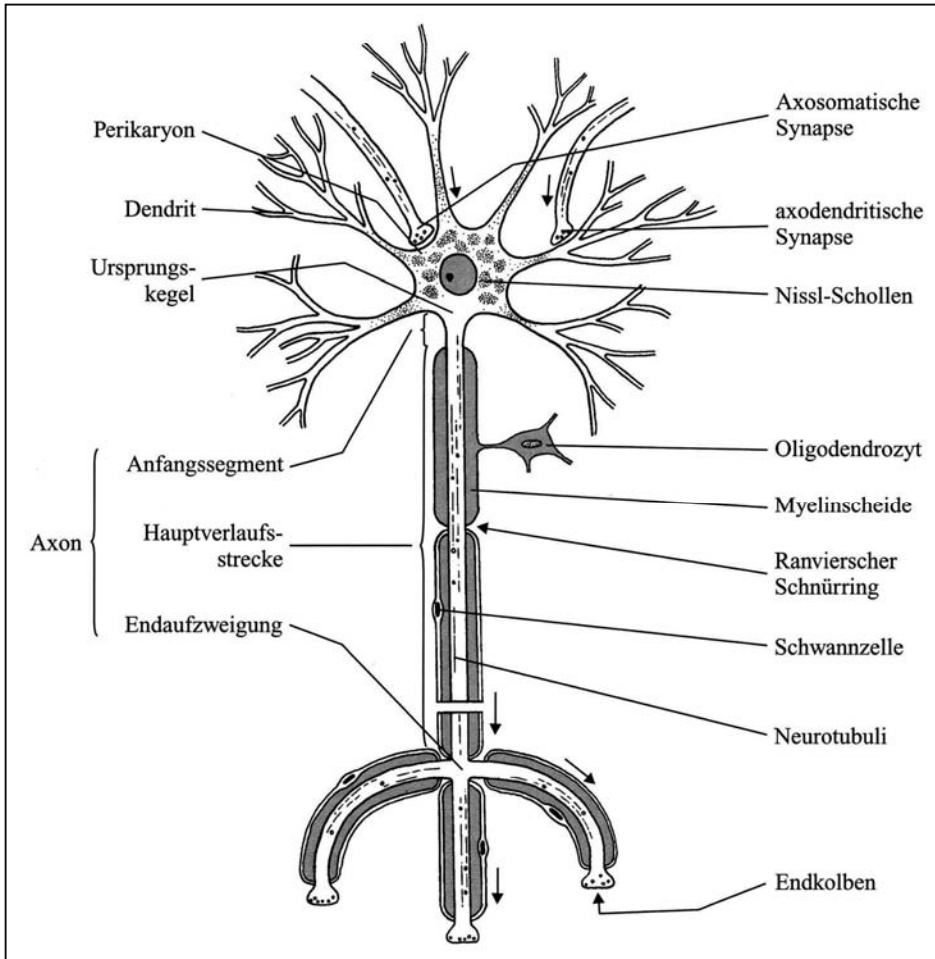


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Neurons. (Mit freundlicher Genehmigung aus: Baumhoer / Steinbrück / Götz: Kurzlehrbuch Histologie. München, Jena: Urban & Fischer, 2003, S.78)

addieren (bzw. subtrahieren) sich. An genau der Stelle des Neurons, von welcher das Axon abgeht, dem sogenannten Axonhügel, entscheidet sich nun, ob jene Zelle ihrerseits über ihr Axon ein Signal versendet – welches dann wiederum je nach Transmitter dieses Axons bzw. aller seiner Synapsen entweder erregend oder hemmend auf alle seine Zielzellen einwirkt. Nur dann, wenn am Axonhügel nach Verrechnung aller erregenden und hemmenden eingehenden Signale ein gewisser Schwellenwert überschritten wird, sendet die Zelle über ihr Axon ein Signal aus, man sagt umgangssprachlich, sie „feuert“ oder „ist aktiviert“. Dieses Prinzip der Signalweiterleitung und -verrechnung gilt für jeden Verbund zusammen-

geschlossener Neurone. Damit kann man sich bereits so wenig greifbar anmutende Begriffe wie Denken, Gedanken, Vorstellung oder Erinnerung auf mikroskopischer Ebene derart zugänglich machen, dass man sie als räumliche Muster aktivierter Neurone begreift, also Muster, die entstehen, weil sich ganz bestimmte Neurone gegenseitig erregen oder hemmen. Jedem Gedanken, jedem Bild oder auch Klang in unserer Vorstellung ist ein ganz bestimmtes Muster bzw. mehrere Muster aktivierter Neurone ursächlich. In diesem Zusammenhang wird häufig von *mentalen Repräsentationen* gesprochen, gebräuchlich und ebenso trefflich ist zudem der Begriff der *mentalen Karten*.

2.2 Makroanatomie des Zentralnervensystems

Wie überaus trefflich der Begriff der mentalen Karte ist, wird deutlich, wenn man die Makroanatomie des menschlichen Nervensystems betrachtet. Dabei muss man zunächst zwischen Zentralnervensystem (ZNS) einerseits und vegetativem Nervensystem (VNS) auf der anderen Seite unterscheiden.

Das Zentralnervensystem ist, wie es seine Titulierung bereits widerspiegelt, zentral organisiert, wobei als Schaltzentrale das Großhirn (*Cerebrum*) fungiert. Dieses ist über den Hirnstamm – bestehend aus Brücke (*Pons*), Mittelhirn (*Mesencephalon*) und verlängertem Rückenmark (*Medulla oblongata*) – mit dem Rückenmark (*Medulla*) verbunden. Von letzterem ziehen, analog zum Aufbau der Wirbelsäule aus mehreren Wirbelkörpern, segmental sogenannte Spinalnerven zur Körperperipherie, die sowohl sensorische als auch motorische Anteile enthalten, also sowohl Wahrnehmungen zum Großhirn leiten als auch Bewegungsbefehle von selbigem erhalten. An dieses System angebunden, und zwar im Sinne einer Parallelschaltung, ist das Kleinhirn (*Cerebellum*), eine Art Relaisstation für zu- und wegführende Signale zum und vom Großhirn. Das Großhirn ist in zwei Hemisphären gegliedert, die über den Balken (das *Corpus Callosum*) miteinander verbunden sind. Letzterer ist ein Bündel sogenannter Kommissurenfasern, also solcher Nervenfasern, die äquivalente Bereiche beider Hemisphären verbinden. Jede Hemisphäre per se lässt sich wiederum makroskopisch wie funktionell in einen Endhirnanteil (*Telencephalon*) und einen Zwischenhirnanteil (*Diencephalon*) gliedern. Endhirn und Zwischenhirn sind daher paarige Strukturen, der Hirnstamm ist dagegen als Übergang zum Rückenmark unpaar.

Der größte Teil der Masse des Zentralnervensystems machen Nervenfasern, also die Verbindungen zwischen Neuronen aus. Dieser Massenanteil wird aufgrund seiner makroskopischen Erscheinung als *weiße Substanz* bezeichnet. Der weißen

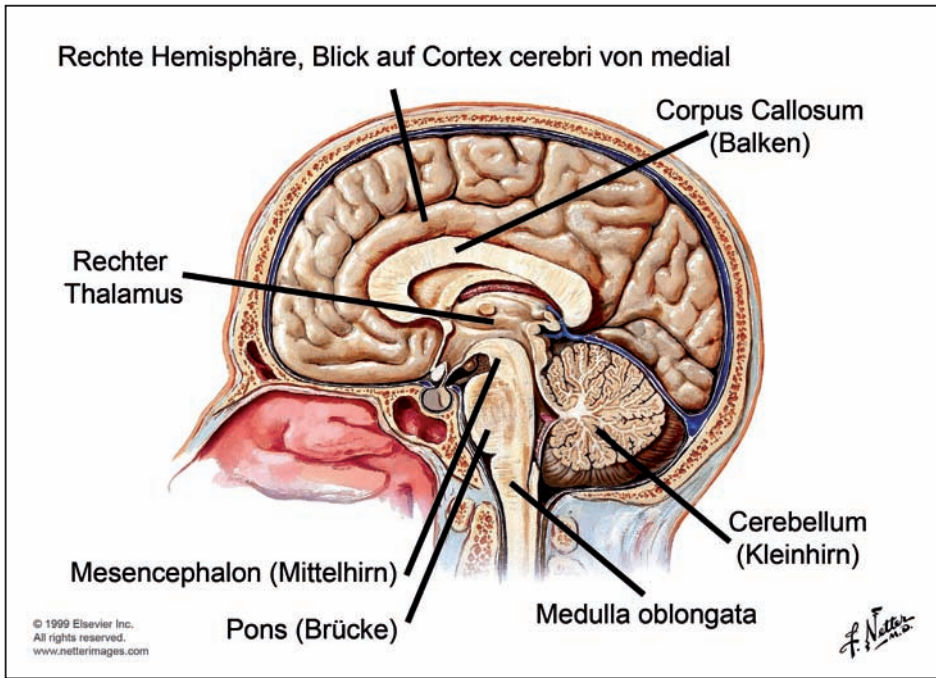


Abbildung 3: Sagittalschnitt des Kopfsitus, Blick auf die rechte Hemisphäre von medial. (Mit freundlicher Genehmigung vereinfachend beschriftet nach Netter, F.H.: Atlas der Anatomie des Menschen. Stuttgart, New York: Thieme, 1999, Tafel 100)

Substanz steht die *graue Substanz* gegenüber, welche ihre dunklere Erscheinung dichten Ansammlungen von Nervenzellen verdankt. Beim Menschen macht den überwiegenden Teil der grauen Substanz die Hirnrinde, der *Cortex Cerebri* aus. Sie überzieht die gesamte Oberfläche des Großhirns und ist ca. zwei bis fünf Millimeter dick. Daneben finden sich einige kleinere, aber funktionell ebenfalls wichtige Ansammlungen von Nervenzellen („Kerngebiete“) im Hirnstamm (Hirnstammkerne) sowie im Zwischenhirn – hier sind *Thalamus*, *Hypothalamus* und die sogenannten *Basalganglien* hervorzuheben.

Der *Cortex cerebri* ist das neuroanatomische Korrelat aller bewussten Denkprozesse. Außerdem ist er Ort der Entstehung von sowohl Wahrnehmungen und Empfindungen als auch von allen willkürlichen motorischen Befehlen. Als Basalganglien bezeichnet man Neuronenansammlungen („Kerne“) unterhalb des Cortex, also im Innern der Hemisphären. Diese subkortikalen Kerngebiete üben eine moderierende und koordinierende Funktion auf den Informationsfluss zum und vom Cortex aus. Hervorzuheben ist im Zusammenhang dieser Arbeit der Mandelkern (die *Amygdala*), welcher eine entscheidende Rolle bei der Emotions-

entstehung, vor allem von negativen Emotionen wie Angst, spielt.²⁰ Der Thalamus als weiteres subkortikales Kerngebiet ist eine wichtige Filterstation für sensorische Informationen und wird daher auch das „Tor zum Bewusstsein“ genannt. Er sorgt beispielsweise dafür, dass im Schlaf keine oder kaum Sinneswahrnehmungen ins Bewusstsein gelangen, es sei denn, sie werden als bedeutsam genug eingestuft, den Schlaf zu unterbrechen, wie z.B. im Falle eines lauten Knalls. Im Hypothalamus und in den Kernen des evolutionär alten Hirnstamms schließlich werden wesentliche unbewusste Prozesse des Körpers wie Atmung, Kreislaufregulation oder Verdauung gesteuert. Dementsprechend sind im Hirnstamm z.B. das Kreislauf- oder Atemzentrum, also die Schaltzentralen des neben dem Zentralnervensystem zweiten höchstgeordneten neuronalen Systems, des sogenannten vegetativen Nervensystems, zu finden.

2.3 Überblick über das vegetative Nervensystem

Das vegetative Nervensystem wird auch *autonomes Nervensystem* genannt, womit seine Unabhängigkeit von willentlicher Kontrolle betont wird. Dementsprechend sind die Steuerzentren dieses Systems unterhalb der Ebene des Cortex cerebri lokalisiert. Das höchste Zentrum jenes Systems ist der Hypothalamus, welcher gleichzeitig auch wichtiges Zentrum des Hormonsystems ist, und der damit eine wesentliche verbindende Struktur zwischen Nerven- und Hormonsystem darstellt. Die Primärbefehle des Hypothalamus werden in den bereits oben angesprochenen Zentren des Hirnstamms weiterverarbeitet und an das periphere vegetative Nervensystem übergeben. Letzteres gliedert sich in Sympathikus, Parasympathikus und enterisches Nervensystem (ENS).

Das ENS ist ein eigenes Netzwerk zur Regulation der Verdauungstätigkeit und wird daher bisweilen auch ‚Gehirn des Darms‘ oder ‚Das zweite Gehirn‘ genannt. Es ist aber ebenso ‚Quelle psychoaktiver Substanzen, die mit Gemütslagen in Verbindung stehen‘.²¹ Redewendungen des Alltags wie ‚ein Bauchgefühl haben‘ oder ‚etwas schlägt auf den Magen‘ deuten an, dass neuronale Vorgänge im enterischen Nervensystem mit kognitiven Vorgängen im Gehirn in Wechselwirkung treten können – im erstgenannten Fall im Rahmen von Entscheidungsfindung, im Falle der zweiten Redewendung im Zuge der wohl bedeutendsten Reaktion unseres

²⁰ Die paarigen Basalganglien sind im einzelnen: *Amygdala*, *Claustrum*, *Globus pallidus*, *Nucleus caudatus* und *Putamen*.

²¹ Arnold, M.: Aspekte einer modernen Neurodidaktik. Emotionen und Kognitionen im Lernprozess. München: Verlag Ernst Vögel, 2002, S.74.

Körpers, einer Reaktion, die gewissermaßen ein Statement des gesamten Systems Mensch auf seine Umwelt darstellt und die wir Emotion nennen. Die intensive Erforschung des ENS hat vor wenigen Jahren erst begonnen, die Einschätzung seiner Bedeutung im Gesamtkontext der neuronalen Systeme steigt jedoch zunehmend.

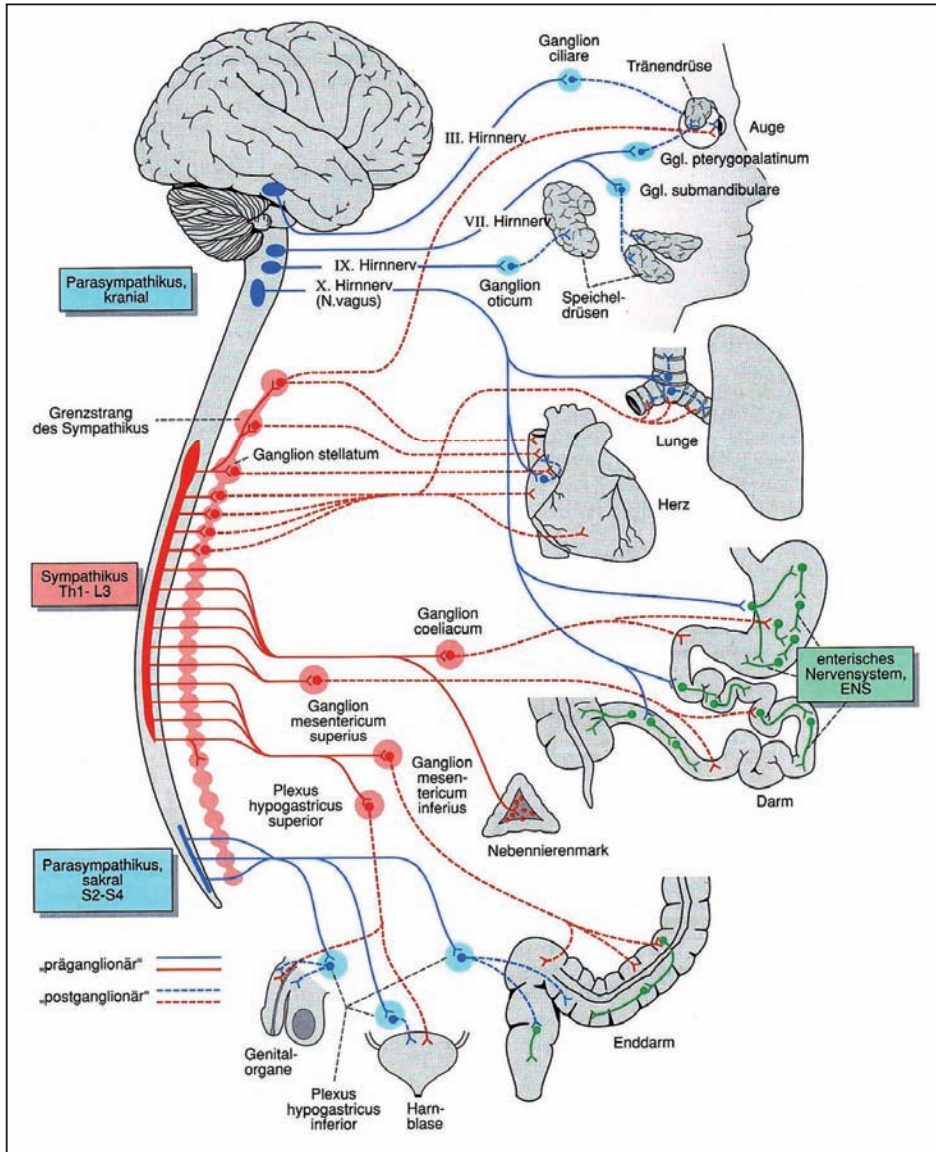


Abbildung 4: Schematische Darstellung des vegetativen Nervensystems (Hypothalamus nicht sichtbar). (Mit freundlicher Genehmigung aus: Golenhofen, K.: Basislehrbuch Physiologie. München, Jena: Urban & Fischer, 2003, S.407)

Sympathikus und Parasympathikus schließlich sind klassische Antagonisten. Beide erreichen so gut wie alle inneren Organe, der Parasympathikus über den III., IX. und vor allem X. Hirnnerv (Nervus Vagus) sowie von einem Neuronenzentrum im sakralen Rückenmark aus, der Sympathikus von einem langgezogenen Kerngebiet²² im Brust- und Lendenwirbelbereich aus (vgl. Abbildung 4).

Die antagonistische Wirkung von Sympathikus und Parasympathikus lässt sich folgendermaßen zusammenfassen: Der Sympathikus stellt den Körper auf Leistung und Kampf ein („Fight, Flight, Fright“, ergotrope Reaktion), der Parasympathikus auf Ruhe und Erholung („rest and digest“, trophotrope Reaktion). So werden in einer Stresssituation, wie z.B. einem musikalischen Vortrag, infolge von Sympathikusaktivität Herzschlag, Atmung und auch Aufmerksamkeit deutlich erhöht und die Verdauungstätigkeiten eingestellt. Umgekehrt verhält es sich beim mittäglichen Entspannen auf der Couch oder beim entspannten Lesen einer Zeitung.

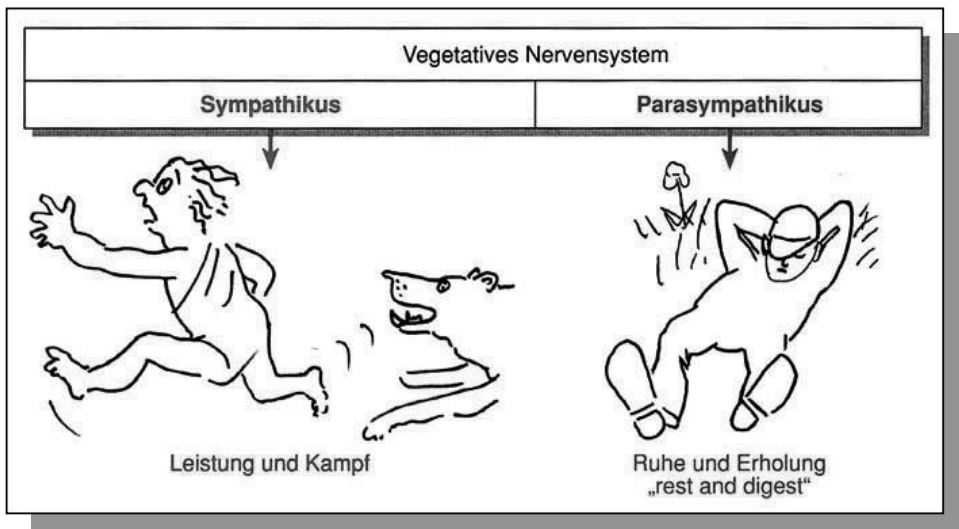


Abb. 5: Wirkungsantagonismus von Sympathikus und Parasympathikus. (Mit freundlicher Genehmigung aus: Golenhofen, 2003, S.405)

²² Die Begriffe „Zentrum“, „Kerngebiet“ und „Kern“ werden synonym gebraucht und bezeichnen allesamt eine Ansammlung von Neuronen (Vgl. Hirnstamm“kerne“).