



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Erkenntnisse der Neurobiologie für das (motorische) Lernen
und den Lernalltag von Schülerinnen und Schülern unter be-
sonderer Berücksichtigung von Bewegung und Sport“

verfasst von / submitted by

Philipp Enders

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2017 / Vienna, 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 445 482

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Biologie und Umweltkunde,
UF Bewegung und Sport

Betreut von / Supervisor:

Ao. Univ.-Prof. Dr. MMag. Konrad Kleiner

Abstract

Background: Based on new imaging technics and methods the last two decades' brain research made it possible to get a deeper view into the functions and processes of the human brain. Through this, one of the central functions of the brain – learning – is getting more transparent. However, the incorporation of these new scientific findings into teacher's daily routine is very slow. Even during the education of teachers (at the University of Vienna) an interdisciplinary collaboration of pedagogy and neuroscience is not perceivable yet. Based on the fundamental idea that experts just be in the position to work efficiently and goal directed because of the background knowledge in their specific field, here, this assumption is discussed for schoolteachers. Considering the subject physical education (PE) the abandonment of the thesis is to present the neurobiological findings of learning and to proof them regarding the relevance of use for PE teachers and subsequently for their students. In this connection, the potential of physical activity for the daily routine of students will be picked out as a central theme. The framework of this topic is geared to the authors Spitzer (2006) and Korte (2009) which assumed in their work that a neurobiological background knowledge contributes to understand the process of human learning and is based on this knowledge to optimize learning at school and in daily routine. Since “the results of brain research for learning [are] as important as the astrophysics for the aerospace or the physiology of muscles and articulations for the sport.” (Spitzer, 2006, S. XIII)

Purpose: This thesis shows learning from a neurobiological perspective and tries to figure out the relevance of this knowledge for daily routine at school. Additionally, a specific view on physical education (PE) is presented. The following main research questions should be answered during this work:

Which neurobiological findings of (motor) learning show a practical relevance to initiate an improvement of the learning process of students?

Is it possible to combine these neurobiological findings with the general methods of didactics or are they mutually exclusive?

Which consequences and which additional benefits for physical education teachers does an interdisciplinary background knowledge of learning have?

Which influence has physical activity on learning and the daily routine of learning of students?

Methods: Using technical literature and scientific articles this topic is investigated hermeneutically. For literature research the data bases SPOLIT and PUBMED were accessed. Additionally, technical literature of pedagogy, didactics and brain research were utilized.

Results: The results indicate that a deeper understanding of learning, its subprocesses and manipulating factors can have a clear influence on daily routine of teachers and students. For that matter, irrespective of what should be learned, it is essential that the basic pattern of the learning process itself is always the same. Thereby the neurobiological findings of learning can be used interdisciplinary. Without a doubt, it can be shown that because of an interdisciplinary collaboration of didactics and neuroscience a substantially bigger spectrum of interventions opens up for teachers to manipulate the process of students' learning positively. Due to the neurobiological findings, the general methods of didactics are not getting disproved but rather getting supported and improved. Further results of this thesis show the obvious additional benefit of the neurobiological background knowledge for physical education teachers. With this background knowledge, a lot of methodical approaches are getting a scientific verified value, which makes its implementation logical and easier for schoolteachers to shape these methods more efficiently. Furthermore, it is shown that physical activity makes an important contribution to improve cognitive capabilities and skills. Accordingly, this research presents data of significant correlations between motor and cognitive capacity. These results bestow PE another very important role in the context of school.

Kurzzusammenfassung

Hintergrund: Neue bildgebende und methodische Verfahren der Hirnforschung haben es in den letzten zwei Jahrzehnten möglich gemacht, einen tieferen Einblick in die Prozesse und Funktionsweisen des menschlichen Gehirns zu erhalten. Hierdurch wird auch eine der zentralen Funktionen des Gehirns – das Lernen – immer transparenter. Trotzdem kommt die Einarbeitung dieser neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse in den praktischen Alltag von Lehrerinnen und Lehrern nur schleppend voran. Selbst in der Ausbildung für Lehramtsstudentinnen und -Studenten (an der Universität Wien) ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Lehrerinnenbildung und Neurobiologie derzeit nicht erkennbar. Ausgehend von dem Grundgedanken, dass Expertinnen bzw. ein Experte durch das nötige Hintergrund- respektive Grundlagenwissen in ihrem Fachgebiet erst in der Lage sind, zielgerichtet und effizient zu arbeiten, ist diese Annahme auch für Lehrerinnen und Lehrer zu diskutieren. Unter besonderer Berücksichtigung von „Bewegung und Sport“ ist es Aufgabe dieser Diplomarbeit, die neurobiologischen Erkenntnisse von Lernen darzustellen und sie bezüglich ihrer Praxisrelevanz für Sportlehrerinnen und -Lehrer und damit für Schülerinnen und Schüler zu überprüfen. Hierbei soll auch das enorme Potential von Bewegung bezüglich des Lernalltags von Schülerinnen und Schülern thematisiert werden. Das Rahmenkonzept zur Bearbeitung der Fragestellung orientiert sich an den Autoren Spitzer (2006) und Korte (2009), die in ihren Ausführungen davon ausgehen, dass neurobiologisches Grundlagenwissen dazu beiträgt, die Lernprozesse des Menschen zu verstehen und, basierend auf diesem Wissen, das Lernen in der Schule und im Alltag zu optimieren. Denn „die Ergebnisse der Erforschung des Gehirns [sind] für das Lernen etwa so wichtig wie die Astrophysik für die Raumfahrt oder die Muskel- und Gelenkphysiologie für den Sport.“ (Spitzer, 2006, S. XIII)

Ziel: Diese Diplomarbeit zeigt Lernen aus der neurobiologischen Perspektive und versucht die Frage zu beantworten, ob dieses Wissen für den Alltag Schule relevant ist. Ein besonderer Fokus wird hierbei auf das Unterrichtsfach „Bewegung und Sport“ gelegt. Folgende Fragen sollen im Verlauf der Arbeit beantwortet werden:

Welche neurobiologischen Erkenntnisse von (motorischem) Lernen lassen eine praxisorientierte Relevanz erkennen, um eine Verbesserung der initiierten Lernprozesse bei Schülerinnen und Schülern zu bewirken?

Lassen sich solche neurowissenschaftlichen Erkenntnisse mit den allgemeinen Methoden der Didaktik vereinen oder schließen sie sich einander aus?

Welche Konsequenz, aber vor allem welchen Mehrwert hat ein solches, interdisziplinäres Grundlagenwissen über Lernen für Sportlehrerinnen und –Lehrer?

Welchen Einfluss hat Bewegung auf das Lernen und den Lernalltag von Schülerinnen und Schülern?

Methoden: Unter Einbezug aktueller Fachliteratur und Artikeln wissenschaftlicher Fachzeitschriften wird das Thema hermeneutisch bearbeitet. Für die Literaturrecherche wurde auf die Datenbanken SPOLIT und PUBMED zurückgegriffen. Zusätzlich kam es zur Verwendung veröffentlichter Fachliteratur aus der Pädagogik, Didaktik und Gehirnforschung.

Ergebnisse: Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen deutlich, dass ein tieferes Verständnis von Lernen, seinen Teilprozessen und beeinflussenden Faktoren, einen offensichtlichen Einfluss sowohl auf den Lehralltag von Lehrerinnen und Lehrern, als auch auf den Lernalltag von Schülerinnen und Schülern haben kann. Dabei ist entscheidend, dass der Lernprozess in seiner grundlegenden Form immer gleich abläuft, unabhängig davon was gelernt wird. Damit können die neurobiologischen Erkenntnisse für das Lernen fächerübergreifend angewendet werden. Wie hierbei zweifelsfrei gezeigt werden kann, entsteht durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Didaktik und Neurowissenschaften ein wesentlich breiteres Spektrum an Interventionsmöglichkeiten für Lehrerinnen und Lehrer, um auf den Lernprozess ihrer Schülerinnen und Schüler positiv einzuwirken. Die allgemeinen didaktischen Methoden werden hierbei, aufgrund neurobiologischer Erkenntnisse, nicht widerlegt, sondern vielmehr unterstützt und verfeinert. Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit ist der offensichtliche Mehrwert von neurobiologischem Grundlagenwissen für Sportlehrerinnen und -Lehrer. Durch dieses Hintergrundwissen bekommen viele methodische Zugänge einen wissenschaftlich verifizierten Wert, welcher deren Anwendung logisch erklärt und sich diese hierdurch effizienter gestalten lassen. Außerdem wird verdeutlicht, dass Bewegung und sportliche Aktivität einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung kognitiver Fähigkeiten und Fertigkeiten leisten kann. Wie die Ergebnisse dieser Arbeit darlegen, gibt es einen signifikanten Zusammenhang zwischen der sportlichen (sowohl konditionell, als auch koordinativ) und kognitiven Leistungsfähigkeit. Durch diese Ergebnisse wird dem Unterrichtsfach „Bewegung und Sport“ im Kontext Schule eine weitere, wichtige Rolle zuteil.

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT	6
1 EINLEITUNG	7
1.1 FRAGESTELLUNGEN DER ARBEIT	8
1.2 METHODE DER BEARBEITUNG	9
1.3 GLIEDERUNG DER ARBEIT	10
2 DIE GRUNDLAGE DES LERNENS	13
2.1 DIE GEHIRNZELLEN	13
2.1.1 <i>Die Gliazellen</i>	13
2.1.2 <i>Die Nervenzellen</i>	14
2.2 INFORMATIONSAUFNAHME UND ÜBERTRAGUNG AN DAS GEHIRN	16
2.3 INFORMATIONSVERRABEITUNG IM GEHIRN	17
2.3.1 <i>Neuronale Netzwerke</i>	20
2.3.2 <i>Wozu dienen Synapsen?</i>	23
2.3.3 <i>Kortikale Karten</i>	26
2.3.4 <i>Das Gedächtnis</i>	28
2.3.4.1 Zeitliche Einteilung des Gedächtnisses	28
2.3.4.2 Inhaltliche Einteilung des Gedächtnisses	29
2.4 FAZIT	30
3 LERNEN	33
3.1 WO LERNEN BEGINNT	33
3.2 DIE ROLLE DER NEURONALEN ENTWICKLUNG	35
3.3 WIE GELERNT WIRD	38
3.4 LERNEN ALS PROZESS AM BEISPIEL DER SPRACHENTWICKLUNG	42
3.5 WAS GELERNT WIRD	45
3.6 DIE LERNGESCHWINDIGKEIT	48
3.7 FAZIT	52
4 WIE UNSER LERNEN BEEINFLUSST WIRD	54
4.1 AUFMERKSAMKEIT	54
4.2 EMOTIONEN	58
4.3 MOTIVATION	63
4.4 BEWEGUNG (MACHT SCHLAU)	68
4.5 FAZIT	78
5 DIE DIDAKTISCHE KONSEQUENZ FÜR „BEWEGUNG UND SPORT“ DURCH DIE WISSENSCHAFT	80
5.1 NEUES WISSEN VS. ALTE (DIDAKTISCHE) METHODEN – SCHLIEßT DAS EINE DAS ANDERE AUS?	80
5.2 DIE KONSEQUENZ FÜR SPORTEHRERINNEN UND –LEHRER	85
6 CONCLUSIO	91
7 AUSBLICK	93
LITERATURVERZEICHNIS	95
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	101
TABELLENVERZEICHNIS	101
EIDESSTÄTTICHE ERKLÄRUNG	102

Vorwort

Ein großer Ansporn, diese Arbeit zu verfassen, war die enorm große Praxisrelevanz, die dieses Thema für meinen weiteren Berufsweg hat. Lernen ist ein Thema, mit dem ich mich, rückblickend betrachtet, während meines Studiums viel zu selten auseinandergesetzt habe. Vielleicht, weil es so simpel erscheint, vielleicht, weil man davon ausgeht, dass es sowieso passiert. Ich habe versucht eine Arbeit zu verfassen, mit Hilfe welcher man sich zunächst das, meines Erachtens, praxisrelevante und nützliche Grundwissen über Lernen aneignen kann und anschließend anhand von „Bewegung und Sport“ einen praktischen Bezug hergestellt. Ich hoffe, dass ich durch diese Arbeit den/die eine/n oder andere/n Leser/in motivieren kann, sich intensiver mit diesem für jeden Menschen so grundlegendem Thema zu beschäftigen. Ich glaube es kann unsere Sicht auf viele Dinge, nicht nur in der Schule, sondern vor allem auch im (eigenen) Alltag, verändern oder zumindest zum Nachdenken anregen.

An dieser Stelle möchte ich mich vor allem bei all denjenigen bedanken, die so geduldig mit mir waren und mir vertraut haben, dass ich diese Arbeit beenden werde, auch wenn es ein wenig länger gedauert hat. Besonders möchte ich mich bei meinen Eltern, Ilona und Volker Enders, bedanken, die mich von Anbeginn meines Studiums unterstützt haben und mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen. Außerdem möchte ich mich bei meiner Schwester, Anni-Josephine Enders, und meinem langjährigen Freund, Simon Britsch, bedanken, die jederzeit ein offenes Ohr für mich hatten. Ein dickes Dankeschön gilt auch Helena Wendschlag, die mir gegen Ende mit ihren Erfahrungen viele Fragen beantwortet hat. Mein Dank gilt aber vor allem meiner Freundin, Anita Schwarzer, die mir oft zuhören musste, wenn es wieder mal um das Thema dieser Arbeit ging und die sich trotzdem immer wieder die Zeit genommen hat, die einzelnen Kapitel dieser Arbeit zu lesen, sie kritisch zu hinterfragen und mit mir gemeinsam zu diskutieren. Zu guter Letzt möchte ich mich auch bei Herrn Ao. Univ.-Prof. MMag. Dr. Konrad Kleiner bedanken, durch dessen Betreuung ich dieses Thema so schreiben und realisieren durfte. Ohne euch und Sie alle würde diese Arbeit nicht das sein, was sie heute ist.

1 Einleitung

Sollte ein/e Herzchirurg/in wissen, wie das Herz funktioniert? Weiß ein/e Trainer/in, wie die Muskeln arbeiten und was sie leistungsfähiger macht? Kennt sich ein/e Ernährungsberater/in mit der Verdauung des Menschen aus bzw. weiß, wie sich gewisse Nahrungsbestandteile auf unseren Körper auswirken? Die Antwort auf jede dieser Fragen ist zu großer Wahrscheinlichkeit ‚Ja‘. Wüsste ein/e Herzchirurg/in nicht, wie das Herz funktioniert, wäre es nur sehr schwer möglich, die geeignete Therapie für das diagnostizierte Leiden zu finden. Würde einem/einer Trainer/in das Wissen über die menschlichen Muskeln fehlen, könnte er/sie das Training der Athletinnen und Athleten nur sehr ungenau planen bzw. wäre das leistungssteigernde Training höchst ineffizient. Wie sollte ein/e Ernährungsberater/in ohne das Wissen, was mit der aufgenommenen Nahrung im Körper geschieht, ein nachhaltiges Ernährungskonzept erstellen? All diese Fragen erscheinen sehr logisch, da die jeweilige Tätigkeit ohne teilweise interdisziplinäres Basiswissen nur unzureichend möglich ist, da klar zu sein scheint, dass ein Herzleiden meist durch eine Fehlfunktion des Herzens induziert, eine Leistungssteigerung über die Optimierung der beteiligten Muskulatur erzielt und eine individuelle Ernährung über die Verdauung der Bestandteile der Nahrung erreicht wird.

Stellen wir die Eingangsfrage erneut für Lehrerinnen und Lehrer. Sollte ein/e Lehrer/in wissen, wie das Gehirn funktioniert? Vor dem Hintergrund (Universität Wien, 2014, S.2), dass „Absolventinnen und Absolventen [...] in der Lage [sind], [...] fachliche Lernprozesse [zu] initiieren und [zu] steuern“ und nach Spitzer (2006) das „Organ des Lernens, [das] Gehirn“ (S. 19) ist, sollten wir auch diese Frage mit ‚Ja‘ beantworten. Den Curricula für das Lehramt der Universität Wien (2014 & 2015) ist jedoch zu entnehmen, dass eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Neurobiologie und Lehrerinnenbildung derzeit nicht Bestandteil der Ausbildung ist. Demzufolge bleibt es jedem/jeder Lehrer/in selbst überlassen, ob man sich das Wissen der Funktionsweise des Gehirns selbst aneignet oder nicht. Es darf also nicht vorausgesetzt werden, dass Lehrerinnen und Lehrer wissen, wie das menschliche Gehirn funktioniert. Warum sollte man jedoch nicht auch mit dieser Grundlage – wissen, wie Lernen im Gehirn funktioniert – an die Vermittlung von Kompetenz und Wissen herangehen? Wenn ein/e Trainer/in seine/ihre Athletinnen und Athleten besser auf ein sportliches Ereignis vorbereiten kann, indem er/sie die leistungsphysiologischen und anatomischen Grundlagen des Bewegungsapparates kennt (Weineck, 2010), warum sollte dies nicht auch bei Lehrerinnen und Lehrern in Bezug auf die Vermittlung von Wissen und Kompetenz möglich sein?

Aus den oben genannten Gründen soll es Aufgabe dieser Diplomarbeit unter dem Titel „Erkenntnisse der Neurobiologie für das (motorische) Lernen und den Lernalltag für Schülerinnen und Schüler unter besonderer Berücksichtigung von Bewegung und Sport“ sein, zunächst den aktuellen, neurobiologischen Forschungsstand zum Thema Lernen zu erheben, um anhand dessen feststellen zu können, ob und inwiefern eine solch interdisziplinäre Betrachtungsweise von Lernen für Lehrerinnen und Lehrer und damit für Schülerinnen und Schüler sinnvoll ist. Die besondere Berücksichtigung des Unterrichtsfachs „Bewegung und Sport“ soll hierbei zum einen als Beispiel dienen, einen praxisrelevanten Bezug der neurowissenschaftlichen Perspektive darzustellen, und zum anderen zeigen, welche Wichtigkeit und welch ungeahnt enormes Potential „Bewegung und Sport“ für die kognitive Leistungsfähigkeit von Schülerinnen und Schülern und damit für ihren Schulerfolg hat.

1.1 Fragestellungen der Arbeit

Wie in der Einleitung dargestellt, benötigen Expertinnen und Experten eines Fachbereiches ein gewisses, teilweise interdisziplinäres Grundlagenwissen, um die von ihnen geforderten Aufgaben ordnungsgemäß zu erfüllen. Hierbei stellt sich jedoch immer die Frage, wie detailliert dieses Grundlagenwissen sein muss, um praxisrelevant zu bleiben. Hieraus ergibt sich, dass nach der Erhebung des aktuellen Forschungsstandes der beteiligten Prozesse des Lernens und deren Darstellung ihrer Praxisrelevanz, folgende Frage beantwortet werden muss:

Welche neurobiologischen Erkenntnisse von (motorischem) Lernen lassen eine praxisorientierte Relevanz erkennen, um eine Verbesserung der initiierten Lernprozesse bei Schülerinnen und Schülern zu bewirken?

Auf diesem Wissen aufbauend, müssen die neurobiologischen Erkenntnisse mit den Inhalten der allgemeinen Didaktik verglichen und in den Kontext der sport- und bewegungsdidaktischen Betrachtung gestellt werden. Daran anschließend kann folgende Fragestellung der fachdidaktischen Konsequenz beantwortet werden:

Lassen sich solche neurowissenschaftlichen Erkenntnisse mit den allgemeinen Methoden der Didaktik vereinen oder schließen sie sich einander aus?

Unabhängig davon können neue Erkenntnisse der Wissenschaft immer nur dort einen Effekt erzielen, wo sie angewendet werden (können). Daher muss zwangsläufig auch die Frage nach der Konsequenz für Lehrerinnen und Lehrer gestellt werden. Um diesen Gedankengang

zu konkretisieren und einen praxisrelevanten Bezug herzustellen, wird diese Frage mit spezieller Betrachtung der Konsequenz für Sportlehrerinnen und –Lehrer gestellt und wie folgt formuliert:

Welche Konsequenz, aber vor allem welchen Mehrwert hat ein solches, interdisziplinäres Grundlagenwissen über Lernen für Sportlehrerinnen und –Lehrer?

Durch die besondere Berücksichtigung von „Bewegung und Sport“ in diesem Themenkomplex besteht die Möglichkeit, dieses Unterrichtsfach auch aus einem anderen Blickwinkel zu betrachten. Wie dazu durch die österreichischen Lehrpläne für „Bewegung und Sport“ deutlich wird, ist es, neben dem Erlernen und Verbessern fachspezifischer Fertigkeiten und Fähigkeiten, vor allem der sozial erzieherische und der gesundheitlich präventive Aspekt von Bewegung und Sport, der für Sportlehrerinnen und –Lehrer im Fokus stehen sollte (vgl. Bundeskanzleramt, 2016). Vor dem Hintergrund der hier präsentierten, neurobiologischen Erkenntnisse ist es jedoch möglich, Bewegung und Sport aus einer weiteren Perspektive zu betrachten, woraus sich folgende Frage ergibt:

Welchen Einfluss hat Bewegung auf das Lernen und den Lernalltag von Schülerinnen und Schülern?

Diese Diplomarbeit soll mit ihren zu beantwortenden Fragen eine Grundlage für (angehende) Sportlehrerinnen und –Lehrer darstellen und auf die Wichtigkeit der zugrundeliegenden Thematik verweisen.

1.2 Methode der Bearbeitung

Für die Bearbeitung der dieser Diplomarbeit zugrundeliegenden Thematik wird die hermeneutische Forschungsmethode herangezogen. Die Hermeneutik bedeutet nach Bortz und Döring (2003) aus dem Griechischen übersetzt „Auslegkunst“ und stellt „[...] die Lehre der Deutung und Interpretation von Texten [...]“ (S. 302) dar. Ursprünglich kam sie vor allem in der Juristik und Theologie zur Anwendung, in welchen sie als „[...] Methode zur Auslegung bedeutungshaltigem Material [...]“ (Hussy, Schreier & Echterhof, 2013, S. 249) genutzt wurde, um verbindliches Textmaterial auf Anweisungen zum Handeln hin zu interpretieren. Ziel der hermeneutischen Forschungsmethode ist es, ein entsprechendes und umfangreiches Verständnis der zu behandelnden Thematik zu gewinnen, um auch das individuell subjektive Verständnis zu korrigieren. Diese Zielsetzung wird vor allem durch die folgenden zwei hermeneutischen Zirkel erreicht: Der hermeneutische Zirkel I beschreibt dabei das Verstehen

aufgrund der sich ergänzenden Resultate von Vorverständnis der im Text behandelten Thematik und dem Verständnis des Textes. Das Verstehen des Textes basiert auf dem Vorverständnis, welches durch das Textverständnis wiederum erweitert wird und damit abermals dem besseren Verstehen des Textes zu Gute kommt. Aufgrund der sich ständig ergänzenden Resultate entsteht ein Zirkel. Auch der hermeneutische Zirkel II trägt zu einem besseren Verständnis bei. Er beschreibt den Prozess des Verstehens durch das Ineinandergreifen von Textpassagen und dem Text als Ganzes. Als Voraussetzung hierfür dient das Verständnis der Textpassagen, welches zu einem besseren Verstehen des gesamten Textes führt. Das verbesserte Gesamtverständnis des Textes wiederum führt zu einem besseren Verstehen der Textpassagen. Hieraus resultiert abermals eine Verbesserung des Verstehens des Textgesamten. (vgl. Hussy, Schreier, & Echterhoff, 2013, S. 249f) Folglich ergibt sich für die Hermeneutik ein Grundprinzip, das „hermeneutische Spirale“ oder auch „hermeneutischer Zirkel“ genannt wird und von Hussy et al. (2013) so formuliert ist: „Grundprinzip des hermeneutischen Verstehens ist die hermeneutische Spirale: Vorverständnis und Textverständnis, Verständnis von Textteilen und Textganzem greifen ineinander. In diesem Prozess wird das Textverständnis sukzessive vertieft.“ (S. 249) Die Subjektivität des Individuums, so die Autoren weiter, kann dabei durch das Heranziehen mehrerer Meinungen (unterschiedlicher Studien, verschiedene Autoren, ect.) überwunden werden.

Um die Wissenschaftlichkeit der Literatur, auf welcher diese Arbeit aufbaut, zu gewährleisten, wird nur auf Fachliteratur der Universitätsbibliothek Wien oder auf veröffentlichte Werke von Autorinnen und Autoren zurückgegriffen, die in der neurowissenschaftlichen Forschung mit Schwerpunkt Lernen und/oder Kognition tätig sind. Außerdem werden wissenschaftliche Artikel der Datenbanken SPOLIT und PUBMED verwendet. Ergänzt wird diese Suche nach wissenschaftlichen Artikeln durch die Suche in den Datenbanken der, laut Impact Factor 2016 zu den renommiertesten wissenschaftlichen Fachzeitschriften gehörenden, Journals, „Science“ und „Nature“ (InCites Journal Citation Reports, 2017, 09. September).

1.3 Gliederung der Arbeit

Diese Arbeit wird sich nach einem einleitenden Teil mit vier großen Themenblöcken befassen.

Zunächst werden in Kapitel 2 die rein biologischen Grundlagen des Lernens erarbeitet. Hierbei steht das menschliche Gehirn als Organ des Lernens im Mittelpunkt und soll sowohl

anatomisch, als auch funktionell vorgestellt werden. Ziel ist es, ein grundlegendes Verständnis vom Bau und der Funktionsweise des Gehirns zu vermitteln, damit es dem Leser möglich wird, alle hierauf aufbauenden Prozesse des Lernens nicht nur zu verstehen, sondern sich diese auch vorstellen zu können. Darüber hinaus bildet dieses Wissen die Grundlagen, um eine eigene, kritische Meinung bezüglich der Thematik entwickeln zu können.

Der zweite Themenblock, welcher in Kapitel 3 behandelt wird, betrifft das Lernen als Prozess und zentrale Funktion des Gehirns. Aufbauend auf den zuvor gelegten Grundlagen soll das Lernen aus neurowissenschaftlich interdisziplinärer Sicht erläutert werden. Hierbei sind die wichtigsten Fragen nach dem Wo..., Ab wann..., Wie... und Was gelernt wird zu beantworten. Außerdem werden die neuronale Entwicklung des Gehirns und die Lerngeschwindigkeit, bezogen auf den Gesamtprozess des Lernens, beleuchtet und erörtert. Dieses Kapitel stellt damit einen zentralen Teil der Arbeit dar. Ausgehend von dem Grundgedanken der Arbeit, dass aufgrund des detaillierteren Verstehens von Lernen eine bessere Intervention von Seiten der Lehrerinnen und Lehrer und damit eine bessere Unterstützung der Schülerinnen und Schüler möglich ist, werden in diesem Themenblock neben den wichtigsten allgemeinen Fragen vor allem die Grundprinzipien des Lernens, die sich aus den neurobiologischen Erkenntnissen generieren lassen, erläutert.

Kapitel 4, der dritte Themenkomplex, befasst sich mit der Erarbeitung der neurowissenschaftlichen Erkenntnisse bezüglich der den Lernprozess beeinflussenden Faktoren. Neben den bekanntesten Einflussfaktoren Aufmerksamkeit, Emotionen und Motivation wird zusätzlich auch der Einfluss von Bewegung und sportlicher Aktivität auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Schülerinnen und Schülern thematisiert. Auch dieses Kapitel soll vermehrt dem Erkenntnisgewinn dienen, um durch diese Basis den eigenen Aktionsradius als Lehrerin oder Lehrer zu erweitern. Durch die Darstellung von Bewegung als Einflussfaktor soll außerdem erläutert werden, welchen Einfluss das Unterrichtsfach „Bewegung und Sport“ neben den bereits bekannten, sozialen und kardiovaskulär präventiven Faktoren hat.

Kapitel 5 soll schließlich den praxisrelevanten Bezug der erarbeiteten, neurobiologischen Erkenntnisse des Lernens darstellen und bildet den abschließenden, vierten Themenkomplex dieser Arbeit. Durch den Vergleich allgemeiner Didaktischer Methoden mit den neurowissenschaftlichen Erkenntnissen des Lernens, soll der Wert eines Tieferen Verständnisses für den Lernprozess ermittelt werden. In weiterer Folge soll anhand des Unterrichtsfachs „Bewegung und Sport“ die Praxisrelevanz des Lernens aus neurowissenschaftlicher Perspektive dargestellt und mit Hilfe einiger Beispiele aus dem Unterricht veranschaulicht werden.

Abschließend soll die Arbeit unter Einbezug der eingangs gestellten Forschungsfragen zusammengefasst werden. Im anschließenden Ausblick wird ermittelt, welche Fragen sich aus dieser Arbeit ergeben haben und welche Möglichkeiten der thematischen Verfeinerung auf Grundlage dieser Arbeit denkbar sind.

2 Die Grundlage des Lernens

Bevor das Lernen als Prozess aus Sicht der Neurowissenschaften erläutert werden kann, ist es wichtig, bedeutende Strukturen im Gehirn aufzuklären, diese zu beschreiben und deren Funktion zu klären. Hierbei muss zunächst die zelluläre Basis des Gehirns geklärt werden. Auf Grundlage dessen werden die dem Lernen zugrundeliegenden Eigenschaften der Informationsaufnahme, -Weiterleitung und -Verarbeitung erläutert. Anschließend kann dargestellt werden, in welcher Form das Gehirn gelernte Inhalte ablegt, woraus sich eine einzigartige Eigenschaft ergibt, die Gedächtnis genannt wird. Durch die Erläuterung dieser Eigenschaft wird das Kapitel abgeschlossen. Dieses Kapitel stellt demzufolge das Grundlagenwissen dieser Arbeit dar, wodurch die Teilprozesse des Lernens besser nachzuvollziehen sind und gleichzeitig ein besseres Gesamtverständnis von Lernen erzielt wird.

2.1 Die Gehirnzellen

Wie bereits einleitend erwähnt, repräsentiert das menschliche Gehirn das Organ, welches für die Lernvorgänge im menschlichen Körper zuständig ist. (Spitzer, 2006) Dieses Organ besteht aus zwei Zelltypen, den Gliazellen und den Nervenzellen. (Pritzel, Brand, & Markowitsch, 2003)

2.1.1 Die Gliazellen

Ursprünglich ging man davon aus, dass die Gliazellen das Bindegewebe des Gehirns darstellen. Aus diesem Grund wurde diesen Zellen 1846 der Name „Gliazellen“ durch Rudolf Virchow (1821-1902) verliehen, da „Glia“ aus dem Griechischen abgeleitet „Leim“ bedeutet (vgl. Pritzel et al., 2003, S. 33). Nach diesen Autoren, aber auch Korte (2009), geht man jedoch heute davon aus, dass die Gliazellen, neben ihrer Aufgabe als Stützgewebe, vor allem für die Zellernährung, das Ausfüllen von frei gewordenen Räumen nach Verletzungen und das Beseitigen von Zelltrümmern verantwortlich sind. Des Weiteren ist dieser Zelltyp ein struktureller Teil der Blut-Hirn-Schranke und beteiligt sich an der Entwicklung des Nervensystems, sowie an der Reizweiterleitung am Axon, wie später genauer erläutert wird. Auch im Bereich der Synapsen erfüllen die Gliazellen wichtige Aufgaben. Dies wird auch durch Araque und Navarrete (2010) bestätigt, welche feststellen, dass Gliazellen, genauer gesagt die Astrocyten, ein integraler und aktiver Bestandteil synaptischer Verbindungen sind, die die Ausschüttung verschiedener Neurotransmitter (chemische Botenstoffe wie beispielsweise Glutamat oder ATP) stimuliert und so die synaptische Informationsübertragung mitreguliert. Eine weitere und wichtige Aufgabe der Gliazellen besteht darin, nur geringfügig

aktive bzw. inaktive Synapsen durch Phagozytose abzubauen. (Terni, Lórpez-Morcía & Llobet, 2016)

2.1.2 Die Nervenzellen

Neurone (Nervenzellen) stellen den zweiten Zelltyp im Gehirn dar. Diesem Zelltyp gilt schon seit vielen Jahren das Hauptaugenmerk wissenschaftlichen Interesses, nachdem Ramon y Cajal (1852-1934) die Neuronendoktrin formulierte. In diesem Funktionsprinzip beschreibt er die Neurone bereits als „strukturelle Korrelate unseres Verhaltens“ (Pritzel et al., 2003, S. 5), die, als Elemente der Signalübermittlung dienend, unser Nervensystem darstellen (Pritzel et al., 2003). Autoren wie Spitzer (2006) oder auch Gekle et al. (2010) präzisieren diese Aussage nochmals, indem sie die Neurone mit denen für sie charakteristischen Eigenschaften der Aufnahme, Verarbeitung, Speicherung und Weiterleitung von Informationen beschreiben. Um die Eigenschaften und deren daraus resultierende Funktion für das Lernen nachzuvollziehen, ist es wichtig, den Aufbau eines Neurons zu kennen, welcher im Folgenden kurz erläutert wird.

Eine Nervenzelle lässt sich in vier bedeutende Abschnitte unterteilen (vgl. Abb. 1): (1) Die Dendriten. Durch sie findet die Aufnahme von Reizen und Informationen statt. Ihre große Anzahl an Verzweigungen bewirkt eine vielfache Vergrößerung der informationsaufnehmenden Oberfläche der Nervenzelle. Sie können ein Leben lang ausgebildet, abgebaut oder durch die Ausbildung sogenannter Spines (Dornen) verändert werden und sich so neuen Bedingungen anpassen und das Lernen beeinflussen (siehe Kapitel 2.3.2). (2) Das Perikaryon (Zellkörper) repräsentiert das metabolische Zentrum und den Apparat der Reizaufnahme einer Nervenzelle zugleich. Er enthält den Nucleus (Zellkern) und die Zellorganellen des Neurons, welche den Stoffwechsel und die Proteinsynthese, und somit die Versorgung der Nervenzelle sicherstellen. (3) Vom Soma zweigt sich auch der leitfähige Teil des Neurons ab, das Axon, oder auch als Neurit bezeichnet. Dieses ist für die Weiterleitung der von Dendriten und Soma aufgenommenen Signale an andere Nervenzellen oder Effektorzellen, wie beispielsweise Muskel- oder Drüsenzellen, zuständig. (4) Ein weiterer, bedeutender morphologischer Teil des Neurons ist die Synapse. Sie stellt den Kontakt zwischen zwei Nervenzellen bzw. zwischen Nervenzelle und Effektorzelle dar und dient so der Übertragung der Signale von einer Zelle auf die andere. (siehe Kapitel 2.2) (Pritzel et al., 2003, S. 39)

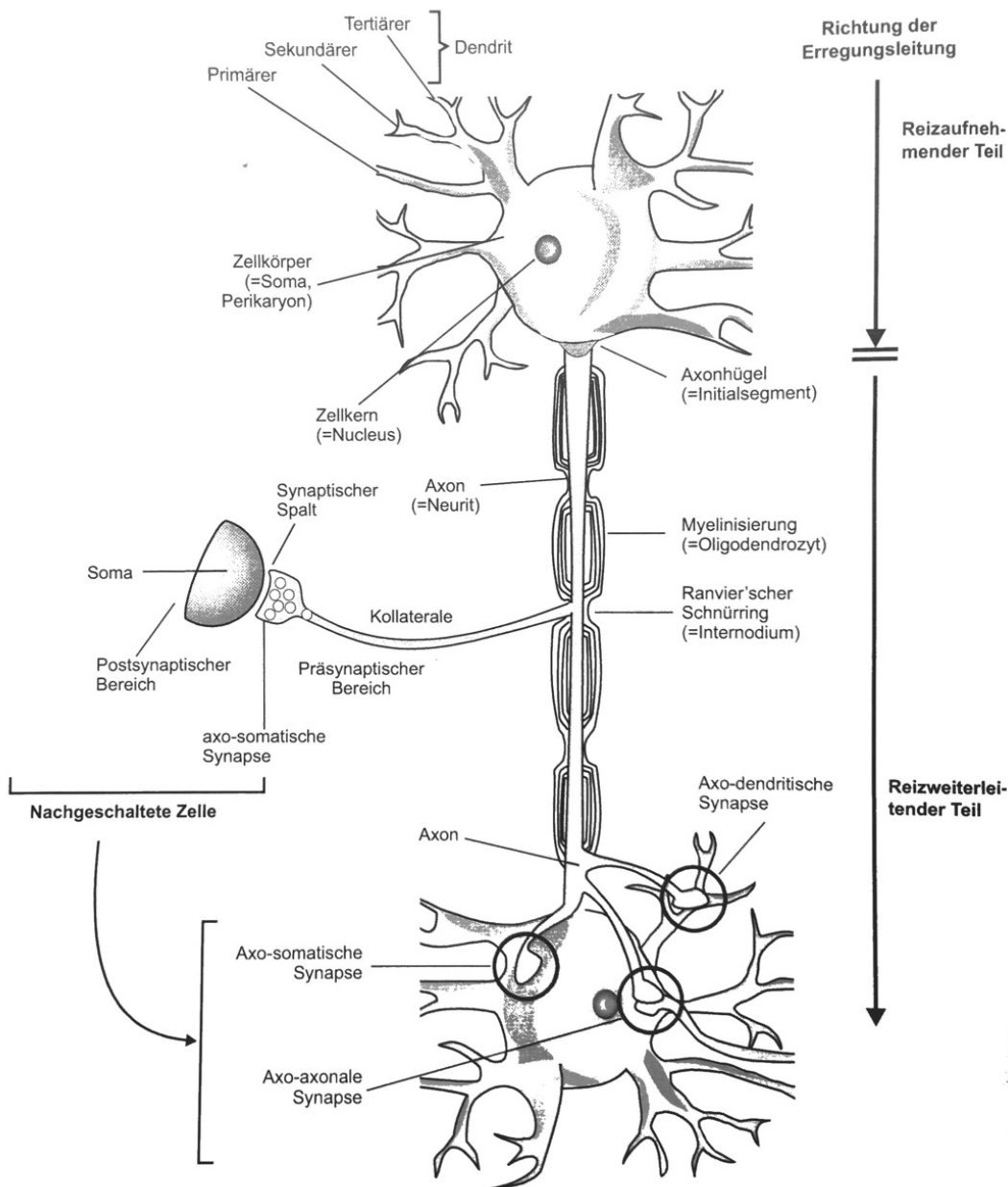


Abb. 1: Ein idealisiertes Neuron (Pritzel et al., 2003, S. 38)

Neurone werden aufgrund ihrer Funktion in verschiedene Typen eingeteilt. Nervenzellen, welche die Information über weite Strecken transportieren und daher ein großes Perikaryon und langes Axon besitzen, werden Projektionsneurone genannt. Sie übertragen Informationen zwischen Effektorzellen und Rückenmark oder Gehirn, zwischen Rückenmark und Gehirn oder zwischen verschiedenen Gehirnarealen. Müssen Informationen nur über kurze Wege vermittelt werden, besitzen sie aufgrund dessen ein kleines Perikaryon und kurzes Axon. Da sie in der gleichen Region bleiben, werden sie Interneurone genannt. (vgl. Lüllmann-Rauch & Asan, 2015, S. 192) Die Projektionsneurone unterscheidet man noch-

mals in Motoneurone und sensorische Neurone. Motoneurone übermitteln Signale bzw. Informationen vom zentralen Nervensystem (ZNS) an die Muskeln oder Drüsen und werden auch als efferente Nervenzellen bezeichnet. Sensorische Neurone vermitteln die von den Sinneszellen aufgenommenen Signale an das ZNS und werden demzufolge auch als afferente Nervenzellen deklariert. (Pritzel et al., 2003)

2.2 Informationsaufnahme und Übertragung an das Gehirn

Der Mensch nimmt seine Umwelt über seine Sinnesorgane wahr. Hierbei werden physikalische und chemische Reize, wie Druck, Temperatur, Schall, Geschmack und Geruch über Haut, Ohren, Augen, Mund und Nase aufgenommen. (Gekle et al., 2010) Jeder aufgenommene sowohl physikalische, als auch chemische Reiz stellt eine Information aus der Umgebung dar, welche zur Weiterleitung an das Gehirn von den Sinneszellen in elektrische Impulse umgewandelt wird. Diese elektrischen Impulse werden als Aktionspotentiale bezeichnet. Ein Aktionspotential ist nach Campbell und Reece (2006) „der eigentliche Nervenimpuls“ und ist ein „Alles-oder-Nichts-Ereignis“ (S. 1233). Das bedeutet laut der Autoren, dass der auszulösende Reiz einen gewissen Schwellenwert erreichen muss, um das Aktionspotential zu initiieren, die Größe des Reizes jedoch keinen Einfluss auf die Stärke des elektrischen Impulses hat. Demzufolge ist ein Aktionspotential entweder vorhanden, oder nicht. Nehmen wir beispielsweise den Schmerzreiz. Der Schmerz stellt eine eigene Sinnesmodalität dar. Daher besitzt er auch eigene Sinneszellen mit speziellen Rezeptoren (Nozizeptoren), welche für die Aufnahme der Reize zuständig sind. Eine bestimmte Art dieser Nozizeptoren, „Typ II der A δ Mechanonozizeptoren“ vermitteln schmerzhaft hohe Temperaturen oberhalb von ca. 52°C. (vgl. Gekle et al., 2010, S. 641) Das bedeutet, dass der Schwellenwert dieser Rezeptoren bei einer Temperatur von 52°C liegt, ein Aktionspotential und somit die Information „Schmerz“ von diesen Rezeptoren erst ab einer Temperatur über 52°C ausgelöst wird. Temperaturen unterhalb dieser Marke werden von diesen Sinneszellen also nicht als „Schmerz“ weitergeleitet, da kein Aktionspotential ausgelöst wird. Ist der Schwellenwert erreicht und ein Aktionspotential ausgelöst, wird es entlang des Axons zur nächsten Nervenzelle geleitet. Die Übertragung des Aktionspotentials, und somit der wahrgenommenen bzw. aufgenommenen Information aus der Umgebung, auf das nachgeschaltete Neuron erfolgt über die Synapsen. Diese wandeln den elektrischen Impuls in chemische Botenstoffe (Neurotransmitter) um, welche von dem nachgeschalteten Neuron aufgenommen werden. Aufgrund des chemischen Reizes, der durch die Neurotransmitter vermittelt wird, werden in

dem nachgeschalteten Neuron wiederum elektrische Impulse ausgelöst, wodurch die Information weitergeleitet werden kann und so bis zu dem Teil des Gehirns gelangt, in welchem die Information verarbeitet wird. (Gekle et al., 2010)

2.3 Informationsverarbeitung im Gehirn

Alle Sinnesorgane leiten ihre aufgenommenen Informationen über Nervenfasern, in Form von Aktionspotentialen, an das Gehirn. Die zusammengenommen rund 2,5 Millionen Nervenfasern, wovon jede einzelne bis zu 300 Aktionspotentiale pro Sekunde weiterleiten kann, senden zusammengenommen einen Datentransfer von ca. 100 Megabyte pro Sekunde an das Gehirn. (vgl. Spitzer, 2006, S. 53) Um in dieser Informationsflut neue von konstanten Stimuli und relevantes von weniger relevantem unterscheiden zu können, bedient sich das Gehirn verschiedener Filter. Prinzipiell werden dabei zwei Wege unterschieden: Die erste Filterung erfolgt bereits in den Sinnesorganen. Diese filtern von allen aufgenommenen Reizen nur bestimmte Informationen des Wahrnehmbaren heraus, was hilft, die Aufmerksamkeit auf das vermeintlich Wesentliche zu richten (selektive Aufmerksamkeit – vergl. dazu Kapitel 4.1). Es werden somit bereits selektierte Informationen aus allen Sinnesorganen an das Gehirn weitergegeben. Das zweite Prinzip von Informationsselektion erfolgt durch die hierarchische Unterteilung der Gehirnnareale. Dabei geben hierarchisch höher positionierte Gehirnnareale vor, welche der eingehenden Reize überhaupt weitergeleitet werden.

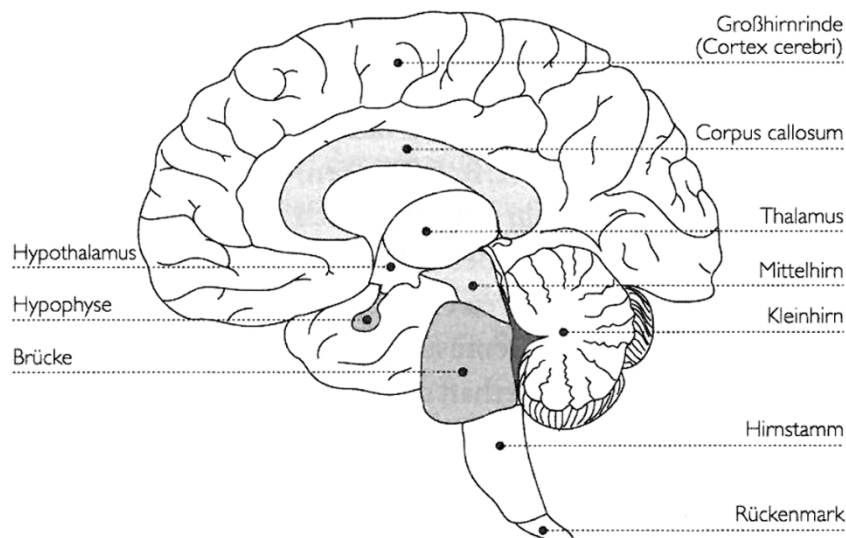


Abb. 2: Das menschliche Gehirn (Korte, 2009, S. 64)

Hierfür gelangen die von den Sinnesorganen kommenden Informationen über den Hirnstamm zur ersten großen Filterstation des Gehirns, dem Thalamus. Dieser leitet die Informationen anschließend an die entsprechenden Großhirnareale weiter. Bewegungen zum Beispiel, werden in der Großhirnrinde, dem Kortex, grob geplant, veranlasst und vom Kleinhirn (Cerebellum) mit Hilfe von Vorerfahrungen moduliert und folglich konkret geplant. Das Cerebellum leitet die Informationen dann über den Pons (Brücke) und das Rückenmark weiter (Abb. 2), bis diese als Signale die Muskeln erreichen, welche die Bewegung letztendlich ausführen. Die Hypophyse und der Hypothalamus sind für die Steuerung des Hormonhaushaltes des Körpers verantwortlich. Der Hirnstamm regelt die grundlegenden Lebensfunktionen, wie den Schlaf-Wach-Rhythmus, die Atmung und den Herzschlag, sowie die allgemeine Aufmerksamkeit, auch als Vigilanz bezeichnet. (vgl. Korte, 2009, S. 64) Der Kortex wird räumlich in vier große Bereiche gegliedert (Abb. 3): In dem Lobus occipitalis, dem Hinterhauptlappen, werden zu großen Teilen die Sehinformationen verarbeitet. Im Lobus parietalis (Scheitellappen) sind das räumliche Vorstellungsvermögen und die Berührungen

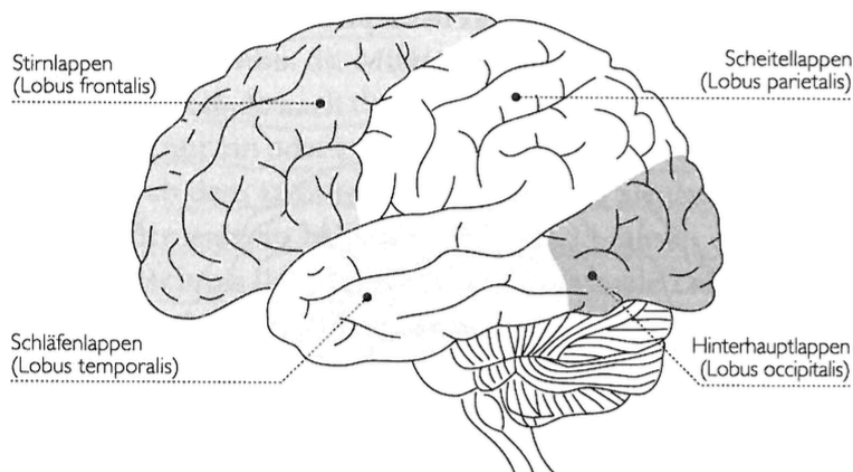


Abb. 3: Die räumliche Gliederung der Großhirnrinde (Korte, 2009, S. 65)

der Haut repräsentiert. Die Verarbeitung von Lauten, die mentale Objekterkennung, sowie Teile des Sprachverständnisses finden im Lobus temporalis, dem Schläfenlappen, statt. Der größte Bereich der menschlichen Großhirnrinde ist der Lobus frontalis, oder Stirnlappen genannt. Er ist vorrangig für die Steuerung von Bewegungen, Handlungen, Denken und Planen zuständig. (vgl. Korte, 2009, S. 65) Laut Beer und Schwarz (2012) ist der Frontallappen außerdem für die exekutiven Funktionen des Gehirns, genauer gesagt die Problemlösekompetenz, die kognitive Flexibilität und das zielgerichtete Denken verantwortlich und stellt somit eine enorme Wichtigkeit für Lern- und Gedächtnisprozesse dar.

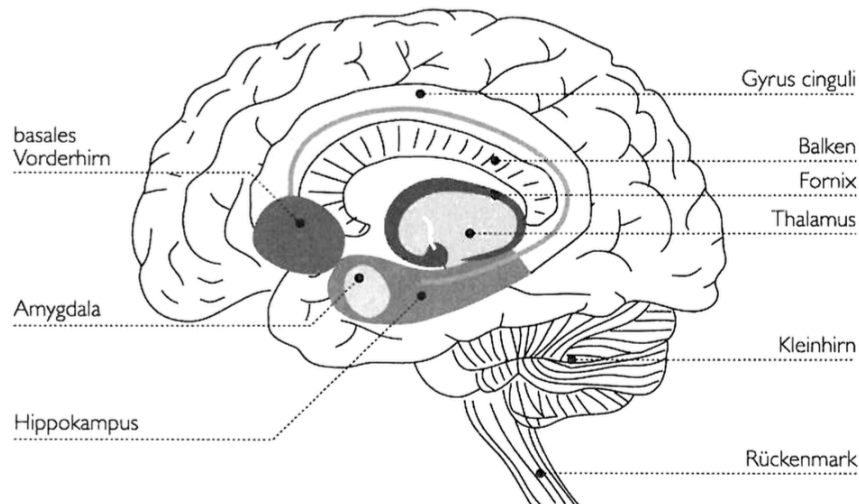


Abb. 4: Das limbische System (Korte, 2009, S. 66)

Des Weiteren sind im Lobus frontalis das Arbeitsgedächtnis, welches später noch genauer betrachtet wird, das Sozialverhalten, die Hemmung reflexartigen Verhaltens und die Empathie repräsentiert. (Spitzer, 2006) Ein weiterer struktureller Bereich des Gehirns, der für das Lernen sehr wichtig ist, ist das limbische System (Abb. 4). Es stellt eine ringförmige Ansammlung von Strukturen im Gehirn dar, die den Thalamus und den Balken (Corpus callosum – ein funktioneller Bereich im Gehirn, der den Informationsaustausch zwischen den Gehirnhälften (Hemisphären) sicherstellt) umschließen. (vgl. Korte, 2009, S. 66) Es gliedert sich in die Gyrus cinguli, Teile des Hypothalamus, die Amygdala und den Hippokampus und ist für die Steuerung des emotionalen Verhaltens beim Menschen zuständig. Das limbische System bildet damit „die Instanz, die relevante Informationen aussortiert, mit Emotionen versieht und bündelt, bevor diese in weit verteilten Gebieten der Hirnrinde zur Ablage kommen.“ (Korte, 2009, S. 68) Es sind jedoch nicht nur die übergeordneten Aufgaben des limbischen Systems, die es für das Lernen so wichtig machen, sondern auch seine einzelnen Teile, welche mit ihren speziellen Funktionen essentiell für viele Lernprozesse sind. Der Hippokampus beispielsweise, ist für das Lernen einzelner Ereignisse, also von Fakten, Vokabeln oder Orten, unbedingt notwendig. In ihm werden neu gelernte Inhalte repräsentiert. (Spitzer, 2006) Er ist in der Lage, solche eben genannten einzelnen, neuen Ereignisse sehr schnell abzuspeichern und diese während der Ruhephasen, vor allem beim Schlafen, an die langsamer lernenden Gehirnareale weiterzugeben. (Schapiro, Turk-Browne, Botvinick, & Norman, 2017) Dass dieser Teil des Gehirns eine sehr große Bedeutung für das Lernen hat, wird auch durch eines der bekanntesten medizinischen Fallbeispiele der Neurowissenschaften klar, welches bereits 1957 publiziert wurde. Dem zu diesem Zeitpunkt 27-jährigen Patienten H. M. musste aufgrund einer anderweitig nicht behandelbaren Epilepsie beidseitig

der Hippokampus, sowie angrenzende Teile des Gehirns entfernt werden. Nach dem operativen Eingriff schien H. M. zunächst völlig normal. Weder eine Persönlichkeitsveränderung, noch ein Defizit beim Erlernen neuer Fertigkeiten war zu beobachten. Auch bereits vor dem Eingriff erlernte Fertigkeiten, sowie Erinnerungen waren erhalten geblieben. Der Patient war jedoch nicht in der Lage, neue Ereignisse zu lernen. So mussten sich Personen, welchen er nach seiner Operation begegnete, immer wieder neu vorstellen. Auch neue Orte oder andere Einzelereignisse konnte sich H. M. nicht mehr merken. (Scoville & Milner, 1957) Ein weiterer, für das Lernen wichtiger Teil des limbischen Systems ist der Gyrus cinguli. In ihm werden Informationen emotional bewertet. Außerdem spielt er eine große Rolle bei der Aufrechterhaltung der Aufmerksamkeit über einen längeren Zeitraum und bei der Gefühlswahrnehmung. Bildgebende Verfahren haben gezeigt, dass die Aktivität des Gyrus cinguli mit dem Schwierigkeitsgrad der zu lösenden Aufgabe steigt. (Korte, 2009) Die an den Gyrus cinguli grenzende Amygdala dient im Wesentlichen der Einspeicherung emotional gefärbter Informationen. (Pritzel et al., 2003)

2.3.1 Neuronale Netzwerke

Es wurde bereits erläutert, dass wir Informationen aus der Umgebung in Form von Reizen aufnehmen, diese zu elektrischen Impulsen umwandeln und sie anschließend über verschiedene Wege bis in die Gehirnareale transportieren, in welchen sie verarbeitet werden. Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn bedeutet nach Spitzer (2006), dass neuronale Netze aktiviert oder gehemmt werden. Neurone sind somit die Elemente der Informationsverarbeitung unseres Gehirns, deren Funktion darin besteht, einen Input zu bekommen und dadurch aktiviert zu werden oder nicht. Macht der Mensch also eine Erfahrung und nimmt die Reize dieser Erfahrung über seine Sinnesorgane auf und leitet sie an das Gehirn weiter, dann wird, vereinfacht gesagt, ein Neuron aktiviert. Dieses Neuron verarbeitet den Reiz und gibt wiederum eine Antwort. Entscheidend ist – macht der Mensch die gleiche Erfahrung ein weiteres Mal, wird wiederum genau dieses Neuron aktiviert. Damit repräsentiert dieses Neuron diese Erfahrung. In der Literatur wird aufgrund dessen, dass ein bestimmtes Neuron durch einen bestimmten Input aktiviert wird, von „neuronaler Repräsentation“ gesprochen (vgl. Spitzer, 2006, S. 28). Das Übertragen eines Nervenimpulses - einer Information - von einer Nervenzelle auf eine andere geschieht an einer Synapse. Je stärker diese ausgebildet ist, desto stärker ist der Effekt auf das nachgeschaltete Neuron. Der gleiche Nervenimpuls

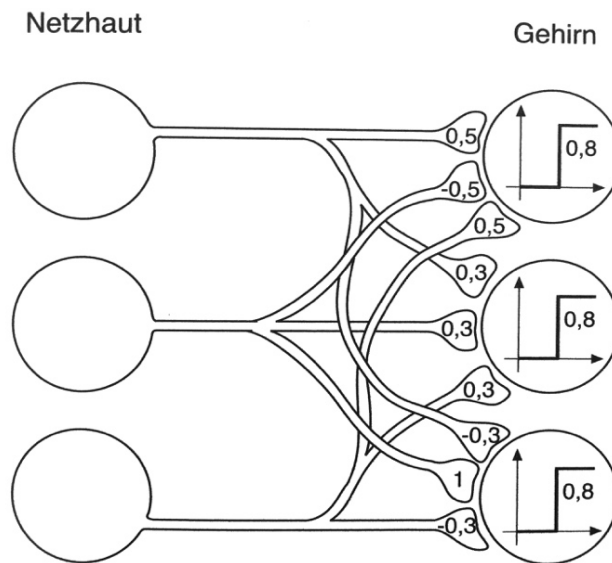


Abb. 5: Neuronales Netzwerk mit Synapsenstärken und Schwellenwerten (Spitzer, 2006, S. 57)

kann folglich durch unterschiedlich stark ausgebildete Synapsen unterschiedlich starke Effekte auf das nächste Neuron haben. (Spitzer, 2006)

Um die Informationsverarbeitung eines Netzwerks von Neuronen leichter zu verstehen, sei folgendes Beispiel betrachtet (vgl. Abb. 5): Drei Neuronen der Inputschicht, welche somit die aufgenommene Information repräsentieren, sind über Synapsen jeweils mit allen drei Neuronen der Outputschicht, welche die Reaktion auf den Input generieren, verbunden. Der eingehende Nervenimpuls wird durch einen Zahlenwert (0 oder 1) ausgedrückt. Die Stärke der synaptischen Verbindung bekommt ebenfalls einen Wert, jedoch zwischen -1 und 1, zugeschrieben. Kommt nun ein Impuls über die Inputschicht zu einer Synapse, so werden der Wert des Impulses und der der Synapsenstärke miteinander multipliziert. Das Produkt dieser Werte stellt das sogenannte „Synapsengewicht“ dar. (vgl. Spitzer, 2006, S. 55) Betrachtet man die Neuronen auf diese Weise, so Spitzer (2006), kann man mathematisch veranschaulichen, wie Netzwerke von Neuronen mit einem eintreffenden Impuls umgehen. Nehmen wir folgende drei Szenarien an: Eine Maus sitzt vor ihrem Mauseloch und ruht. (A) Plötzlich sieht sie eine Katze. Die Verhaltensreaktion der Maus auf die Katze wird es sein, vor dieser wegzulaufen. (B) Plötzlich sieht sie ein Stück Käse. In diesem Fall wird die Maus sich zu dem Käse hinbewegen, um diesen zu essen. (C) Es passiert nichts um sie herum und sie aktiviert ihre Verdauung. In allen drei Szenarien wird ein anderer visueller Input beschrieben, auf welchen die Maus mit unterschiedlichem Output reagiert. Betrachten wir das Beispiel nun, wie eingangs beschrieben, mathematisch. Der vom Auge aufgenommene visuelle

Input kommt mit folgenden Inputmustern im Gehirn an: Szenario (A) 1, 0, 1 (Aktivität der Netzhautneuronen von oben nach unten, siehe Abb. 5) – Szenario (B) 0, 1, 0 – Szenario (C) 1, 1, 1. Die Outputneuronen sind durch Synapsen mit jedem Neuron der Inputschicht verbunden und besitzen alle die gleiche Aktivierungsschwelle von 0,8. Wird dieser Schwellenwert überschritten, feuert das nachstehende Neuron, ist also aktiv. Wird der Schwellenwert jedoch nicht erreicht, verharrt das nachgeschaltete Neuron in Ruhe, bleibt somit inaktiv. („Alles-oder-nichts-Ereignis“ - siehe Kapitel 2.2) Aufgrund dieser Inputmuster kann man nun das Synapsengewicht berechnen. In Szenario (A) erhält das obere Inputneuron (Netzhaut) den Input 1. Dies ist mit dem oberen Outputneuron (Gehirn) durch eine Synapse mit der Stärke 0,5 verbunden. Das Synapsengewicht beträgt somit $1 \cdot 0,5 = 0,5$. Das mittlere Inputneuron (Input 0) ist durch eine Synapse von der Stärke -0,5 mit dem oberen Outputneuron verbunden. Hieraus ergibt sich ein Synapsengewicht von $0 \cdot (-0,5) = 0$. Das untere Inputneuron, welches wiederum den Input von 1 bekommen, ist mit dem oberen Outputneuron durch eine Synapse mit der Stärke 0,5 verbunden. Ihr Synapsengewicht beträgt demzufolge $1 \cdot 0,5 = 0,5$. Addiert man nun den Input für das obere Outputneuron, so ergibt sich ein gewichteter Input von 1. Da dieser über der Schwelle von 0,8 liegt, wird das obere Outputneuron aktiviert. Errechnet man nach diesem Prinzip die Inputs für das mittlere und untere Outputneuron, so ergeben sich die Inputs $1 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,3 = 0,6$ (mittleres Neuron) und $1 \cdot (-0,3) + 0 \cdot 1 + 1 \cdot (-0,3) = -0,6$ (unteres Neuron). Diese beiden Nervenzellen werden also nicht aktiviert. Das Outputmuster für (A) beträgt somit 1, 0, 0. Sieht die Maus also eine Katze, welche als visueller Input im Gehirn der Maus als Muster 1, 0, 1 ankommt, wird aufgrund der Verbindungsstärken zur Outputschicht nur das obere Neuron aktiviert, welches die Verhaltensreaktion „weglaufen“ in der Maus auslöst. Mit Hilfe dieser mathematischen Methode ergeben sich für das Szenario (B), Input 0, 1, 0 - der Käse, das Outputmuster 0, 0, 1 (Reaktion „hinlaufen“) und für das Szenario (C), Input 1, 1, 1 - keine visuelle Veränderung der Situation, der Output 0, 1, 0 (Aktivieren der Verdauung). (vgl. Spitzer, 2006, S. 55-57) Neuronale Netzwerke arbeiten also mit Hilfe von Inputmustern, welche aufgrund der verschiedenen Verbindungsstärken unterschiedliche Outputmuster generieren. Der entscheidende Vorteil dieser Methodik ist, dass die Outputneuronen gleichzeitig arbeiten und die Mustererkennung hierdurch in einem einzigen Arbeitsschritt durchgeführt werden kann. Ist das Inputmuster komplexer, besteht also aus mehr als drei neuronalen Informationen, bleibt die Verarbeitungsgeschwindigkeit trotzdem unverändert hoch. (Spitzer, 2006)

2.3.2 Wozu dienen Synapsen?

Im letzten Abschnitt wurde bereits darauf eingegangen, wie neuronale Netzwerke im Gehirn arbeiten und wie eine Aufgenommene Information in Form eines Inputmusters aufgrund von verschiedenen synaptischen Verbindungsstärken einen Output, also eine Reaktion auf einen Reiz, erzeugt. Die entscheidende Frage ist jedoch, warum gerade Synapsen die Verbindungen zwischen Neuronen darstellen. Wäre es nicht wesentlich energiesparender und schneller, kurzum effizienter, wenn ein Neuron beispielsweise über sein Axon mit einem nachgeschalteten Neuron verbunden wäre? Und warum werden die Signale über komplizierte Mechanismen von einem elektrischen Impuls in einen chemischen umgewandelt, um diesen anschließend wieder in einen elektrischen Impuls umzuwandeln (Pritzel et al., 2003)? Eine Antwort auf diese Fragen soll der folgende Abschnitt geben.

Endscheidend hierfür ist die „Tatsache, dass nach der Geburt kaum neue Neuronen gebildet werden“ (Pritzel et al., 2003, S. 92) Was also ändert sich in unserem Gehirn, wenn wir beispielsweise neue Erfahrungen machen, die unser Verhalten ändert, einen neuen Menschen treffen, dessen Namen wir nachher wissen und den wir vielleicht lieb gewonnen haben, eine neue Fertigkeit erwerben, die wir vorher nicht konnten oder uns etwas merken, was wir vorher noch nicht wussten – anders gefragt, was ändert sich in unserem Gehirn, wenn nicht die Anzahl an Nervenzellen, wenn wir lernen? Etliche Autoren (Yuste & Bonhoeffer, 2001, Alvarez & Sabatini, 2007, Hofer, Mrsic-Flogel, Bonhoeffer, & Hübener, 2009, Rogerson et al., 2014, D'Angelo et al., 2016 und viele mehr) konnten zeigen, dass es die Verbindungen zwischen den Neuronen - die Synapsen - sind, welche sich aufgrund von Lernprozessen ändern. Nachdem die Medizin neue bildgebende Verfahren entwickelt hatte, ist es heute sogar

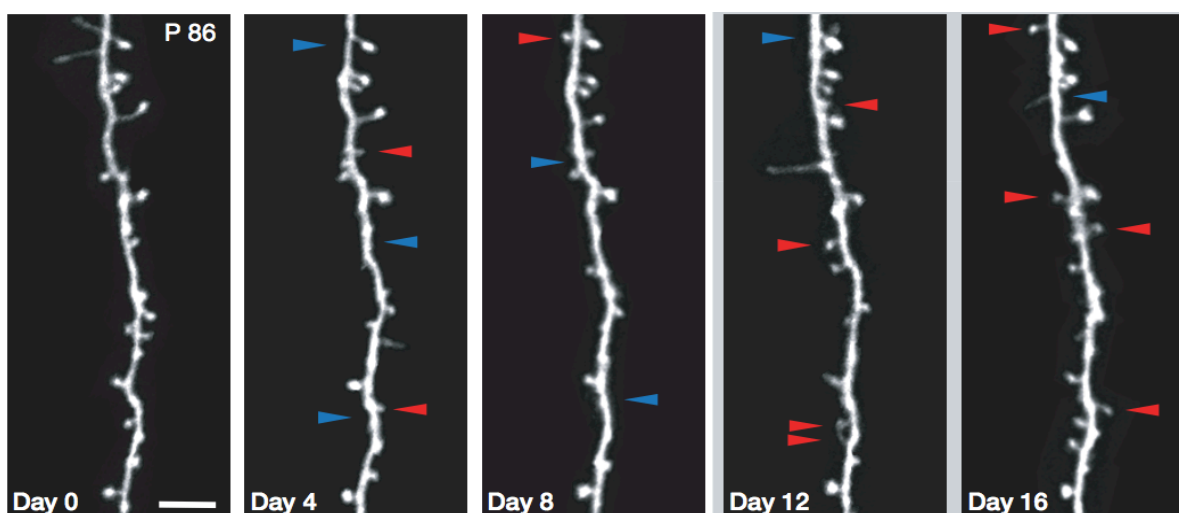


Abb. 6: Lerninduzierter Anstieg der Synapsendichte an einem Neuron (Hofer et al., 2009, S. 314)

möglich, diese strukturellen Änderungen der Synapsen direkt zu beobachten (Spitzer, 2006). So konnten Hofer et al. (2009) experimentell veranschaulichen, dass neue Synapsen, aufgrund von Lernprozessen, an Nervenzellen gebildet werden, jedoch auch nicht mehr brauchbare Verbindungen verschwinden, folglich abgebaut werden. Hierzu wurden einem Versuchstier in dem Gehirnnareal ein Neuron mit fluoreszierendem Farbstoff markiert, in welchem aufgrund einer Lernintervention der Lernprozess stattfinden sollte. Anschließend wurde mit Hilfe einer keinen Glasplatte die Wunde geschlossen, wodurch ein Fenster im Kopf des Versuchstiers entstand. Durch dieses Fenster konnte man die Nervenzelle während der gesamten Versuchsdauer beobachten. Abb. 6 zeigt die markierte Nervenzelle, aufgenommen im Abstand von vier Tagen. Anschließend wurden die strukturellen Veränderungen in Form von neuen Synapsen mit rote Pfeilen, die abgebauten Synapsen mit blaue Pfeilen markiert. In den ersten acht Tagen des Experiments fanden keine Versuche statt. Es wurden lediglich drei Aufnahmen der Nervenzelle gemacht (vgl. Abb. 6: „Day 0“, „Day 4“ und „Day 8“). Bemerkenswert ist, dass selbst ohne aktive Intervention Synapsen an der Nervenzelle angebaut und abgebaut werden, somit strukturelle Veränderung selbst ohne aktiv initiierten Lernprozess stattfindet. Ab Tag neun wurde das Tier aktiv dazu gebracht, lernen zu müssen. Wie die weiteren Aufnahmen zeigen (vgl. Abb. 6: „Day 12“ und „Day 16“) entstanden aufgrund der aktiven Lernintervention mehr Synapsen. Aktives Lernen bedeutet demnach - auf struktureller, neuronaler Ebene - das vermehrte Entstehen neuer neuronaler Verbindungen (Synapsen). Wie in Kapitel 2.1.2 bereits dargestellt wurde, sind Synapsen die Verbindungen zwischen zwei Neuronen. Demnach ist davon auszugehen, dass das Entstehen einer neuen Synapse gleichzeitig die Vernetzung einer Nervenzelle mit einer anderen zur Folge hat. Durch diese strukturellen Veränderungen an Neuronen, welche durch Lernprozesse initiiert werden, entstehen somit die neuronalen Netzwerke. Von einer weiteren interessanten Eigenschaft der Synapsen berichten unter anderem die Autoren Bourne und Harris (2011), die veranschaulichen, dass nicht nur die Dichte der synaptischen Verbindungen an einem Neuron während eines Lernprozesses zunimmt, sondern auch ihre Größe. Auch Bailey, Kandel und Harris (2015) publizierten hierzu elektronenmikroskopische Aufnahmen (Abb. 7), welche zeigen, dass die Größe einer Synapse und damit ihre aktiven Flächen, der präsynaptischen und postsynaptischen Membran, zunehmen, wenn diese über einen längeren Zeitraum aktiv ist, bzw. regelmäßig aktiviert wird. Die obere Aufnahme in Abbildung 7 zeigt hierzu sehr deutlich die aktive Synapse. Sie besteht aus der Membran des Axons (im Bild grün gefärbt), der präsynaptischen Membran und einem Teil der Membran

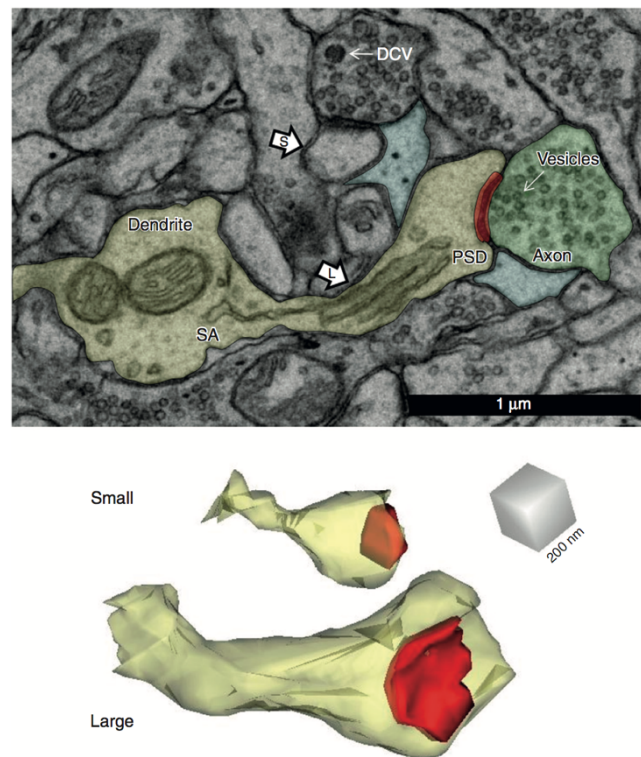


Abb. 7: Kleine und große Synapsen
(Bailey et al., 2015, S. 13)

des Dendriten (gelb markiert), der postsynaptischen Membran (PSD), welche in der Abbildung rot angefärbt ist. Dieser Teil der Synapse, der Dendrit mit seiner postsynaptischen Membran nimmt aufgrund anhaltender oder immer wiederkehrender Stimulation an Fläche zu. Die Verbindung zwischen dem Teil der einen Nervenzelle (grün) und der anderen Nervenzelle (gelb), die Synapse, wird also größer. Den Vergleich hierzu liefern Bailey et al. (2015) durch den unteren Teil ihrer Abbildung. Hier ist ein kleiner Dendrit mit postsynaptischer Membran (Small) und ein großer Dendrit (Large) dargestellt. Vergleicht man diese beiden Dendriten miteinander, wird der Vorteil des großen Dendriten sehr schnell deutlich. Aufgrund der größeren Fläche seiner postsynaptischen Membran können an ihr mehr biochemische Prozesse gleichzeitig stattfinden. Genauer gesagt ist es möglich, mehr Rezeptoren, welche die Signale der Neurotransmitter aufnehmen, um diese anschließend weiterzuleiten, in die Membran einzulagern. Folglich können mehr Transportvisikel („Visicles“ in Abb. 7), die von der präsynaptischen Membran kommen und mit Neurotransmittern gefüllt sind, gleichzeitig an die postsynaptische Membran binden, was wiederum zur Folge hat, dass der Schwellenwert, um ein erneutes Aktionspotenzial im nachgeschalteten Neuron auszulösen, schneller erreicht werden kann. (Bailey et al., 2015) Größere Synapsen sind somit in der Lage, Informationen stärker und schneller zu übertragen und steigern aufgrund ihrer Plastizität so die Effizienz der Informationsverarbeitung.

Synapsen gibt es somit aus einem ganz einfachen Grund. Durch ihre Eigenschaften, sich aufzubauen, abzubauen und umzubauen, ist unser „Gehirn nicht statisch, sondern vielmehr äußerst plastisch, d. h. es passt sich den Bedingungen und Gegebenheiten der Umgebung zeit lebens an.“ (Spitzer, 2006, S. 94) Lernen beginnt auf dem Level der Synapsen (Bailey et al., 2015) und vor allem aus ihren gebrauchsbhängigen strukturellen Veränderungen bestehen unsere Lern- und Gedächtnisvorgänge. (Korte, 2009)

2.3.3 Kortikale Karten

Durch die beschriebene neuronale Plastizität ist es dem Gehirn möglich, Netzwerke neuronaler Repräsentationen zu schaffen. Wie bereits erläutert, stellt eine neuronale Repräsentation die Aktivität eines oder mehrerer Neurone aufgrund einer bestimmten Sinneswahrnehmung dar. (siehe Kapitel 2.3.1) Da der Kortex, in welchem die Repräsentationen gebildet werden, zu 96 Prozent gleich aufgebaut ist, bedarf es gewisser Prinzipien, anhand welcher die Repräsentationen so abgelegt werden, dass im Kortex eine gewisse Ordnung entsteht. Tatsächlich gibt es ein solches Prinzip, aufgrund dessen sich in der Großhirnrinde eine landkartenförmige Ordnung erkennen lässt. Hierbei spielen nach Autoren wie McIntosh (2000) oder Spitzer (2006) zwei wesentliche Punkte eine Rolle. Zum einen liegen ähnliche Signale nah bei einander. Zum anderen nehmen häufige Eingangssignale einen größeren Raum ein, als weniger häufige. Sie bilden somit auch größere Repräsentationen aus. Zwei der wichtigsten Eigenschaften hierzu wurden bereits in den vorherigen Kapiteln erläutert - die Eigenschaften der Vernetzung und Anpassung von Neuronen. Die Vernetzung von Nervenzellen wird in der Neurowissenschaft auch als Konnektivität bezeichnet. Durch sie ist es möglich, dass Nervenzellen, welche den gleichen Input repräsentieren und miteinander verbunden sind, gleichzeitig aktiviert werden und somit, aufgrund eines initialisierenden Signals, ein ganzes Netzwerk von Neuronen gleichzeitig einen Output generieren kann. (McIntosh, 2000) Durch Reizversuche, während Operationen am Gehirn, konnte dies bereits in den 20er Jahren in Deutschland bestätigt werden. Bei der Entfernung eines Tumors musste man sicherstellen, dass man umliegendes Gewebe, welches ebenfalls Tumorzellen enthalten könnte, großräumig mit entfernte. Gleichzeitig war es jedoch wichtig, so wenig Gewebe wie möglich zu entfernen, um das Risiko einer späteren körperlichen oder geistigen Beeinträchtigung der Patienten so gering wie möglich zu halten. Da man der Gehirnrinde nicht ansieht, welche Funktionen wo repräsentiert sind, berührte man diese mit einem Draht, durch welchen ein minimaler Strom floss. Durch die Schmerzunempfindlichkeit des menschlichen

Gehirns, reicht ein lokales Anästhetikum bei einem solchen Eingriff aus. Damit ist es während des Eingriffs möglich, mit dem Patienten zu sprechen (vgl. Spitzer, 2006, S. 100). Wurde der Kortex nun mit dem Draht berührt, berichteten die Patienten über subjektiv erlebte Phänomene, abhängig von dem Ort auf der Gehirnrinde, an welchem die Patienten mit dem Draht berührt wurden. Durch diese Methodik konnte man herausfinden, dass die Körperoberfläche des Menschen landkartenförmig repräsentiert ist, bestimmte Areale im menschlichen Kortex also sensorische und motorische Inputs bestimmter Teile unseres Körpers repräsentieren. Dies konnte später auch für andere Bereiche der Sinnesverarbeitung, wie das Sehen oder Hören, also die primären sensorischen Inputs nachgewiesen werden. (Spitzer, 2006) Die Anpassungseigenschaft der in das Netzwerk integrierten Nervenzellen trägt dazu bei, dass sich die Netzwerke erfahrungsbedingt ändern können (Kilgard, Pandya, Engineer, & Moucha, 2002) und somit je nach Bedarf größer oder kleiner werden, also mehr informationsgebende Zellen integrieren oder nicht. (McIntosh, 2000) Diese Annahme bestätigen auch Pantev und Mitarbeiter (2000), die zeigen konnten, dass die kortikalen Repräsentationen von Tönen bei Musikern größer sind, als bei Nichtmusikern. Zusätzlich zeigen die Autoren anhand ihrer Studie, dass im Vergleich von Musikern, die Trompete spielen und denen die Violine spielen, die Repräsentationen der spezifischen Klangfarbe, in Bezug auf ihr spezifisches Instrument, größer sind, als die der Vergleichsgruppe. Denkt man diese Form des erfahrungsabhängigen Wachstums von kortikalen Karten weiter und bezieht den Gedanken mit ein, dass das Gehirn nur über eine gewisse Kapazität verfügt, so müsste theoretisch eine Auslastungsobergrenze des Gehirns existieren. Zwei weitere Eigenschaften unseres Gehirns machen es jedoch möglich, dass eine solche Obergrenze nicht nötig ist. Semikonnektivität und Degeneration. Semikonnektivität wird von McIntosh bereits im Jahr 2000 als die Eigenschaft von neuronalen Netzwerken beschrieben, die es ihnen ermöglicht, sich mit anderen Netzwerken zu verbinden. Den angrenzenden Neuronen einer kortikalen Karte können dadurch sowohl mit den Neuronen des eigenen, als auch mit denen weiterer Netzwerke verbunden zu sein. Folglich werden gleiche Zellen von unterschiedlichen Arealen genutzt, was zum einen Platz spart, zum anderen aber vor allem der interkortikalen Vernetzung dient. Verschiedene kortikale Karten können somit überlappen und sind daher in ihrer Größe nicht limitiert. Die Degeneration, im neurobiologischen Kontext, trägt ebenfalls dazu bei, die Ressourcen des Neokortexes effizient zu nutzen. Tononi, Sporns und Edelman (1999) beschreiben Degeneration als die Eigenschaft, welche es ermöglicht, dass strukturell unterschiedliche Areale gleichzeitig einen gemeinsamen Output generieren können. Aus diesem Grund ist es nicht nötig, dass der Kortex für jede Funktion eine eigene Karte anlegt.

Dies bestätigt auch Pessoa (2014), der erkennen lässt, dass die Organisation des Gehirns und in weitere Folge die Kognition auf der Tatsache beruht, dass kortikale Karten, teilweise über sehr lange Verbindungen, mit einander vernetzt sind und es dieses Zusammenspiel der Karten ist, welches uns höhere kognitive Eigenschaften ermöglicht.

Das Gehirn ist somit in der Lage, sich aufgrund seiner Eigenschaften und in Abhängigkeit seiner Inputs ständig anzupassen, neue „Landkarten“ anzulegen, diese mit bereits vorhandenen zu vernetzen und innerhalb dieser neue Verbindungen zu schaffen, kurzum, zu lernen.

2.3.4 Das Gedächtnis

Die vorrangegangenen Abschnitte haben gezeigt, dass das Gehirn aufgrund der Eigenschaften seiner kleinsten Bestandteile dazu in der Lage ist, große Netzwerke zu bilden und durch diese Informationen aus der Umwelt zu speichern. Daraus ergibt sich für das Gehirn eine besondere Funktion – das Gedächtnis. Das Gedächtnis ist dafür zuständig, diese Informationen, Sinneseindrücke, Emotionen und Erfahrungen zusammenzuführen und zusammenzuhalten (Pritzel et al., 2003). „Ohne Gedächtnis könnten wir weder neue Sachverhalte lernen, noch könnten wir motorische Fertigkeiten abspeichern [...] oder wüssten überhaupt, wer wir sind“. (Pritzel et al., 2003, S. 403) Es gibt Gedächtnisfunktionen, die bewusst ablaufen und solche, die unbewusst ablaufen, jedoch unser Überleben sichern. Diese Funktionen und ihre Systematik steuern unser Verhalten und machen uns zu dem, was wir sind. (Pritzel et al., 2003; Korte, 2009) In den folgenden Kapiteln soll diese Systematik erläutert werden.

2.3.4.1 Zeitliche Einteilung des Gedächtnisses

Das Gedächtnis lässt sich anhand der zeitlichen Achse in Ultrakurzzeitgedächtnis, oder auch ikonisches Gedächtnis, in Kurzzeitgedächtnis und Langzeitgedächtnis einteilen. Das ikonische Gedächtnis speichert hierbei lediglich Wahrnehmungserfahrungen für eine Zeitspanne von Millisekunden ab, dient jedoch bereits als erster Filter für das Gehirn. Hierdurch können schon erste, für die jeweilige Situation irrelevante Informationen vergessen werden, womit den relevanten Informationen mehr Aufmerksamkeit und Energie gewidmet werden kann. Diese Informationen werden im Kurzzeitgedächtnis weiterverarbeitet, welches Informationen bereits für mehrere Sekunden bis Minuten behalten kann. (vgl. Pritzel et al., 2003, S. 409) Ein bestimmter Teil des Kurzzeitgedächtnisses wird als Arbeitsgedächtnis bezeichnet. Es ist im Wesentlichen im Frontallappen des Gehirns lokalisiert und hat eine Speicherkapazität von sechs bis neun Elementen, wie beispielsweise Ziffern einer Telefonnummer. (vgl.

Spitzer, 2006, S. 5; Korte, 2009, S. 67) Wie der Name bereits nahelegt, stellt das Arbeitsgedächtnis jenen Teil des Gedächtnisses dar, welcher mit Inhalten umgeht, diese verbindet und ordnet. Ein treffendes Beispiel, bei welchem das Arbeitsgedächtnis gefordert wird, ist das Verstehen bzw. Lesen eines Satzes, welcher einen Nebensatz enthält - dieser jedoch vom eigentlichen Thema ablenkt, was besonders in der deutschen Sprache und vor allem von Politikern genutzt wird - ohne den Anfang zu vergessen. (Spitzer, 2006) Die Informationen aus dem Kurzzeitgedächtnis werden anschließend entweder vergessen, oder gelangen ins Langzeitgedächtnis, das in Dauer und Speicherkapazität fast unerschöpflich ist und inhaltlich nochmals unterteilt wird, wie der nächste Abschnitt zeigt. (Pritzel et al., 2003)

2.3.4.2 Inhaltliche Einteilung des Gedächtnisses

Der Umstand einer inhaltlichen Einteilung des Gedächtnisses lässt sich leicht erklären, wenn man sich bewusstmacht, dass es einer gänzlich anderen Art unseres geistigen Lebens bedarf, die binomischen Formeln ohne Fehler wiederzugeben, als sich an die erste große Liebe zu erinnern. Neben diesem, nennen Pritzel et al. (2003) weitere Gründe, welche für eine inhaltliche Unterteilung sprechen. Zum einen ist die Störanfälligkeit der einzelnen Gedächtnissysteme unterschiedlich. Ein an Demenz erkrankter Patient vergisst schon sehr bald zeitnahe Erlebnisse, behält seine motorischen Fertigkeiten jedoch verhältnismäßig lange. Ein weiteres Beispiel ist der Krankheitsverlauf von H. M., welcher in Kapitel 2.3 beschrieben wurde. Überdies lassen sich die verschiedenen Gedächtnissysteme an verschiedenen Stellen im Gehirn lokalisieren. Als dritten Grund geben die Autoren die unterschiedlichen Intensitäten von Bewusstsein und Kognition, bezugnehmend auf unterschiedliche Gedächtnisinhalte an.

Die vier Gedächtnissysteme, wie sie unter anderem von Korte (2009, S. 61f) beschrieben werden, gliedern sich zunächst in das deklarative, oder explizite Gedächtnis und das implizite Gedächtnis. Das deklarative Gedächtnis stellt den bewussten Informationsspeicher dar, also jenen, wie Korte (2009) erläutert, dessen Inhalt sich leicht in Worte fassen lässt. Hierzu zählen das episodische oder autobiografische Gedächtnis, welches Erlebnisse abspeichert, wie zum Beispiel den ersten Schultag, und das semantische Gedächtnis, das Fakten, wie mathematische Formeln oder Vokabeln ablegt. Unabhängig von diesen zwei Gedächtnistypen existieren zwei weitere Gedächtnissysteme, die den impliziten Teil des Gedächtnisses darstellen, also jenen, unbewussten Teil, dessen Wissen sich oft nur schwer mit Worten beschreiben lässt, so Korte (2009). Das Priming und das prozedurale Gedächtnis. Das prozedurale Gedächtnis, auch motorisches Gedächtnis genannt, beinhaltet alle Fähigkeiten und Fertigkeiten, welche wir nicht wissen, aber können. Ein Beispiel hierfür ist das Laufen. Nach

Weineck, 2010, ist „die Körperhaltung [beim Laufen] [...] annähernd aufrecht. Aus dem Kniehub erfolgt mit fast gestrecktem Kniegelenk ein raumgreifender, aktiv ziehender Schritt bei insgesamt relativ geringen Bewegungen im Kniegelenk. Die hintere Abdruckstreckung kommt im Wesentlichen aus dem Fußgelenk.“ (S. 630) Liest man diesen Satz genauer, muss festgestellt werden, dass annähernd jeder Mensch so läuft. Würde man jedoch, wenn die Frage aufkommt, wie bzw. warum Laufen funktioniert, auch genauso antworten? Weitere Beispiel hierfür sind das Sprechen, Lesen, Schwimmen oder Skifahren. Das zweite Subsystem des impliziten Gedächtnisses stellt das Priming dar. Dieses System ist für die Leistung der Wiedererkennung von bereits Wahrgenommenem verantwortlich (vgl. Pritzel et al., 2003, S. 415). Es hilft uns beim Einordnen von Ereignissen aufgrund bereits erlebter und vergleichbarer Erlebnisse und lässt uns Reizmuster, welche wir schon einmal wahrgenommen hatten, wiedererkennen (Korte, 2009).

Trotz dem, dass jedes Gedächtnissystem unterschiedliche Aufgaben erfüllt, stehen sie dennoch nur sehr selten für sich allein. Als „Musterbeispiel“ benennt Korte (2009) die Sprache: „Die Bewegungskoordination der Stimm-, Gesichts- und Atemmuskulatur erfolgt durch das motorische Gedächtnis, das Faktengedächtnis wird gebraucht, um den Wörtern eine Bedeutung zu geben, und das, worüber gesprochen wird, kann eine Lebensepisode sein und entstammt dem autobiografischen Gedächtnis.“ (S. 66) Dieses Beispiel macht deutlich, wie komplex die Zusammenarbeit der einzelnen Gedächtnissysteme sein kann und wie der Mensch dieses komplexe System immer wieder beansprucht, wenn er neue Dinge lernt oder bereits Gelerntes anwendet.

2.4 Fazit

Im zurückliegenden Kapitel wurden die wichtigsten neurobiologischen Strukturen, die Lernen ermöglichen, vorgestellt und erläutert. Hierfür wurde zunächst auf die beiden Zelltypen eingegangen, aus welchen das menschliche Gehirn aufgebaut ist. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Nervenzellen (Neurone) die Hauptaufgaben der Lernprozesse, das Aufnehmen, Verarbeiten und Speichern von Informationen respektive Erfahrungen, übernehmen. Der zweite Zelltypus des Gehirns stellt mit den Gliazellen eine vor allem unterstützende Funktion dar. Im weiteren Verlauf wurde gezeigt, dass Erfahrungen in Form von Sinneseindrücken über die Sinnesorgane (Haut, Ohren, Augen, Mund und Nase) aufgenommen werden und der Informationsgehalt dieser Wahrnehmungen in Form von elektrischen Impulsen (Aktionspotentialen) an das Gehirn weitergeleitet wird. Damit die vielen, gleichzeitig aufnehmbaren Informationen aus der Umwelt nicht ungefiltert auf das Gehirn treffen, durchlaufen

sie gewisse Filter, welche dafür sorgen, dass das Gehirn nur so viel Information erreicht, wie es auch verarbeiten kann. In weiterer Folge wurde die grobe Anatomie des Gehirns mit ihren wichtigsten, für das Lernen relevanten Strukturen vorgestellt. Hierbei wurde ersichtlich, dass gewisse Strukturen unterschiedliche Aufgaben erfüllen. So ist der Hippokampus beispielsweise dafür zuständig, neu gelerntes Wissen zunächst zu speichern und dieses Wissen in weiterer Folge der Großhirnrinde, welche wesentlich langsamer lernt, beizubringen. Außerdem repräsentiert er das Wissen von Einzelheiten (beispielweise Orten oder Vokabeln). Neben weiteren Strukturen wurde erörtert, dass die Großhirnrinde der Teil des Gehirns ist, in welchem die Informationen abgelegt werden. Auch diese ist strukturiert, wodurch folglich eine Ordnung entsteht. So sind Bewegungserfahrungen beispielsweise im motorischen Kortex abgelegt, welcher sich im hinteren Bereich des Frontallappens befinden. Sehinformatio-
nen hingegen werden im Occipitallappen abgespeichert. Die beiden anderen, großen Bereiche der Hirnrinde werden Temporal- und Parietallappen genannt. Jedes dieser großen Gebiete ist wiederum in verschiedenste Areale gegliedert, in welchen ähnliche Erfahrungen gesammelt und vereint werden. Zusätzlich wurde gezeigt, dass bei gleichen Erfahrungen immer wieder die gleichen Neuronen aktiv sind, weshalb man in der Literatur davon spricht, dass bestimmte Neuronen bestimmte Erfahrung repräsentieren. Je nach Komplexität der Erfahrung werden einzelne oder ganze Netzwerke von Neuronen gleichzeitig aktiviert. Die Nervenzellen sind dabei untereinander durch sogenannte Synapsen verbunden. Durch ein abstraktes Beispiel wurde im weiteren Verlauf von Kapitel 2 erklärt, dass es den neuronalen Repräsentationen aufgrund unterschiedlich starker Synapsen möglich ist, verschiedene Reaktionen, je nach Inputmuster, zu generieren, wodurch eine Vorstellung davon geschaffen werden konnte, wie Informationen im Gehirn verarbeitet werden. Im Anschluss daran wurden nochmals die synaptischen Verbindungen der Neuronen thematisiert. Hierbei konnte dezidiert dargestellt werden, dass aufgrund neu gemachter Erfahrungen neue Synapsen an den während dieser Erfahrung aktiven Neuronen entstehen. Des Weiteren wurde gezeigt, dass bei wiederholender, gleicher Erfahrung weitere, neue Synapsen entstehen und bereits vorhandene gestärkt werden. Es konnte also nachgewiesen werden, dass Lernen auf neurobiologischer Ebene, das Knüpfen neuer Verbindungen und die gebrauchtsabhängige Veränderung dieser zwischen den Nervenzellen bedeutet. Aufgrund der dargestellten Eigenschaften dieser kleinsten Elemente des Lernens entstehen Netzwerke, welche wiederum spezielle Erfahrungen repräsentieren. Die Kommunikation dieser Netzwerke ermöglicht komplexe Denkvorgänge und befähigt den Menschen, Sachverhalte und Fertigkeiten zu erlernen, abzuspeichern und sich mit der Hilfe von erworbenem Wissen zu verhalten. Diese spezielle

Funktion des Gehirns wird Gedächtnis genannt und vereint Informationen, Sinneseindrücke, Erfahrungen und Emotionen und formt daraus das bewusste und unbewusste Verhalten des Menschen. Durch die dargestellte zeitliche und inhaltliche Systematik des Gedächtnisses entsteht eine Ordnung, durch die es möglich wird, gleiche bzw. ähnliche Repräsentationen mit einander zu verbinden und einander zu ergänzen. Letztendlich ist es jedoch die Kommunikation und Zusammenarbeit aller Elemente – vom Neuron über die Synapsen, hin zu neuronalen Repräsentationen und Netzwerken, bis zu den zeitlichen und inhaltlichen Gedächtnissystemen – die das dem Menschen vorbehaltene komplexe Lernen ermöglichen.

3 Lernen

„Wenn es etwas gibt, was Menschen vor allen anderen Lebewesen auszeichnet, dann ist es die Tatsache, dass wir lernen können und dies auch zeitlebens tun.“ (Spitzer, 2006, S. XIII) Genau diese Tatsache, dass wir jederzeit lernen, wird häufig unterschätzt. Das folgende Kapitel soll Aufschluss darüber geben, warum wir immer lernen und welche Vorteile daraus entstehen. Des Weiteren muss die Frage gestellt werden, was wir eigentlich lernen, wenn wir lernen und wie unser Gehirn dies bewerkstelligt. Durch ein besseres und tieferes Verständnis dieser Fragen erscheint auch das Lernen im Kontext Schule in einem anderen Licht.

3.1 Wo lernen beginnt

Der Begriff „lernen“ wird häufig sofort mit Schule, Fachhochschule, Universität oder anderen Bildungseinrichtungen assoziiert. Andere Wörter für lernen sind „pauken“, „büffeln“, „einstudieren“ oder auch „strebern“, was deutlich zeigt, dass sich der umgangssprachliche Gebrauch des Wortes „lernen“ auf den Erwerb von faktischem Wissen bezieht, welches aufgrund von Vorgaben der späteren Reproduktion oder Anwendung dienen soll. Wie allerdings bereits in Kapitel 2 deutlich gezeigt werden konnte, ist „lernen“ weitaus mehr. Beer und Schwarz (2012) greifen hierzu folgende Gedanken auf:

Lernen bezeichnet alle bewussten und unbewussten Prozesse des Erwerbs von geistigen oder körperlichen Fähigkeiten. Dazu zählen soziale und emotionale Kompetenzen ebenso wie das Auswendiglernen von Fakten oder das Fahren auf einem Einrad zu beherrschen. Lernen kann verstanden werden als kurzfristige oder langfristige Veränderung des Erlebens- und Verhaltensrepertoires. (Beer & Schwarz, 2012, S. 88; zit. n. Brand & Markowitsch, 2011, S. 6)

Demnach beginnt lernen dort, wo sich das Verhalten des Menschen, aufgrund von Ereignissen, ändert. Um der Frage nachzugehen, ab wann Lernprozesse beim Menschen beginnen, untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bereits seit einiger Zeit auch Neugeborene. Schaal, Marlier und Soussignan (2000) führten hierzu folgendes Experiment durch. Sie baten eine Gruppe schwangerer Frauen sich die letzten zwei Wochen ihrer Schwangerschaft regelmäßig von Produkten zu ernähren, welche Anis enthielten. Da man bereits aus vorangehenden Tierstudien wusste, dass sich die durch die Nahrung aufgenommenen Stoffe im Fruchtwasser des Feten nachweisen lassen und diese nachweislich chemosensorischen Einfluss auf den Fetus haben, konnte man davon ausgehen, dass die Feten der schwangeren Mütter, welche sich von Anisprodukten ernährten, bereits pränatal mit dem Aroma von Anis in Kontakt gekommen waren. Nach der Geburt wurden diese Kinder, vor der ersten

Nahrungsaufnahme, folgenden Versuchen unterzogen. Zunächst wurde den Neugeborenen entweder ein in Anethol (ursächlicher Stoff des Anisaromas) getränkter Wattestab oder ein in Paraffinöl (geruchslos) getränkter Wattestab für 10 Sekunden unter die Nase gehalten (vgl. Schaal et al., 2000, S. 731). Während diesem Versuch wurden die Neugeborenen und deren Reaktion gefilmt. Anschließend wurden die Aufnahmen hinsichtlich der Mund- und Gesichtsbewegungen als Reaktion auf den präsentierten Geruch ausgewertet (negative oder positive Reaktionen). In einem zweiten Versuch wurden den Neugeborenen links und rechts von ihren Köpfen beide Gerüche (Anethol und Paraffin) gleichzeitig für zweimal eine Minute präsentiert (beim zweiten Mal seitenverkehrt). Die Reaktion der Babys wurde wieder auf Video aufgenommen, diesmal jedoch bezüglich der Richtungsorientierung des Kopfes (zum Anis oder davon weg) zeitlich ausgewertet. In beiden Versuchen konnte festgestellt werden, dass im Vergleich zur Kontrollgruppe (Neugeborene, deren Mütter während ihrer Schwangerschaft keine Anisprodukte zu sich genommen hatten) die Neugeborenen, welche pränatalen Kontakt mit Anis hatten, signifikant mehr positive Reaktionen gegenüber dem Anisgeruch zeigten bzw. sich signifikant länger in Richtung Anis drehten. Nach vier Tagen wurden die Tests ein zweites Mal durchgeführt. Hierbei ließ sich lediglich, jedoch mit einer Korrelation von 0,59, das Ergebnis des zweiten Tests bestätigen (vgl. Schaal et al., 2000, S. 733). Aus diesen Ergebnissen leiten die Autoren ab, dass bereits bei Neugeborenen eine Bewertung, ob gut oder schlecht, aufgrund von (pränatalem) Erfahren stattfindet und sich somit durch Erfahrungen Verhalten ändert, mit anderen Worten, gelernt wird. Zusätzlich bleiben diese Bewertungen/Verhaltensanpassungen bereits über Tage erhalten. Schon Decasper und Fifer (1980) stellten fest, dass das Verhalten Neugeborener durch pränatale Erfahrungen beeinflusst wird. Ihre Untersuchungen ergaben, dass Neugeborene der Stimme ihrer Mutter signifikant mehr Aufmerksamkeit schenken, als der Fremder Personen und führten dies auf die ständige Präsenz der mütterlichen Stimme vor deren Geburt zurück. Der Mensch fängt demnach bereits vor der Geburt an, zu lernen. Nach der Geburt nimmt das Baby über alle seine Sinnesorgane ständig neue Erfahrung auf und verarbeitet diese. Hierbei spielt zunächst eine der einfachsten Formen des Lernens, die Habituation, eine wichtige Rolle, welche das Abnehmen der Wahrnehmung in Bezug auf ein sich ständig wiederholendes Ereignis beschreibt. Durch die Auswertungen von Videoaufnahmen von Babys, welchen ein visueller Stimulus wiederholend gezeigt wurde, konnte festgestellt werden, dass die Zeit, mit welcher die Babys den Stimulus betrachten, mit der Zunahme der Wiederholungen abnimmt. Im Kontrast dazu, verlängert sich die Betrachtungsdauer schlagartig, sobald ein neuer Stimulus präsentiert wird. Mit dieser Methode konnte nachgewiesen werden, dass

Säuglinge bereits Erinnerungen bilden können und damit Erfahrungen abspeichern. (Streri, De Hevia, Izard, & Coubart, 2013)

3.2 Die Rolle der neuronalen Entwicklung

Betrachtet man den Kopf eines Säuglings und vergleicht diesen mit dem eines erwachsenen Menschen, so ist festzustellen, dass der des Erwachsenen etwa doppelt so groß ist. Wie jedoch bereits in Kapitel 2.3.2 bemerkt, ist diese Größenzunahme nicht auf eine Zunahme an Nervenzellen zurückzuführen (Pritzel et al., 2003). Sie beruht vielmehr auf der Mengenzunahme von bestimmten Gliazellen, den Oligodendrozyten, die sogenannte Myelinscheiden um die Axone der Neurone bilden (vgl. Gekle et al., 2010, S. 78). Aufgrund dieser Myelinscheiden kommt es in erster Linie zu einer Dickenzunahme im Querschnitt der Nervenfasern zwischen den Neuronen, was in weiterer Folge zu einer Volumenzunahme des Gehirns führt (Spitzer, 2006). Die Myelinisierung der Axone hat eine Erhöhung der Fortleitungsgeschwindigkeit der Aktionspotentiale (vgl. Gekle et al., 2010, S. 78) zur Folge, woraus eine Erhöhung der Signalübertragung und Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit im Gehirn resultiert. Nervenfasern, welche nicht von einer Myelinscheide umwickelt sind, leiten ihre elektrischen Impulse mit höchstens drei Metern pro Sekunde weiter. Im Gegensatz dazu leiten myelinisierte Axone Informationen mit bis zu 110 Metern pro Sekunde weiter (vgl. Spitzer, 2006, S. 230). Stellt man sich vor, man berührt mit dem Fuß einen scharfen Gegenstand, so muss die Information des Schmerzes zum Gehirn geleitet werden, welches mit dieser Information wiederum Signale an die Muskeln des Fußes zurückschickt, um den Fuß zurückzuziehen. Würde die Fortleitungsgeschwindigkeit bei drei Metern pro Sekunde liegen, so würde die Reaktion auf den scharfen Gegenstand länger als eine Sekunde dauern. Auch auf die interkortikale Kommunikation der Gehirnareale bezogen macht die Myelinisierung Sinn. Möchte man beispielsweise aufgrund eines visuellen Reizes eine Bewegung ausführen, so muss der visuelle Kortex, der im Occipitallappen liegt, diese Information an den motorischen Kortex schicken, der sich im hinteren Abschnitt des Frontallappens befindet. Zwischen diesen beiden Gehirnarealen liegt eine Strecke von etwa zehn Zentimetern, die mit einer Fortleitungsgeschwindigkeit von drei Metern pro Sekunde in circa 0,03 Sekunden zurückgelegt wird. (Spitzer, 2006, S. 230f) Bedenkt man, dass die Verarbeitung von Informationen durch die beteiligten Areale auf einem Wechselspiel beruht (Arce-McShane, Ross, Takahashi, Sessle, & Hatsopoulos, 2016), so ist diese Geschwindigkeit eher langsam, woraus eine ineffiziente Informationsverarbeitung resultiert. „Damit ist eine nichtmyelinisierte Nervenfaserverbindung im Kortex so etwas wie eine tote Telefonleitung; die Verbindung ist physikalisch zwar

vorhanden, sie ist jedoch zu langsam, um eine Funktion gut zu erfüllen.“ (Spitzer, 2006, S. 231) Aus diesem Grund wird vor allem mit den Gehirnarealen gearbeitet, die bereits myelinisiert sind. Mit dem Tag der Geburt, so erklärt Spitzer (2006), sind bereits die Teile des Kortex myelinisiert, die für die Verarbeitung der taktilen, akustischen und visuellen Reize, als auch für Bewegungen von Muskeln und Muskelgruppen verantwortlich sind – die primären sensorischen und motorischen Kortexe. Im Laufe der Entwicklung werden die sekundären Gehirnareale myelinisiert und somit „hinzugeschaltet“. Fuster (2001) führt als Beispiel sekundärer Kortexe im Bereich der Motorik jene Areale an, welche zielgerichtete und kontrollierte Bewegungen repräsentieren. Erst zum Zeitpunkt der Pubertät und darüber hinaus werden auch die höchsten, im Frontallappen liegenden Areale, welche beispielsweise komplexe Bewegungsschemata, Problemlösestrategien und höhere, logische Denkvorgänge repräsentieren, zum effizient arbeitenden Netzwerk der Gehirnareale durch Myelinisierung hinzugefügt (Fuster, 2001; Spitzer, 2006). Das Resultat aus dieser Entwicklung des Gehirns ist es, dass zunächst nur einfache Netzwerke von Gehirnarealen miteinander arbeiten, die auch nur einfache Informationen verarbeiten können. Daraus folgt, dass auch nur Einfaches gelernt werden kann. Mit fortschreitendem Alter und zunehmender Myelinisierung weiterer Gehirnareale können dann immer komplexere Strukturen verarbeitet und erlernt werden. Die Entwicklung des Gehirns stellt demzufolge sicher, dass zunächst nur sehr einfache, grundlegende Erfahrungen verarbeitet und erlernt werden. Spitzer (2006) erklärt dieses allgemeine Prinzip wie folgt: „Wird ein einfaches System mit komplexem Input konfrontiert, so bemerkt es diese Komplexität gar nicht, sondern behandelt den Input, als wäre er völlig zufällig. Gelernt wird unter solchen Umständen – nichts.“ (S.234) Mit Hilfe der gelernten Grundlagen und dem Fortschritt der Myelinisierung des Kortexes können komplexere Erfahrungen verarbeitet werden, auf Grundlage dieser wiederum mehr gelernt werden kann. Der Reifeprozess des menschlichen Gehirns stellt somit sicher, dass in der richtigen Reihenfolge gelernt wird – vom Einfachen zum Komplexen. (Spitzer, 2006) Dies ist sowohl auf sensorischer und motorischer Ebene der Fall (Ayres, 1998), als auch auf Ebene der zwischenmenschlichen Kommunikation. Wie Wiesmann, Schreiber, Singer, Steinbeis und Friederici (2017) berichten, entwickelt ein Kind im Alter von drei bis vier Jahren die Eigenschaft, sich in andere Menschen hineinzusetzen und die Realität aus Sicht des Anderen zu betrachten. Diese Eigenschaft wird als „Theory of Mind“ beschrieben und auch heute noch mit sogenannten „false belief tasks“ untersucht und überprüft. Im Beispiel von Wiesmann et al. (2017) wurde Kindern eine Schokoladenbox gezeigt. Alle Kinder nahmen an, es befände sich Schokolade in der Box, wurden jedoch direkt im Anschluss durch das Öffnen der Box darüber aufgeklärt,

dass sich Stifte, statt wie vermutet Schokolade, in ihr befanden. Die Box wurde geschlossen und es betrat ein weiterer Charakter den Raum. Die Kinder, die zuvor den wahren Inhalt der Box zu Gesicht bekommen hatten, wurden nun gefragt, was derjenige, welcher soeben den Raum betreten hatte, glaube, was sich in der Box befinde. Antworteten die Kinder mit „Schokolade“, so besaßen sie bereits die Eigenschaft, die Realität mit den Augen/Gedanken anderer zu sehen. Antworteten die Kinder mit „Stifte“, so war die Eigenschaft der „Theory of Mind“ noch nicht entwickelt. Die Entwicklung der „Theory of Mind“ im Kleinkindalter stellt eine der Grundlagen für moralisches Verständnis, soziale Kommunikation und Empathie dar (Baird & Wilde Astington, 2004) und steht in direktem Zusammenhang mit der Myelinisierung derer Gehirnareale, welche auch später beim Erwachsenen Menschen aktiv sind, wenn sich dieser mit einem „false belief task“ beschäftigt (Wiesmann et al., 2017). Mit ungefähr sechs Jahren ist bei den meisten Kindern der nächste, besonders große „Sprung“ zu erkennen. In diesem Alter sind die motorischen und kognitiven Fähigkeiten, sowie Sprache und Gedächtnis in ihren Basisstrukturen entwickelt und „vereinigen sich [...] zu einem harmonischen Ganzen, welches es dem Kind ermöglicht, zielgerichtet zu lernen.“ (Korte, 2009, S. 101) Auch die Fähigkeit der Aufmerksamkeit, des zielgerichteten Arbeitens und das Ausblenden von anderen Dingen, die das Kind ablenken, beginnt sich aufgrund der Reifung des Frontalhirns zu entwickeln. Des Weiteren beginnt das Kind damit, Emotionen in seine Entscheidungen mit einzubeziehen. Folglich sind alle Areale der Großhirnrinde, welche für den Kontext Schule aus heutiger Sicht relevant sind, myelinisiert und für das effiziente Arbeiten des Gehirns vernetzt, weswegen in diesem Alter auch der Schuleintritt angesetzt ist (Korte, 2009). Ullman und Klingberg (2016) geben jedoch auf Grundlage ihrer Studie zu bedenken, dass Gehirnentwicklung keinesfalls immer mit dem chronologischen Alter der Kinder gleichzusetzen ist. Genauso wie jedes Kind zu einem anderen Zeitpunkt in die Phase der Pubertät eintritt, unterscheiden sich Kinder auch in ihrer kognitiven Entwicklung voneinander und raten daher von einer verfrühten Einschulung ab. Bis schlussendlich alle Teile des Gehirns, insbesondere die des präfrontalen Kortexes, vollständig myelinisiert sind, dauert es noch bis in das ungefähr 21. Lebensjahr hinein. (Paus, 2005) Wie bereits erwähnt, gehört der präfrontale Kortex zu den hierarchisch höchsten Gehirnarealen, in welchem vor allem die komplexen, emotionsgefärbten Gedanken und Problemlösungen verarbeitet werden (Fuster, 2001), sowie spezifische Aufmerksamkeit (Cromer, Schembri, Harel, & Maruff, 2015) und zielgerichtetes Handeln, welches erst gegen Ende der Pubertät ausgereift ist (Boehme et al., 2017), generiert werden. Autoren wie Korte (2009) legen daher die Vermutung nahe, dass die späte Myelinisierung des präfrontalen Kortexes eine der Hauptursachen

„für Probleme wie mangelnde Emotionskontrolle und die Unfähigkeit, langfristige Ziele zu verfolgen“ (S. 100) bei pubertierenden Schülerinnen und Schülern ist.

Trotz dem, dass das Gehirn durch seine Entwicklung ganz offensichtlich vorzugeben scheint, was zu welchem Zeitpunkt gelernt werden kann respektive muss, sollte man nicht vergessen, so Spitzer (2006), aber auch Ullman und Klingberg (2016), dass jedes Kind verschieden und in seinen Eigenschaften und Erfahrungen, seiner Entwicklung und Lerngeschichte individuell ist und aus diesem Grund nicht für jedes Kind alles gleich gut ist. Es gilt daher, so Spitzer (2006) weiter, immer wieder über das Angebot von einheitlichen Lernerfahrung, besonders im Einzelfall, nachzudenken.

3.3 Wie gelernt wird

Beobachtet man ein Kleinkind, so wird man fast immer feststellen, dass es sich mit irgendeiner Sache auseinandersetzt. Sei es ein Schmetterling der beim Vorbeifliegen beobachtet wird, eine Person im Raum, die sich anders als die anderen Personen im Raum verhält bzw. anders aussieht, oder ein Gegenstand, der mit seinem „ungewöhnlichen“ Aussehen das Interesse des Kindes erweckt. Befindet sich dieser Gegenstand beispielsweise in Reichweite und das Baby bekommt die Möglichkeit, diesen zu greifen, wird es einige Zeit mit dem Gegenstand spielen und ihn früher oder später fallen lassen. Oft kann man beobachten, dass das Baby den Gegenstand anschließend wieder aufhebt und nochmals fallen lässt, ihn wiederum aufhebt und ein weiteres Mal zu Boden wirft. Diese Szene wird sich noch einige Male wiederholen, bis sich das Baby etwas Neuem zuwendet. Die Frage, die sich nach dieser Szene aufdrängt ist, warum das Baby den Gegenstand immer wieder hat fallen lassen? Nach Schulz (2012) ist die Antwort verblüffend einfach – das Baby hat gelernt. Die Ausführungen der Wissenschaftlerin legen nahe, dass das Verhalten des Babys auf die grundlegendste Eigenschaft des Menschen zurückführen ist, die das Lernen ermöglicht – das hinterfragende, neugierige und epistemische Untersuchen bzw. Erforschen von dem, was uns umgibt und die Fähigkeit, aus den gewonnenen Erkenntnissen Schlussfolgerungen zu ziehen. Das Baby hat also beim Spielen und/oder Untersuchen des Gegenstandes, vielleicht sogar zufällig, festgestellt, dass dieser herunterfällt, wenn man ihn loslässt. Auch das anschließende Verhalten des Babys, das wiederholende Aufheben und wieder Fallenlassen, ist mit dem Prozess des Lernens zu erklären. Das Baby überprüft seine Schlussfolgerung – wenn ich diesen Gegenstand loslasse, fällt er auf den Boden’ – mit Hilfe statistischer Evidenz, so Schulz (2012) weiter. Bei jedem „Versuch“ den Gegenstand fallen zu lassen, fällt dieser zu Boden. Es lernt dadurch, dass der Gegenstand immer zu Boden fällt, wenn es ihn loslässt. Betrachtet man

dieses Beispiel auf zellulärer Ebene, auf welcher Lernen durch die gebrauchtsabhängige Veränderung von Synapsen stattfindet, das heißt immer wieder die gleichen Verbindungen der Neuronen aktiviert werden müssen, die das Gelernte repräsentieren (Kapitel 2.3), hat das Baby genau dies getan. Durch den wiederholenden Versuch, den Gegenstand fallen zu lassen und den ständigen Gebrauch der Verbindung – abstrakt gesprochen – „Gegenstand loslassen“ und „Gegenstand fällt auf den Boden“, hat es diese Verbindung „geknüpft“ und/oder gestärkt und hierdurch gelernt, dass dieser Gegenstand auf den Boden fällt, wenn es ihn fallen lässt. Wie Baldwin, Markman und Melartin schon 1993 zeigen konnten, ist es bereits neun Monate alten Babys möglich, Eigenschaften eines Objekts auf ein gleich aussehendes Objekt zu übertragen. Kleinkinder in diesem Alter besitzen daher bereits die kognitiven Fähigkeiten, Objekteigenschaften zu generalisieren. Gweon, Tenenbaum und Schulz (2010) gehen noch einen Schritt weiter. Sie zeigen in ihren Untersuchungen, dass Kleinkinder nicht nur anhand von eigens gemachten Erfahrungen Schlussfolgerungen ziehen, sondern diese auch durch Beobachtungen erweitern können. Gweon und Mitarbeiter (2010) machen außerdem darauf aufmerksam, dass Kinder im Alter von 15 Monaten in der Lage sind, beobachtete Eigenschaften durch eine überzeugend große Anzahl positiver Ereignisse in Bezug auf die zu beurteilende Eigenschaft (statistischer Evidenz), für ähnliche Objekte zu generalisieren, diese jedoch in Frage stellen respektive überprüfen, wenn sie, basierend auf eigener oder beobachteter Erfahrungen, gegenteilige Eindrücke sammeln. Bezogen auf das oben angeführte Beispiel bedeutet dies, dass das Baby am darauf folgenden Tag seine Mama beobachtet, welche einen anderen Gegenstand fallen lässt und anschließend wieder aufhebt. Später beobachtet das Baby auch den Papa, dem ein Gegenstand auf den Boden fällt. Da das Baby im Laufe der Zeit durch eigene Erfahrungen und durch das Beobachten verschiedener Personen, umgehend mit verschiedenen Gegenständen, immer wieder feststellt, dass nicht nur bestimmte Gegenstände, sondern alle bisher beobachteten Gegenstände zu Boden fallen, wenn diese losgelassen werden, steigt, statistisch gesehen, die Anzahl positiver Stichproben für den Zusammenhang zwischen „Objekt loslassen“ und „Objekt fällt auf den Boden“. Aus diesem Grund fängt das Baby an, diese Eigenschaft auf alle Objekte zu übertragen. Es generalisiert damit eine Eigenschaft für eine Gruppe (in diesem Fall „alle Objekte“) von Objekten. Kinder sind somit in der Lage, durch Situationen die immer wieder passieren und, neurologisch gesprochen, deswegen die Synapsen stärken, die allgemeinen Regeln, die hinter den Situationen stehen zu extrahieren und folglich zu lernen. (Spitzer, 2006; López-Barroso, Cucurell, Rodríguez-Fornells & de Diego-Balaguer, 2016) Neben dem eigenen Er-

forschen und Beobachten ist das Imitieren bzw. Nachahmen Anderer und derer Verhaltensweisen eine weitere, wichtige Eigenschaft, die Lernen ermöglicht. (Williamson & Markman, 2006) Auch Imitation erlaubt es dem Kind Erfahrungen zu sammeln und anhand dieser wiederum die Regeln der Welt zu erlernen. Das abstrahieren einer Regel, welche zuvor aufgrund von Nachahmung gelernt wurde, ist bereits bei Vierjährigen zu beobachten. Wang, Williamson und Meltzoff (2015) machten hierzu folgendes Experiment. Sie teilten 96 vierjährige Kinder in drei gleichgroße Gruppen. Jeder der drei Gruppen wurden vier gelbe, identisch aussehende Badeenten und zwei Schalen gezeigt. Die Badeenten hatten unterschiedliches Gewicht, was jedoch rein optisch nicht zu erkennen war. Zwei der Enten waren schwer (87,5g) und zwei leicht (21,7g) (vgl. Wang et al., 2015, S. 3). Ziel war es, nur mit Hilfe von Beobachtung und Imitation zu erkennen, dass die vier Enten anhand der Eigenschaft Gewicht in die zwei Schalen zu sortieren waren. Auf Grundlage dessen wurde mit jeder Gruppe ein unterschiedliches Szenario durchgeführt. Der Experimentengruppe (Gruppe 1) wurden die Schalen leerstehend auf einem Tisch präsentiert. Die Enten, sortiert nach Gewicht, wurden jeweils vor einer der Schalen aufgestellt. Anschließend sagte der Experimentator „Zuerst bin ich dran“ und begann mit folgender Demonstration. Er hob eine der Enten auf, stellte sie auf seine flache Hand und bewegte diese sechs Mal auf und ab. Zusätzlich stabilisierte er die Badeente mit der anderen Hand, um sicher zu gehen, dass sie nicht von der Hand hatte fallen können. Nach dem sechsten Mal stellte er die Ente in die vom Kind aus rechte Schale. Anschließend nahm er die zweite Ente des gleichen Gewichts und platzierte diese nach sechsmaligem Abwiegen wieder in der rechten Schale. Mit den zwei verbliebenen Enten führte er das gleich Prozedere durch, platzierte die Enten jedoch in der vom Kind aus gesehen linken Schale. Der ersten Kontrollgruppe (Gruppe 2) wurde das gleiche Szenario gezeigt. Der Experimentator machte das Kind mit dem Satz „Zuerst bin ich dran“ aufmerksam, zeigte den Prozess des Abwiegens vor, wie auch für die Experimentengruppe beschrieben, setzte jedoch anschließend die Enten zurück an ihren ursprünglichen Platz. Folglich wurde der Prozess des Abwiegens gezeigt, das Sortieren jedoch ausgelassen. Gruppe 3 (zweite Kontrollgruppe), wurden die Enten eingangs bereits vorsortiert gezeigt. Auch hier machte der Experimentator das Kind mit dem Satz „Zuerst bin ich dran“ aufmerksam, wog jede Ente mit dem gleichen Bewegungsablauf, setzte die jeweilige Ente allerdings nachher zurück in die gleiche Schale, da diese ja bereits vorsortiert waren. Jedes der Kinder der drei Gruppen wurde nach dem beschriebenen Szenario zwei Mal mit dem gleichen Set von Badeenten und der jeweils für die Gruppe beschriebenen Ausgangssituation mit der Aussage „Jetzt bist du dran“ konfrontiert. Zusätzlich bekamen die Kinder nach den zwei Sets zwei Weitere. Diesmal waren

es jedoch keine Badeenten, sondern kleine Plastikzebras mit einem Gewicht von 41,5g oder 11,6g (vgl. Wang et al., 2015, S. 3). Mit den Zebras wollten die Autoren feststellen, ob die Kinder in der Lage waren, die Regel auf andere Objekte zu übertragen und damit zu abstrahieren. Für die Auswertung wurde eine Sortierung nur als positiv absolviert betrachtet, wenn es dem Kind gelungen war, alle vier Objekte nach deren Gewicht in die zwei Schale zu ordnen. Für jedes richtig sortierte Set gab es einen Punkt. Demnach konnte jedes Kind eine Punktezahl zwischen 0 und 4 erreichen. In der Tat konnten Wang et al. (2015) feststellen, dass die Kinder der Experimentengruppe mit einem durchschnittlichen Wert von 2,5 den signifikant größten Erfolg beim Sortieren hatten. 50% der Probanden aus Gruppe 1 konnten sogar mit 3 oder 4 positiven Sets aufzeigen, woraus die Autoren schließen konnten, dass es den Kindern möglich war, die Regel auch auf neue, unbekannte Objekte anzuwenden. Kontrollgruppe 1 und 2 erreichten lediglich einen Mittelwert von 1,41 bzw. 1,53. Es war daher nicht ausreichend, nur das Abwiegen zu demonstrieren. Damit das Kind Rückschlüsse auf das eigentliche Ziel der Aufgabe ziehen konnte, musste die gesamte Aufgabe demonstriert werden. Um sicher zu gehen, dass nicht nur die Handlung des Erwachsenen kopiert, sondern die Aufgabe des Sortierens, und damit die Regel dahinter, vom Kind verstanden worden war, wurden die Objekte vor Beginn jedes Versuches auch horizontal vertauscht, sodass auf jeder Seite sowohl ein schweres, als auch ein leichtes Objekt gestanden hatte. Laut Autoren lassen diese Ergebnisse die Schlussfolgerung zu, dass die Regel – schwere Objekte in die eine Schale, leichte Objekte in die andere Schale – durch „das Wahrnehmen und Imitieren des vom Erwachsenen zielgerichteten Sortierverhaltens“ (Wang et al., 2015, S. 6) gelernt worden war. Zusätzlich konnten Wang und Mitarbeiter feststellen, dass die Kinder, die beim Lösen der Aufgabe lediglich einen mittleren Erfolg, also 2 aus 4 Versuchen, beim Sortieren hatten, auffallend häufiger den genauen Bewegungsablauf des Abwiegens imitierten. Die Kinder, welche mit sehr gutem Erfolg bei Sortieren (3 oder 4 aus 4 Versuche) aufzeigen konnten, kopierten das genaue Abwiegen vergleichsweise weniger häufig. Die Autoren schließen aus diesen Resultaten, dass die Erfahrungen, die die Kinder durch den Prozess des Abwiegens gemacht hatten, für diejenigen, die die Aufgabe bzw. Regel sehr schnell verstanden hatten, weniger wichtig waren, da diese Kinder begriffen hatten, dass der Prozess des Wiegens für das Komplementieren der Aufgabe nicht notwendig gewesen war. Im Gegensatz dazu half das Nachahmen des Abwiegens den Kindern mit mittlerem Erfolg, um die Gewichtsunterschiede der Objekte leichter zu realisieren und anhand dessen die Regel nachvollziehen und verstehen zu können. Das Kopieren und Imitieren von Verhaltensweisen,

ebenso wie das Erforschen und Beobachten, trägt somit nachweislich zum Erlernen von allgemeinen Fähigkeiten und generalisierbarem Wissen bei. (Wang et al., 2015)

3.4 Lernen als Prozess am Beispiel der Sprachentwicklung

Ein sehr plakatives und oft untersuchtes Beispiel für die grundlegenden Prozesse des Lernens ist der Erwerb von Sprache. Dieser Abschnitt soll dazu dienen, das Ineinandergreifen der zuvor beschriebenen Prozesse anhand der Entwicklung einer Fertigkeit zu verdeutlichen, die, bei genauerer Betrachtung, eine motorische Fertigkeit darstellt und über sensorisches Feedback bzw. Erfahrungen, genauso wie andere Bewegung, beispielsweise eine Armbewegung, gelernt wird (Lametti, Rochet-Capellan, Neufeld, Shiller, & Ostry, 2014). Die Besonderheit der Sprache liegt jedoch darin, dass neben den motorischen Fertigkeiten zur akustischen Wiedergabe/Produktion dieser, weitere implizite und deklarative Gedächtnisinhalte benötigt werden, wodurch der Komplex Sprache erst möglich wird (Friederici, 2012). Trotz der unterschiedlichen Anforderungen von Sprache an das Gehirn, erfolgt das Lernen dieser nicht getrennt voneinander.

Auch bei dem Erlernen von Sprache werden zunächst die Basiselemente, die sogenannten Phoneme, erlernt. Dies geschieht vor allem im ersten Lebensjahr. Durch den ständigen Einfluss von Sprache und den natürlichen Drang der Neugier beobachten Kleinkinder ihre Mitmenschen beim Sprechen, hören ihnen zu und versuchen sie zu imitieren, was sich in der typischen „Lallphase“ der Babys während des ersten 12 Monate ausdrückt. (vgl. Korte, 2009, S. 165) Sprache wird also ständig wahrgenommen, beobachtet und verarbeitet. (Kuhl, 2004) Phoneme stellen die kleinste Einheit von Lauten dar. Insgesamt existieren circa 70 Phoneme. Jede Sprache besteht aus einer gewissen Anzahl dieser Lauteinheiten. Englisch besteht aus 44, Italienisch aus 30 und Deutsch aus rund 40 Phonemen, um nur einige Beispiele zu nennen. (vgl. Spitzer, 2006, S. 69) Wie gezeigt werden konnten, sind Babys von der Geburt an für das Verstehen aller Phoneme sensibel. Das heißt sie können alle 70 Laute von einander unterscheiden. Erst mit fortschreitendem Alter – etwa mit 12 Monaten – schränkt sich diese Sensibilität zunehmend ein. Dies zeigt sich beispielsweise dadurch, dass es japanischen Kinder im Alter von 12 Monaten schwerer fällt die Laute „r“ und „l“ zu unterscheiden, als amerikanischen Kindern. (Kuhl, 2004). Wie Kuhl (2004) in ihrem Review beschreibt, können einsprachig aufgewachsene Babys in diesem Alter Laute der Muttersprache nachweislich besser unterscheiden, als Phoneme anderer Sprachen. Im Gegensatz dazu sind Kleinkinder, welche zwischen dem sechsten und zwölften Lebensmonat unter dem Einfluss von zwei Sprachen standen, in der Lage, alle Phoneme eben dieser zwei Sprachen zu

unterscheiden. Demzufolge wird auch bei Sprache zunächst das gelernt, was immer wieder, mit anderen Worten, besonders häufig respektive regelhaft geschieht. Mit Hilfe statistischer Häufigkeit werden nach dem Erlernen der Phoneme auch die ersten Wörter erkannt und in weiterer Folge erlernt. Hört man selbst beispielsweise einer Konversation zu, die in einer unbekannten Sprache geführt wird, ist die erste Hürde des Sprachverständnisses, die Wörter auseinanderzuhalten. So geht es zunächst auch einem Baby, welches tagtäglich unter dem Einfluss unzähliger Wörter steht. Durch diese vielen Erfahrungen entstehen, so Kuhl (2004), basierend auf statistischen Häufigkeiten, Wahrscheinlichkeiten von zusammenhängenden Wortsilben. Anhand dieser Wahrscheinlichkeiten werden die ersten Wörter gebildet und verstanden. Betrachtet man beispielsweise die englische Phrase „pretty baby“, so ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass der Silbe „pre“ die Silbe „ty“ folgt, anstatt dass der Silbe „ty“ die Silbe „ba“ folgt. Aufgrund dessen entsteht zwischen „pretty“ und „baby“ eine Leerstelle, wodurch diese Phrase als aus zwei Wörtern bestehend wahrgenommen wird und jedes Wort in sich und später im Zusammenhang verstanden werden kann. (vgl. Kuhl, 2004, S. 834)

Auch das Bilden allgemeiner Regeln, mit anderen Worten, das Bilden abstrakter Beziehungen oder Zusammenhänge von Objekten und/oder Fakten ist beim Erlernen von Sprache, genauer gesagt, ihrer Grammatik zu beobachten. Nach Marcus, Vijayan, Bandi Rao und Vishton (1999) beginnen Babys bereits im Alter von sieben Monaten, sich mit der allgemeinen Struktur des Satzes, der Grammatik, zu beschäftigen und diese anhand von Regeln zu generalisieren. Hierzu spielten die Wissenschaftler den Babys aus einem rechts oder links von ihnen montierten Lautsprecher Sätze mit drei einsilbigen Wörtern, zum Beispiel „wo fe wo“, vor und beobachteten dabei die Aufmerksamkeit der Kinder, gemessen anhand der Zeit, die die Kinder damit verbrachten, den Lautsprecher zu fokussierten, aus welchem der Satz gekommen war. Nach einigen Wiederholungen fingen die Kinder an sich zu langweilen, das heißt die Zeitspanne, in welcher sie den Lautsprecher mit dem neuen Satz fokussierten, nahm ab. Anschließend konnten die Wissenschaftler die Aufmerksamkeit der Kinder weder durch das Ändern der Wörter („li la li“) noch durch einen anderen Sprecher (hohe Stimme, tiefe Stimme) oder das variieren von stimmhaften und stimmlosen Silben („ba pa ba“) zurückgewinnen. Erst nachdem sie die Struktur des Satzes von ABA („wo fe wo“) auf ABB („wo fe fe“) änderten, wurden die Kinder wieder aufmerksam, schauten also länger hin. Marcus et al. (1999) schlussfolgerten daraus, dass die Kinder die Regel „auf A folgt B und wieder A“ erkannt und generalisiert, und daher alle folgenden Veränderungen, die nicht in die Struktur des Satzes eingegriffen hatten, für allgemein gleich und damit für uninteressant befunden haben mussten. Erst etwas völlig neues, das Ändern der regelhaften Struktur der Sätze,

machte die Kleinkinder wieder neugierig, wodurch gezeigt werden konnte, dass diese Kinder die simple Grammatik dieser Sätze gelernt hatten. Dass auch komplexere Grammatik aufgrund abstrakter Regeln gelernt wird, veranschaulicht Spitzer (2006) aufgrund der Annahme, dass sich eine Regel, wenn sie gelernt wurde, dadurch nachweisen lässt, dass man sie auch auf neue Dinge anwenden kann. Als Beispiel nennt er die Regel der deutschen Grammatik, welche besagt, dass „Verben, die auf „-ieren“ enden, das Partizip Perfekt ohne „ge“ [am Anfang] bilden“ (S.59) Geht man diese Regel an einigen Beispielen durch, wird offensichtlich, dass jeder deutschsprachige Mensch diese Regel kann, auch wenn man sie nicht weiß bzw. formulieren kann. Man hat sich die Haare geschnitten, aber den Bart rasiert (nicht ge-rasiert) und auch die Handtasche verloren (nicht ge-verloren), aber am nächsten Tag noch rechtzeitig gefunden. Um zu beweisen, dass es ganz offensichtlich die Regel ist, die gelernt wurde, beschreibt Spitzer (2006) eine Geschichte, in welcher Zwerge quangen. Am darauf folgenden Tag treffen sich die Zwerge wieder und sagen zueinander: „Gestern war es doch richtig schön; endlich wurde mal wieder ordentlich gequangt.“ Im weiteren Verlauf der Geschichte schmuffieren die Zwerge bei einem Vortrag, treffen sich ein weiteres Mal am nächsten Tag um in Erinnerungen zu schwelgen, wobei einer der Zwerge sagt: „Endlich haben wir mal wieder schmuffiert.“ (vgl. Spitzer, 2006, S. 76f) Hiermit verdeutlicht Spitzer (2006) auf sehr einfache Art und Weise, dass sich eine gelernte Regel auf unbekannte Dinge anwenden lässt, selbst wenn, wie in dem vorangegangenen Beispiel, Verben konjugiert werden müssen, die nicht existieren. Würde jede Konjugation eines Verbes einzeln abgespeichert werden, wäre es nicht möglich quangen und schmuffieren zu beugen, da diese Wörter in der deutschen Sprache nicht existieren und man diese, einschließlich ihrer konjugierten Formen, somit nicht gewusst hätte. (Spitzer, 2006) Ein bedeutendes Problem beim Aufstellen und Befolgen von Regeln ist, dass jede Regel gewisse Ausnahmen hat. Ein sehr prägnantes und oft exemplarisch für das System Sprache herangezogene Beispiel stellt das „past tense“ im Englischen dar, da diese Zeitform sowohl regelhaftes, als auch Ausnahmen dieser Regel enthält. So wird regelmäßigen Verben die Endung „-ed“ angehängt (to call – called), während unregelmäßige Verben eigene Vergangenheitsformen besitzen (to bring – brought; to run – ran) (Westermann, 2016) Auch im deutsche Präteritum wird zwischen regelmäßigen (kaufen – kaufte) und unregelmäßigen Verben (laufen – lief) bei der Konjugation unterschieden. Um diese Regel und ihre Ausnahmen zu erlernen, können bei Kinder folgende Stadien beobachtet werden. Zu Beginn verwenden sie häufig gebrauchte und vor allem unregelmäßige Verben, wie „ich bin“ oder „ich gehe“ und lernen deren Verwendung im Präteritum (ich war; ich ging) durch das Kopieren und Imitieren ihrer Mitmenschen. Im

nächsten Stadium erkennen sie durch das Verwenden verschiedenster Verben bzw. kopieren derer Vergangenheitsformen die Regel für die regelmäßigen Verben und beginnen, diese Regel auf alle Verben anzuwenden. In dieser Phase kann man verschiedenste Fehler, wie „singte“, „sangte“ oder „laufte“ beobachten. Durch diese Fehler und die damit verbundenen Korrekturen erreichen die Kinder das dritte Stadium, in welchem sowohl regelmäßige, als auch unregelmäßige Verben konjugiert werden können. (Spitzer, 2006) Im Englischen lässt sich ein ähnlicher Lernprozess nachvollziehen, so Westermann (2016). Wie sich zeigen lässt, ist die Fehlerquote der häufiger verwendeten Verben deutlich geringe, als jene der weniger stark frequentierten. Auch eine „Überkonjugierung“, also das Vermischen von regelmäßigen und unregelmäßigen Konjugationen, wie „comed“ oder „eated“, lässt sich beobachten. Wie Westermann (2016) jedoch weiter zeigt, ist es auf neurologischer Ebene eben genau dieser Umgang mit den verschiedensten regelmäßigen und unregelmäßigen Wörtern, die helfen, neurologische Netzwerke zu knüpfen und zu adaptieren. Die durch den Umgang mit verschiedenen Wörtern entstehende Variation führt dazu, dass sowohl phonologische Muster, wie „sing – sang“ und „ring – rang“, als auch empirische Häufigkeiten zu erfahrungsabhängigen, strukturellen Entwicklungen und den damit verbundenen Regeln führen. (Westermann, 2016)

3.5 Was gelernt wird

Wie bereits in den vorherigen Kapiteln ausführlich erläutert, findet lernen statt, wenn Erfahrungen gemacht werden und sich aufgrund dessen die Synapsen der Neuronen langsam ändern. Was aufgrund dieser Veränderungen jedoch gelernt wird, soll in diesem Abschnitt noch einmal konkretisiert werden.

Durch jede Erfahrung werden die synaptischen Verbindungen ein klein wenig stärker. Aus diesem Grund verblässend die meisten Eindrücke nach einiger Zeit, ohne dass man sich nochmals an sie erinnert. Betrachtet man beispielsweise eine Banane und versucht sich im Detail an die letzte oder vorletzte Banane zu erinnern, welche man gegessen hat, wird dies sehr schwer fallen. Dieses Wissen wäre zudem auch völlig nutzlos, da nicht das explizite Wissen um die letzte Banane hilft, die jetzige Banane richtig zu essen bzw. zu verarbeiten, sondern das allgemeine Wissen um Bananen Aufschluss darüber gibt, wie man diese isst, dass braune Bananen süßer sind als grüne, oder dass sie auch mit Schokolade überzogen sehr gut schmecken. Dieses Wissen über Banane wurde gelernt, gerade weil man schon sehr viele Banane gesehen und gegessen hat und es die allgemeinen Merkmale waren, die im Gedächtnis abgespeichert wurden. (Spitzer, 2006) Auf neurologischer Ebene bedeutet dies, dass eine

neuronale Repräsentation nicht für jede Banane, sondern für alle Bananen angelegt wird. Mit jeder weiteren Banane, die man isst oder verarbeitet, werden neue Erfahrungen gemacht. Diese wiederum bewirken eine kleine Änderung der neuronalen Repräsentation, wodurch sich die Repräsentation in ihrer „Architektur“ minimal ändert und sich folglich das allgemeine Wissen über Bananen optimiert. (Westermann, 2016) Dies trifft auch auf die Grammatikbeispiele des vorangegangenen Kapitels zu.

Der Mensch bzw. das menschliche Gehirn besitzt die Fähigkeit, Erfahrungen und Eindrücke zu verallgemeinern (Gerken, Dawson, Chatila, & Tenenbaum, 2015) und anhand dessen Kategorien zu bilden, die dazu beitragen, effizientes und zielorientiertes Denken zu ermöglichen (Maddox & Ashby, 2004) und gleichzeitig Platz zu sparen (Spitzer, 2006). Wie durch das Beispiel der Bananen angedeutet, wäre es ineffizient, sich jede einzelne Banane und ihre Eigenschaften zu merken, da es für eine „effiziente Verarbeitung“ der nächsten Banane ausreichend ist, das allgemeine Wissen der Kategorie „Bananen“ abzurufen. Betrachtet man die Regel der Partizipien im Perfekt ohne „ge-“ am Anfang in Bezug auf Verben, welche die Endung „-ieren“ aufweisen, steht dasselbe Prinzip dahinter. Das allgemeine Wissen um Verben, die auf „-ieren“ enden, hilft, um jedes Verb richtig zu beugen, welches auf „-ieren“ endet. Hierdurch wird vermieden, dass man sich jede einzelne Konjugation jedes einzelnen Verbes merken muss, was wiederum Gehirnkapazität spart und den alltäglichen Gebrauch effizienter macht. Zum Erwerb dieser allgemeinen Prinzipien bzw. Regeln bedarf es Beispielen (Spitzer, 2006), also Erfahrungen respektive Inputs, auf welche diese Regeln zutreffen (Gerken & Quam, 2017). Dabei entscheidet nicht die Quantität, sondern die Qualität der Beispiele, wie schnell ein Muster erkannt und generalisiert werden kann (Rowe, Leech, & Cabrera, 2017). Wie gezeigt werden konnten, kann bereits eine einzelne Erfahrung ausreichen, um den Prozess der Generalisation und damit die Produktion einer neuen Regel anzuregen, wenn diese „überraschend“ von bereits bekannten Mustern, Kategorien oder Regeln abweicht (Gerken et al., 2015). Um diese Abweichung in weiterer Folge zu festigen und als neue Regel respektive neues Muster oder neue Kategorie zu etablieren, bedarf es nur weniger, jedoch sehr markanter Beispiele (Gerken & Quam, 2017). Diese sollten in ihrer Anwendung variieren, da gleiche Beispiele einen weitaus geringeren Lernzuwachs aufweisen (Rowe et al., 2017). Sie müssen jedoch repräsentativ für die darzustellende Hypothese bleiben, da zu hohe Variation in den Beispielen für Verwirrung sorgen kann. Dies kann wiederum zur Folge haben, dass nicht das gelernt wird, was man lernen wollte (Gerken & Quam, 2017). Neben der Art und Anzahl der Beispiele, ist auch die Intensität, mit welcher neues

Wissen verarbeitet wird, entscheidend dafür, was gelernt wird (Fliessbach, Buerger, Trautner, Elger, & Weber, 2010). Untersuchungen von Otten, Henson und Rugg (2002) zeigen anhand eines Experiments, dass man sich eher an die Dinge erinnert, mit denen man sich tendenziell mehr, also intensiver, auseinandersetzen musste. In ihrem Beispiel mussten Probandinnen und Probanden entweder eine Aussage darüber treffen, ob das ihnen gezeigte Wort eine gerade bzw. ungerade Anzahl an Silben (nicht-semantische Gedächtnisleistung) aufwies oder ob es belebt bzw. unbelebt war (semantische Gedächtnisleistung). Gleichzeitig wurde durch bildgebende Verfahren die Gehirnaktivität der Probandinnen und Probanden während der Aufgabenbewältigung beobachtet. Hierbei konnte festgestellt werden, dass die Gehirnaktivität höher war, das heißt mehr Gehirnareale gleichzeitig aktiv waren, wenn die Frage nach belebt oder unbelebt gestellt wurde, im Vergleich zu der Frage nach der Silbenanzahl. Anschließend wurden alle untersuchten Personen nochmals, jedoch unerwartet, darauf getestet, an welche Wörter sie sich noch erinnern konnten. Übereinstimmend mit der höheren Hirnaktivität konnten sich die Probandinnen und Probanden häufiger an die Wörter erinnern, welche mit der Aufgabenstellung belebt oder unbelebt zu beantworten gewesen waren. Die Autoren konnten somit einen direkten Zusammenhang zwischen der höheren Gehirnaktivität bei der Verarbeitung und dem Erinnerungsvermögen nachweisen. Fliessbach et al. (2010) untermauern diese Annahme, indem sie, auf Grundlage der Ausführungen von Otten et al. (2002) und anderen Arbeiten, die vorgestellten Untersuchungen noch erweitern. Auch in ihrer Untersuchung bekamen die Probandinnen und Probanden verschiedenste Wörter gezeigt und mussten, je nach Aufgabenstellung, eine Aussage darüber treffen, ob der erste und letzte Buchstabe des Wortes in alphabetischer Reihenfolge war (nicht-semantische

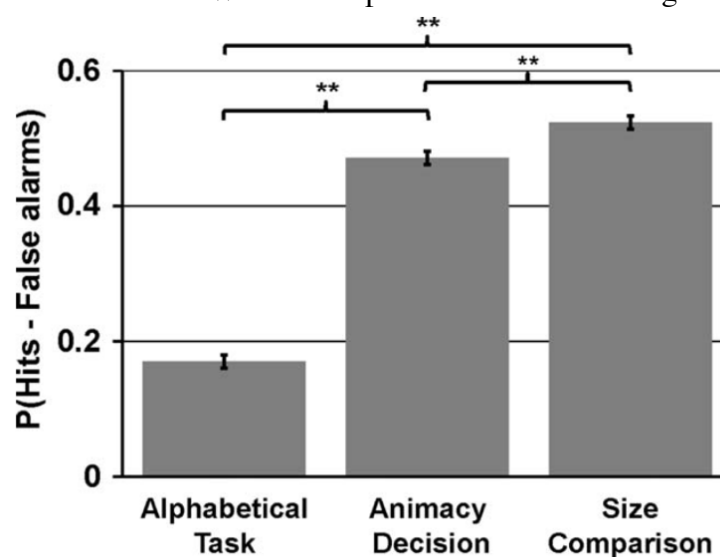


Abb. 8: Gedächtnisleistung. Prozentualer Anteil sicher erkannter Wörter. (Fliessbach et al., 2010, S. 1656)

Gedächtnisleistung), oder das Wort belebt oder unbelebt war (semantische Gedächtnisleistung). Auch hier wurde wieder die Gehirnaktivität durch bildgebende Verfahren beobachtet. Zusätzlich wurde jedoch eine weitere semantische Aufgabenstellung hinzugefügt. In der dritten Aufgabe wurden die zu untersuchenden Personen gebeten, eine Aussage darüber zu treffen, ob das, was das Wort beschreibt größer oder kleiner als ein Schuhkarton ist. Wie die Autoren vermuteten, mussten die Probandinnen und Probanden aufgrund dieser Frage nicht nur abstrakt mit dem Gegenstand umgehen, sondern ihn sich auch visuell vorstellen und vergleichen. Aufgrund der visuellen Verarbeitung, so Fliessbach und Mitarbeiter (2010), sollte ein weiteres Gehirnareal aktiv an der Verarbeitung des Wortes beteiligt sein, wodurch auch die Gehirnaktivität und folglich die Verarbeitungstiefe intensiviert werden würde. Genau dies konnte bestätigt werden. Während der Aufgabenstellung mit Größenvergleich konnte bei den Probanden und Probandinnen die höchste Gehirnaktivität festgestellt werden. Außerdem konnten sich die getesteten Personen am besten an die so verarbeiteten Worte erinnern (siehe Abb. 8). Wie Fliessbach et al. (2010) damit bestätigen, ist es letztendlich die Verarbeitungstiefe, die beeinflusst, was gelernt wird.

3.6 Die Lerngeschwindigkeit

Was Wissenschaftler wie Diwadkar et al. (2016) oder auch Seidler et al. (2010) in den letzten Jahren deutlich feststellen konnten ist, dass sich die kognitive Leistungsfähigkeit und die Geschwindigkeit, mit welcher Neues erlernt werden kann, mit zunehmendem Alter reduzieren. Diese Erkenntnisse gehen mit der Tatsache einher, dass das strukturelle Volumen des Gehirns mit zunehmendem Alter nachweislich abnimmt. Solche Veränderungen sind in erster Linie auf die Abnahme der Neuroplastizität zurückzuführen. (Morrison & Baxter, 2012) So konnten Diwadkar und Mitarbeiter (2016) beispielsweise einen direkten Zusammenhang zwischen der altersabhängig, reduzierten Leistung bei assoziativem Lernen und der altersinduzierten Reduktion des Volumens bestimmter Gehirnareale zeigen. Lundborg und Rosén (2001) stellten diese eben geschilderten Tatsachen bereits vor mehr als zehn Jahren anhand zweier Beispiele dar, die aus zwei völlig verschiedenen Themenbereichen kommen, jedoch die selbe Aussage illustrieren. Das erste Beispiel betrifft die Handchirurgie. Hierbei untersuchten die Autoren den Tastsinn von 54 Patienten zwischen 4 und 72 Jahren, nachdem sich diese aufgrund der handgelenksnahen Durchtrennung des medianen oder ulnaren Nervs der Hand einer Operation des benannten Nervs unterziehen mussten (vgl. Lundborg & Rosén, 2001, S. 809). Das Hauptproblem einer solchen Behandlung ist es, dass man einen durch-

trennten Nerv zwar zusammennähen kann, dieser jedoch nicht mehr zusammenwächst (Spitzer, 2003). Stattdessen wächst der Nerv vom Punkt der Durchtrennung entlang der alten Nervenfasern in Richtung Zielorgan, in diesem Falle die Hand, erneut aus (Lundborg & Rosén, 2001). Ist der Nerv vollständig ausgewachsen und hat somit auch die Mechanorezeptoren, welche für die Aufnahme der taktilen Reize zuständig sind, erreicht, ist der Tastsinn jedoch immer noch nicht wiederhergestellt. Das Problem besteht darin, dass die Nerven die taktilen Reize zwar an den somatosensorischen Kortex übermitteln, die Orte (von welchen die Impulse ausgesendet wurden) aber nicht mehr mit den alten Repräsentationen im somatosensorischen Kortex übereinstimmen. Der Grund dafür liegt darin, dass die Nerven nicht nach dem alten Schema gewachsen sind, sondern sich lediglich an den alten Bahnen orientiert haben, Verzweigungen somit auch vertauscht sein können. (Spitzer, 2003) Die untersuchten Personen musste aufgrund dessen in ihrem somatosensorischen Kortex umlernen. Zwei Jahre nach der Operation wurden die Patientinnen und Patienten erneut untersucht, wobei die Regeneration des Tastsinns der betroffenen Hand ermittelt wurde. Diese wurden anschließend in Abhängigkeit des Alters der Probandinnen und Probanden verglichen (Abb. 9, links) Wie dabei klar ersichtlich wurde, war der Tastsinn bei Zehnjährige nach zwei Jahren fast vollständig regeneriert. Mit anderen Worten war das Umlernen nach zwei Jahren so gut wie abgeschlossen. Im Vergleich hierzu konnte bei Achtzehnjährigen lediglich eine Wiederherstellung des normalen Tastsinns von ca. 50% festgestellt werden. Kinder im Alter von 10 Jahren konnten demnach fast doppelt so schnell umlernen, wie junge Erwachsene. (Lundborg & Rosén, 2001) Das zweite Beispiel, welches Lundborg und Rosén (2001) anführen, wurde bereits erstmals ein Jahr zuvor von Barinaga, M. (2000) publiziert und basiert

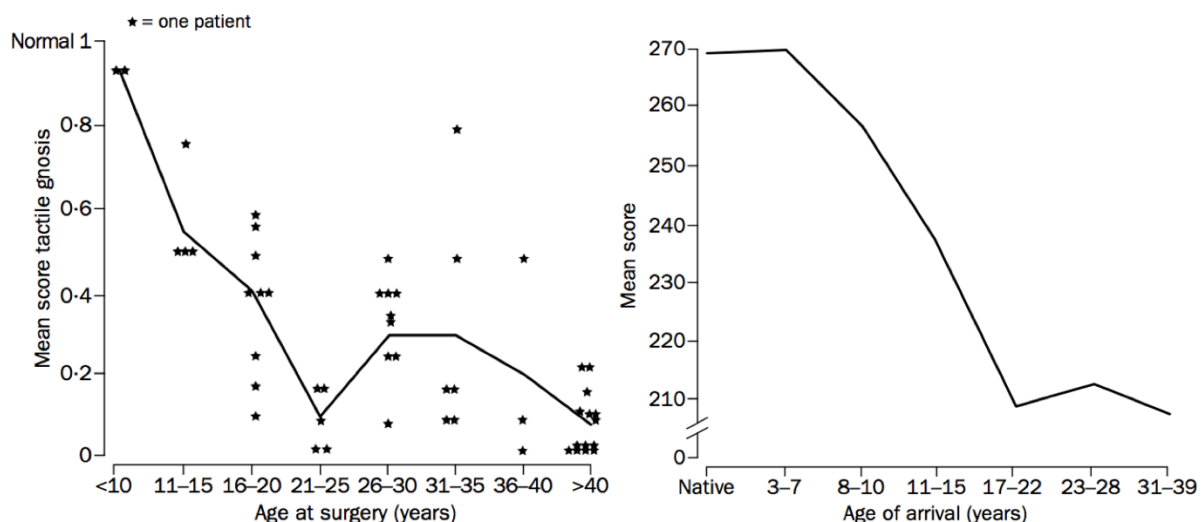


Abb. 9: Die Lerngeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Alter (Lundborg & Rosén, 2001, S. 809)
 Links: der Fortschritt der Regeneration des Tastsinns nach zwei Jahren in Abhängigkeit vom Alter, Rechts: das Abschneiden eines Grammatiktests in Abhängigkeit von dem Alter der Einwanderung in die USA

auf den Daten von Johnson und Newport (1989), welche 46 Probandinnen und Probanden mit koreanischer oder chinesischer Muttersprache und, aufgrund eines Wohnsitzwechsels zwischen dem 3. und 39. Lebensjahr, englischer Zweitsprache untersuchten. Bei den Untersuchungen testeten Johnson und Newport (1989) diese Personen mit Hilfe eines Grammatiktests auf deren englische Sprachfähigkeit in Abhängigkeit vom Alter ihrer Einwanderung, mit dem Ergebnis, dass die im Kindesalter zugezogenen Probandinnen und Probanden wesentlich besser abgeschnitten hatten, als die später eingewanderten. Dieses Ergebnis, welches von Barinaga, M. (2000) illustriert wurde, stellten Lundborg und Rosén (2001) ihren Untersuchungen bezüglich des Tastsinns gegenüber (Abb. 9). Vergleicht man die beiden Kurven miteinander, so die Autoren, lässt sich, trotz der unterschiedlichen Thematiken, ein gemeinsames Muster erkennen. Dieses Muster lässt sich als Indiz für die allgemeine und rapide Reduktion der Lerngeschwindigkeit mit zunehmendem Alter interpretieren (Lundborg & Rosén, 2001; Spitzer, 2003).

Doch welchen biologischen Sinn macht dieser dramatische Abfall der Lerngeschwindigkeit? Und wie ist es vor diesem Hintergrund möglich, dass der derzeitige Altersdurchschnitt der erfolgreichsten Frauen und Männer, beispielsweise in der Finanzbranche der Wirtschaft, bei 53 liegt (Samanez-Larkin, 2013)? Unbestritten gibt es, verursacht durch die Veränderung der Lerngeschwindigkeit, verschiedene Stadien im Leben eines lernenden Menschen. Wenn es gelingt, den Sinn hinter diesen Stadien zu verstehen, ist es möglich, durch den richtigen Input zur richtigen Zeit, das Optimum für jedes Individuum zu erreichen. (Ghisletta, Kennedy, Rodrigue, Lindenberger, & Raz, 2010) Eine Erklärung für die unterschiedlichen Stadien der Lerngeschwindigkeit bietet Spitzer (2003) und unterstreicht seine Lösung mit folgendem Beispiel: So stelle man sich vor, man sei in einen Wald hineingeborgen. In diesem gebe es nur Beeren, die Zucker und ein wenig Gift enthielten. Um nicht zu verhungern, müsse man nun lernen, sich von diesen Beeren zu ernähren, das heißt so viele Beeren zu essen, dass man satt, jedoch nicht vergiftet werden würde. Diese Zahl setzt Spitzer (2003) bei 17 an. Weiter erläutert der Autor, dass man nun beispielsweise Beeren finde und 12 davon esse. Bald darauf würde man wieder Hunger bekommen, weswegen man beim nächsten Mal 35 Beeren essen und sich aufgrund der Überdosis den Magen verderben würde. Ein weiteres Mal isst man dann 25 Beeren und wieder wird einem schlecht, jedoch nicht mehr so stark wie bei den 35 Beeren. Mit immer kleiner werdenden Schritten könne man sich so an den wahren Wert 17 herantasten (vgl. Spitzer, 2003, S. 39). Was Spitzer (2003) anhand die-

ses Beispiels verdeutlicht ist, dass Lernen immer wieder bedeutet, einen wahren Wert abzuschätzen, den man nicht kennt. Würde man immer in großen Schritten lernen, so würde man sich ständig um den wahren Wert herumbewegen, ihn aber niemals finden. Selbst wenn man ihn mal gefunden hat, ist der nächste Schritt wieder so weit davon entfernt, dass man die vorherige günstige Erfahrung wieder verlernt. Bewegt man sich in sehr kleinen Lernschritten auf das Ziel zu, dauert es sehr lange bis man den wahren Wert ermittelt. Ist man zu Beginn sehr weit von ihm entfernt, findet man ihn eventuell nie. Aufgrund dessen ist die Abnahme der Lerngeschwindigkeit mit fortschreitendem Alter kein pathologisches Problem, sondern „das Ergebnis eines Optimierungsprozesses, der zwei gegenläufige Prinzipien vereint“. (Spitzer, 2003, S. 39) Daher lernen jüngere Menschen schnell und können sich hervorragend an verschiedenste Bedingungen anpassen, während ältere Menschen langsamer, dafür wesentlich genauer und nachhaltiger lernen können. (Spitzer, 2003) Das schnelle, anpassungsfähige Lernen wird somit durch das genaue, nachhaltige Lernen abgelöst, womit auch Samanez-Larkin (2013) sein zu Beginn des Kapitels thematisiertes Phänomen des hohen Altersdurchschnitts erfolgreicher Frauen und Männer in der Wirtschaft begründet. Wie Samanez-Larkin (2013) darstellt, sind junge Menschen zwischen 20 und 30 eher dazu bereit, risikobehaftete, kurzfristige Entscheidungen, begründet durch kürzlich erworbenes Wissen, zu treffen, während älter Frauen und Männer, basierend auf zunehmender Erfahrung, eher dazu neigen, langfristige, weniger risikoreiche Entscheidungen zu befürworten. Gemeinsam mit Datenerhebungen von Agarwal, Driscoll, Gabaix und Laibson (2009) kommt Samanez-Larkin (2013) zu der Schlussfolgerung, dass Situationen, welche möglichst ambivalente Eigenschaften erfordern, besser durch junge Menschen gelöst werden können. Situationen, in welchen Erfahrung und ausgereifte Fertigkeiten gefragt sind, lösen Personen im höheren Alter wesentlich besser. Zu dem Zeitpunkt, an welchem sich Anpassungsfähigkeit, erlerntes Wissen, Risikobereitschaft und Erfahrung einander ergänzen, entsteht die beste und erfolgreichste Performance (Abb. 10).

Die ersten Jahre des Lebens dienen daher der schnellen Aufnahme von Wissen und dem Anlegen vieler neuer Strukturen im Gehirn. Diese Strukturen können dann nachweislich durch Erfahrungen geformt werden (Westermann, 2016). Hierzu muss jedoch die Lerngeschwindigkeit drastisch reduziert werden, um zum einen bereits erworbenes Wissen nicht wieder zu Vergessen und zum anderen das erworbene Wissen mit Hilfe immer kleinerer

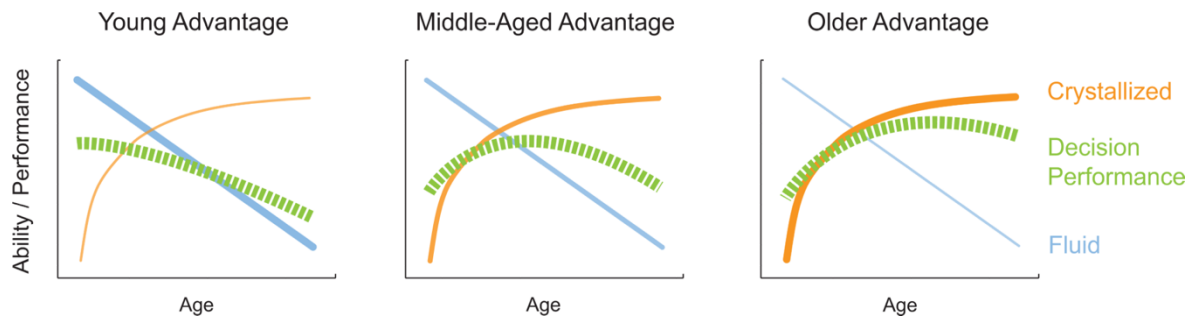


Abb. 10: Die Abhängigkeit der Entscheidungs-Performance von schnellem, ambivalentem Lernen vs. erfahrungsorientiertem Wissen (Samanez-Larkin, 2013, S. 31)

Links: bei Entscheidungen, welche flexibles Lernen in neuen Situationen (Fluid) erfordern, profitieren junge Menschen; Rechts: bei Entscheidungen, welche auf Wissen und Erfahrung (Crystallized) basieren, profitieren ältere Menschen

Lernschritte und aufgrund von Erfahrungen zu formen und zu spezialisieren. Mit Hilfe vorhandener Strukturen und neuen, ähnlichen Erfahrungen kann so auch noch im hohen Alter Neues erlernt werden (Westermann, 2016). Die Konsequenz die sich daraus für die ersten Lebensjahre und damit auch für die Schulzeit ergibt, formuliert Korte (2009) wie folgt: „Wer seinen Kindern viel beibringt, ermöglicht ihnen, leichter Assoziationen zu neuem Wissen herzustellen [...]. Wer bereits viel weiß, lernt leichter und schneller Neues.“ (S.68)

3.7 Fazit

Wie gezeigt werden konnte, beginnt Lernen bereits vor der Geburt, also ab dem Zeitpunkt, ab dem es möglich ist, die Umwelt wahrzunehmen. Jede Wahrnehmung mündet in einer Erfahrung, welche das Verhalten des Menschen ändern kann. Wird aufgrund von Erfahrung Verhalten adaptiert, spricht man von Lernen. Durch die sukzessive Entwicklung des Gehirns nach der Geburt und die damit verbundene, schrittweise Myelinisierung der Nervenzellen wird sichergestellt, dass aus den unzähligen Sinneseindrücken zunächst nur die wichtigsten Informationen herausgefiltert werden. Aus diesem Grund ist es Kleinkindern möglich, zunächst nur die einfachsten, grundlegenden sensorischen, motorischen und kognitiven Dinge zu erlernen und erst mit zunehmender Entwicklung immer komplexere Strukturen im Gehirn anzulegen und folglich anspruchsvollere Situationen zu bewältigen. In weiterer Folge wurde gezeigt, dass der Mensch bereits im Kleinkindalter die Fähigkeit besitzt, durch die Prozesse des eigenen Erforschens, dem Ausprobieren von Dingen, dem Beobachten und dem Imitieren Schlussfolgerungen bezüglich der Eigenschaften von Subjekten und Objekten zu ziehen. Anhand dieser Schlussfolgerungen und der daraus entstehenden Mustererkennung werden ähnliche Einzelfälle für die lernende Person generalisierbar. Durch weitere für die Kategorien bzw. Muster repräsentative Beispiele werden im folgenden Verlauf des Lernprozesses

die allgemeinen Regeln hinter den ähnlichen Einzelfällen begriffen und in weiterer Folge erlernt. Dieses so generierte, allgemeine Wissen – man spricht auch vom impliziten Wissen – dient dazu, effizientes und zielorientiertes Denken zu ermöglichen, da allgemeine Regeln auch auf neue, ähnlich Sachverhalte angewendet werden können, wie anhand mehrerer Beispiele gezeigt werden konnte. Neben diesen Lernprozessen wurde dargestellt, dass die Verarbeitungstiefe einen deutlichen Einfluss darauf hat, was gelernt wird. Je mehr kortikale Gehirnareale an der Verarbeitung eines Sachverhaltes beteiligt sind, desto wahrscheinlicher ist es, dass dieser im Vergleich zu weniger intensiv verarbeiteten Dingen gelernt wird. Abschließend wurde ein weiteres, wesentliches Prinzip des Lernens, welches der Prozessoptimierung dienlich ist, erläutert – die Lerngeschwindigkeit. Durch die zu Lebensbeginn hohe Lerngeschwindigkeit werden zunächst die grundlegenden Fähigkeiten und Fertigkeiten in groben Strukturen im Gehirn angelegt. Je mehr Erfahrungen ein Kind in dieser Zeit sammeln kann, desto mehr grundlegende Strukturen können im Gehirn angelegt werden. Erst mit der altersinduzierten, drastischen, neurologischen Abnahme der Lerngeschwindigkeit, werden diese grob angelegten Strukturen durch kleinere Lernschritte mit Hilfe weiterer Erfahrungen präzisiert und optimiert.

Es gilt also zunächst ein breites sensorisches, motorisches und kognitives Angebot für Kinder zu schaffen und ihnen die Möglichkeit zu geben, die Dinge auch zu „begreifen“. Man sollte sich daher nicht zu früh auf Spezialisierung konzentrieren. Denn spezialisiert kann nur werden, was zuvor geschaffen wurde.

4 Wie unser Lernen beeinflusst wird

Die vorangegangenen Kapitel stellen Lernen, aus neurobiologischer Sicht, sehr deutlich als einen Prozess dar, der rein schematisch immer gleich abzulaufen scheint. Durch wiederkehrende Erfahrungen werden synaptische Verbindungen zwischen Neuronen geknüpft und verändert. Durch diese Verbindungen entstehen Netzwerke von Neuronen, die das gelernte Wissen bzw. gelernte Fertigkeiten repräsentieren und in weiterer Folge durch deren Aktivierung genutzt werden können. Trotzdem gibt es viele Situationen, in welchen dieser Prozess scheinbar nicht oder nur sehr schwer funktioniert. Auch kann man tagtäglich in den Schulen beobachten, dass Schülerinnen und Schüler, obwohl sie den gleichen Unterricht besuchen, nicht alle gleich schnell bzw. gleich gut lernen. In diesem Zusammenhang wird oft von mangelnder Konzentration der Schülerinnen und Schüler gesprochen. Weitere Situationen, die diesen scheinbar simplen Prozess des Lernens in Frage stellen, sind sogenannte „Black-outs“ in Prüfungssituationen. Am Vorabend beherrschte man den Lernstoff noch ohne Probleme. Am nächsten Tag in der Prüfung kann man sich auf einmal an nichts mehr erinnern, obwohl man den Lernstoff so oft wiederholt hat. Ein extremes Gegenteil zu dieser Situation stellt ein besonders lustiges Erlebnis dar, an das man sich auch noch nach vielen Jahren genau erinnern kann, obwohl man es nur einmal erlebt hat. Diese und viele andere Beispiele aus dem Alltag eines jeden Menschen werfen die Frage auf, warum der in seiner Grundstruktur so einfache neurobiologische Prozess des Lernens so unterschiedliche und vor allem individuelle Ergebnisse hervorbringt? Ganz offensichtlich scheint es Faktoren zu geben, die den Lernprozess ganz massiv beeinflussen können. Laut Autoren wie Spitzer (2006), Korte (2009), LaBar und Cabeza (2006), Okada et al. (2011), Sosic-Vasic, Z., Kreis, O., Lau, M., Spitzer, M. und Streb, J. (2015) oder Suades-González et al. (2017) nehmen vor allem Aufmerksamkeit, Emotionen und Motivation entscheidenden Einfluss auf den Lernerfolg. Das folgende Kapitel befasst sich auf Grund dessen mit diesen wichtigsten Einflussfaktoren und deren sowohl positiven, als auch negativen Konsequenzen für das Lernen. Im weiteren Verlauf wird außerdem der Einfluss von Bewegung thematisiert.

4.1 Aufmerksamkeit

Aufmerksamkeit stellt die Basisfunktion für komplexe Denkvorgänge im menschlichen Gehirn dar. Sie ist es, die es dem Menschen ermöglicht, die Umwelt wachsam zu betrachten, ganz bestimmte Reize zu fokussieren und sie aufgrund dessen wahrzunehmen. (Suades-González et al., 2017) Neurobiologisch betrachtet wird die Aufmerksamkeit nach Posner und Petersen (1990) in drei sich sowohl funktional, als auch anatomisch unterscheidende

Netzwerke eingeteilt: die Vigilanz, die exekutive Aufmerksamkeit und die selektive Aufmerksamkeit.

Die Vigilanz stellt hierbei den allgemeinen Grad der „Wachheit“, im Extremfall von hellwach bis komatös, dar. Sie ist örtlich unbestimmt und lässt sich eindimensional im Sinne von Anstieg bzw. Abfall der Aufmerksamkeit darstellen. Eine Erhöhung der Vigilanz tritt hierbei aufgrund eines zeitlich früheren Reizes ein, der jedoch auch unabhängig von dem wahrzunehmenden Stimulus sein kann. Beispielsweise ist man bei einer Unterscheidungsaufgabe von Buchstaben schneller, wenn kurz vor Beginn dieser Aufgabe ein Tonsignal ertönt. Auch wenn das Signal in keinerlei Zusammenhang mit den zu unterscheidenden Reizen steht, erhöht es dennoch die allgemeine Verarbeitungsbereitschaft, wodurch die Bearbeitung der folgenden Reize beschleunigt wird. (Spitzer, 2006, S. 142) Die Erhöhung der Vigilanz hat folglich eine Steigerung der Leistungsfähigkeit und somit des Lernvermögens zur Folge. Ein zu hohes Maß an Erregung, Aufregung beispielsweise, kann sich jedoch negativ auf die Vigilanz auswirken, wodurch die Leistungsfähigkeit abnimmt. (Korte, 2009)

Ein weiteres funktionelles Netzwerk der Aufmerksamkeit stellt die sogenannte „executive attention“ (exekutive Aufmerksamkeit) dar. Sie ermöglicht es, die Aufmerksamkeit bei mehreren dargebotenen und, gegebenenfalls, konkurrierenden Reizen zu kontrollieren und so auf den relevanten Reiz zu fokussieren. Außerdem ist dieses Netzwerk aktiv, wenn über eine mögliche Problemlösung nachgedacht wird. (Rueda, Rothbart, McCandliss, Saccomanno, & Posner, 2005)

Durch die selektive Aufmerksamkeit wird die Fokussierung ganz bestimmter Sachverhalte im Wahrnehmungsfeld möglich. (Suades-González et al., 2017) Dieser Vorgang ist jedoch keinesfalls ein passiver. Er ist vielmehr ein aktiver Prozess, bei dem die relevanten Reize aus einer Unmenge von Reizen herausgefiltert und verarbeitet werden. Die selektive Aufmerksamkeit stellt damit die Fähigkeit dar, während einer wahrzunehmenden Situation einen bestimmten Stimulus bevorzugt zu behandeln. (Korte, 2009) Ein Beispiel hierfür stellt das Autofahren dar. Hierbei achten wir auf die Bewegung eines sich nähernden Fahrzeuges im Rückspiegel, die rote Ampel vorne rechts und das Kind, welches links am Zebrastreifen steht. Andere für das Autofahren irrelevante Reize, welche Farbe die Hose des Kindes hat oder wie viele Insassen in dem herannahenden Fahrzeug sitzen beispielsweise, nehmen wir nur flüchtig oder gar nicht wahr. (Spitzer, 2006) Bereits Posner (1990) verwendet die Analogie eines Scheinwerfers, um die selektive Aufmerksamkeit zu beschreiben und auch Spitzer (2006) greift diese wieder auf. Demnach ist es der selektiven Aufmerksamkeit zu einem

bestimmten Zeitpunkt nur möglich, einen visuellen Reiz zu fokussieren. Das bedeutet, es ist nicht möglich, gleichzeitig einen Punkt im Wahrnehmungsfeld rechts oben und einen weiteren links unten zu fixieren. Es besteht lediglich die Möglichkeit, zwischen diesen beiden Punkten schnell hin und her zu wechseln. Möglich ist es aber, so Spitzer (2006) weiter, den „Durchmesser des Scheinwerfers“ zu variieren, was jedoch „von den Anforderungen an das System und damit von der Wahrnehmungsaufgabe“ (S.143) abhängt. Wie Kastner, De Weerd, Desimone und Ungerleider bereits 1998 mit Hilfe bildgebender Verfahren zeigen konnten, variiert die Scheinwerfergröße aufgrund kortikalen Areale, in welchen die Informationen verarbeitet werden. Je komplexer die Verarbeitung ist, desto größer ist auch der Durchmesser des Scheinwerfers. Gleichzeitig zeigen die Untersuchungen der Autoren, dass die Aktivität der Gehirnnareale in welcher die Bildinformationen verarbeitet wurden, höher ist, wenn es der Probandin/dem Probanden aufgrund hintereinander gezeigter Bilder möglich war, die gesamte Aufmerksamkeit auf ein Bild im Wahrnehmungsfeld zu richten. Wurden die verschiedenen zu beurteilenden Bilder gleichzeitig gezeigt, nahm die Aktivität der beobachteten Gehirnnareale ab. Dies bestätigen auch Newman, Keller und Just (2007) mit ihrer Studie zur bewussten Kontrolle der Aufmerksamkeit während des gleichzeitigen Lösen zweier Aufgaben, welche unterschiedliche kognitive Bereiche in Anspruch nahmen. Die Wissenschaftler ließen ihre Probandinnen und Probanden hierzu Aufgaben aus dem Bereich der „Satzverarbeitung“ und dem der „mentalen Objektrotation“ lösen. Zum Zweck der Satzverarbeitung wurden den Probandinnen und Probanden via Kopfhörer Aussagen wie „Die Botanik ist eine biologische Wissenschaft und befasst sich mit der Lebensstruktur und dem Wachstum von Pflanzen“ (Newman et al., 2007, S. 110) vorgespielt, welche mit wahr oder falsch beantwortet werden mussten. Zur Beantwortung standen den Teilnehmerinnen und Teilnehmern hierzu zwei Druckknöpfe zur Verfügung, welche mit Hilfe des rechten Daumens bedient werden konnten. Für die mentale Objektrotation wurden jeweils zwei dreidimensionale Objekte, eingeführt von Shepard und Metzler (1971), gezeigt, wovon eines der beiden zu 40° bzw. 80° gedreht war. Die Probandinnen und Probanden mussten entscheiden, ob die zwei gezeigten Objekte ident waren oder nicht. Auch hierfür wurden zwei Druckknöpfe bereitgestellt, mussten jedoch mit dem linken Daumen bedient werden. Die Untersuchung bestand in weiterer Folge aus drei Teilen, bei denen mit Hilfe funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRI), die Aktivität der beteiligten Hirnnareale untersucht und verglichen werden konnte. Zunächst wurde die Aktivität beim Lösen der Satzverarbeitung untersucht, während die Probandinnen und Probanden gleichzeitig die dreidimensionalen Objekte

betrachteten, diese jedoch nicht lösen mussten. Das Lösen der mentalen Objektrotation, währenddessen die Aussagen der Satzverarbeitung vorgespielt, jedoch nicht gelöst werden mussten, war der zweite Teil der Untersuchungen. Im dritten Teil wurden die Probandinnen und Probanden damit beauftragt, beide Aufgaben simultan zu lösen und ihre Aufmerksamkeit dementsprechend auf beide Aufgaben zu richten. Zum besseren Vergleich der beobachteten Aktivitäten wurden vor dem Experiment zusätzlich die individuellen Hirnaktivitäten beim separaten Lösen der Aufgaben erhoben. Was die Autoren bereits wussten war, dass diese beiden unterschiedlichen Modalitäten unterschiedliche Bereiche im Gehirn aktivieren. Auch war bereits aus vorangegangenen Studien bekannt, dass die Aktivität der beteiligten Areale mit signifikantem Ausmaß abnimmt, wenn beide Aufgaben simultan gelöst werden müssen. Anstatt, dass sich also die, wie man vermuten sollte, Aktivitäten der Gebiete des Kortexes addieren, beeinträchtigten sie sich gegenseitig. Die geteilte Aufmerksamkeit verringert folglich die mögliche Aktivität der beteiligten Gehirnbereiche, was auch diese Untersuchungen bestätigen konnten. Völlig neu war jedoch, dass die Abnahme der Aktivität der Gehirnbereiche zum Lösen der mentalen Objektrotation wesentlich geringer war, als die der Satzverarbeitung. Zusätzlich konnte festgestellt werden, dass die bilaterale Aktivität (mit leicht erhöhter Aktivität der rechten Hemisphäre) des Gehirns bei alleiniger Zuwendung der Satzverarbeitung fast ausschließlich auf eine links lateralisierte Aktivität bei geteilter Aufmerksamkeit reduziert wurde, während die Hirnaktivität für die mentale Objektrotation sowohl bei alleiniger, als auch geteilter Aufmerksamkeit rechts lateralisiert blieb. Schlussfolgernd daraus, so Newman et al. (2007), wurden bei geteilter Aufmerksamkeit wesentlich mehr Ressourcen von der Satzverarbeitung abgezogen, als von der Objektrotation. Dies führen die Autoren auf zwei Dinge zurück. Zum einen sind die Hirnbereiche der rechten Hemisphäre zur Sprachverarbeitung eher für die assoziative, schlussfolgernde Verarbeitung der Informationen zuständig. Da diese Prozesse lediglich zur tieferen Verarbeitung von Sprachinformationen dienen, kann deren Aktivität als erstes reduziert werden. Zum anderen geben die Autoren an, dass die mentale Objektrotation eine wesentlich neuere und ungewohntere Aufgabenstellung für die Testpersonen darstellte, für deren Lösung „nur eine Verarbeitungsstrategie zur Verfügung steht“ (Newman et al., 2007, S. 115), weshalb es nur sehr schwer möglich ist, diese zu umgehen oder zu vereinfachen. Ein weiteres Ergebnis dieser Studie war, dass die Probandinnen und Probanden beim Lösen von nur einer der beiden Aufgaben, während die Andere im Hintergrund mitlief, wesentlich stärker von der Satzverarbeitung gestört wurden, unterdessen sie die Rotationsaufgaben lösten, als umgekehrt. Zur Begründung dieser Tatsache legen die Autoren die Vermutung nahe, dass die Sprachverarbeitung ein so automatisierter

Prozess der menschlichen Wahrnehmung ist, dass es viel schwerer fällt, diese Reize zu ignorieren, als jenen der mentalen Objektrotation beispielsweise. Wie mit Hilfe dieser Studien dargestellt werden kann, besitzt die selektive Aufmerksamkeit eine gewisse Kapazität. Da diese Aufmerksamkeitskapazität scheinbar limitiert ist, wird sie auf die zu verarbeitenden Reize aufgeteilt, was sich in Form einer reduzierten Hirnaktivität der zur Verarbeitung nötigen Areale bei simultaner Aufgabenbewältigung, kurz Multitasking, ausdrückt. Eine weitere Konsequenz, die sich hieraus ergibt ist, dass der Mensch zwar nicht immer alles wahrnimmt, es aber auch nicht möglich ist, das menschliche Gehirn davon abzuhalten, jedes Mal möglichst viel wahrzunehmen. (Spitzer, 2006)

Wie in Kapitel 2 bereits ausführlich dargestellt, findet Lernen, neurobiologisch betrachtet, nur an aktiven Nervenzellen und deren Synapsen statt. Des Weiteren kann man zeigen, dass Lerninhalte, welche im Nachhinein reproduziert werden können, bei ihrer Verarbeitung eine wesentlich höhere Aktivität der beteiligten Hirnareale aufweisen, als jene Inhalte, welche anschließend wieder vergessen werden. (Brewer, Zhao, Desmond, Glover, & Gabrieli, 1998; Wagner et al., 1998) Da diese Aktivität wiederum von der (vor allem selektiven) Aufmerksamkeit abhängig ist, ist es letztlich die aktive Zuwendung zu den Lerninhalten, die bestimmt, ob etwas gelernt wird, oder nicht, da sie die neuronale Aktivität steuert. (Spitzer, 2006) Dementsprechend müssen Kinder, Bezug nehmend auf den Schulalltag, durch Lerninhalte gefordert sein und diese mit Interesse und Faszination verfolgen, damit sie sich ihnen aktiv zuwenden. Denn nur dann wird gelernt. (Korte, 2009)

4.2 Emotionen

Wozu dienen Emotionen? Das Kleinkind greift auf die rote Herdplatte und verbrennt sich. Wird es diese beim nächsten Mal (wenn es vor der rot leuchtenden Herdplatte steht) wieder berühren? Nein, denn es hat gelernt, dass es sehr weh tut, wenn man auf eine rote Herdplatte greift. Außerdem hat es Angst sich nochmals zu verbrennen. Das kleine Mädchen spielt mit seinen großen Geschwistern zum ersten Mal Fußball, schießt ein Tor und wird bejubelt und gelobt. Wird es bei der nächsten Gelegenheit wieder ein Tor schießen wollen? Ja, denn es hat gelernt, dass es gut ist, ein Tor zu schießen. Außerdem haben sich beim letzten Mal alle so sehr gefreut, als sie das Tor schoss. In beiden Fällen hatten die Kinder aufgrund nur einer vorangegangenen Erfahrung gelernt, welche Entscheidung beim nächsten Mal die Richtige war. Grund für diese Entscheidungsfindung waren die mit dieser Situation verbundenen Emotionen. Emotionen führen somit in erster Linie zur schnelleren Entscheidungsfindung,

beeinflussen das menschliche Handeln und dienen dazu, in bestimmten Situationen besonders schnell, also ohne häufige Wiederholungen, zu lernen (Pritzel et al., 2003; Korte, 2009).

Allgemein lassen sich Emotionen zweidimensional beschreiben. Zum einen haben sie eine Valenz, sind mit anderen Worten negativ oder positiv respektive schlecht oder gut. Zum anderen besitzen sie eine Stärke bzw. Aktivierung, das heißt sind stark oder schwach bzw. aktivierend oder deaktivierend. (Spitzer, 2006; Pekrun, Lichtenfeld, Marsh, Murayama & Goetz, 2017) Außerdem besitzen Emotionen nach Spitzer (2006) drei Aspekte: „einen kognitiven, einen qualitativ-gefühlsmäßigen und einen körperlichen Aspekt“ (S. 157). Der körperliche Aspekt lässt sich wiederum durch willkürliche Bewegungen und autonome Effekte des Nervensystems, einschließlich hormoneller Reaktionen, unterscheiden. Durch die zweidimensionale Betrachtungsweise entstehen nach Pekrun et al. (2017) vier große Gruppen von Emotionen: positiv-deaktivierende Emotionen (Erleichterung, Entspannung, ect.), positiv-aktivierende Emotionen (Stolz, Hoffnung, Freude, ect.), negativ-deaktivierende Emotionen (Hoffnungslosigkeit, Langeweile, ect.) und negativ-aktivierende Emotionen (Angst, Wut, Scham, ect.).

Gebildet und verarbeitet werden Emotionen im limbischen System (siehe Kapitel 2.3). Aufgrund der zentralen anatomischen Lage des limbischen Systems im Gehirn (Abb.4), ist es dazu im Stande, alle Wahrnehmungen und Erfahrungen emotional zu bewerten und aufgrund dessen das Gehirn in seiner Gesamtheit zu beeinflussen. Die Amygdala (auch Mandelkerne genannt), der Hippokampus und der Hypothalamus bilden den unteren Teil des limbischen Systems und sind für die genetisch determinierten und universellen Emotionsäußerungen (Mimik, schwitzende Handflächen, Herzrasen, ect.) des menschlichen Körpers verantwortlich. Dieser Teil mischt den Wahrnehmungen und Erfahrungen folglich Empfindungen und Gefühlsregungen bei. Der obere Teil des limbischen Systems setzt sich hauptsächlich aus dem Gyrus cinguli und Teilen des präfrontalen Kortexes zusammen und bildet die Kontrollinstanz der Emotionen. Hier werden die emotionalen Informationen bewertet und interpretiert. Letztendlich ist es bereits die anatomische Lage vom Bildungsort der Emotionen, die bedingt, dass jede aufgenommene respektive wahrgenommene Information mit Emotionen bzw. Gefühlen verknüpft wird. (vgl. Korte, 2009, S. 115-117) Demzufolge muss die emotionale Grundstimmung einen wesentlichen Einfluss auf das Lernen haben, was LaBar und Cabeza (2006) auch bestätigen. Schon Cahill, Prins, Weber und McGaugh (1994) konnten feststellen, dass Details einer emotionsgeladenen Geschichte wesentlich besser reproduziert werden können, als die einer emotionsneutralen Geschichte. Es ist also davon auszugehen,

dass Emotionen und Gefühle eine wesentliche Rolle für den Lern-, und in weiterer Folge, Schulerfolg von Schülerinnen und Schüler darstellen (Korte, 2009). Diesen direkten Zusammenhang von emotionaler Grundstimmung und Lernerfolg stellen auch Pekrun et al. (2017) in ihrer Logitudinalstudie dar. Wie bereits die hermeneutischen Ausarbeitungen der Autoren zeigen, haben die vier Gruppen von Emotionen, die zuvor bereits dargestellt wurden, unterschiedlichen Einfluss auf das lernende Individuum. Demnach stützen positiv-aktivierende Emotionen die zum Lernen zur Verfügung stehenden kognitiven Mittel, erhöhen die Aufmerksamkeit und lenken diese auf die zu lernende Aufgabe. Des Weiteren fördern Emotionen wie Freude oder Stolz das Interesse und die intrinsische (von innen generierte) Motivation und erhöhen folglich die Verarbeitungstiefe. Positiv-deaktivierende Emotionen, Entspannung beispielsweise, reduzieren hingegen die momentane Aufmerksamkeit, wirken sich jedoch positiv auf langfristige Motivation aus. Gefühle wie Angst, Wut oder Scham (negativ-aktivierende Emotionen), so Pekrun und Mitarbeiter (2017) weiter, reduzieren die kognitive Verarbeitung durch das Zulassen irrelevanter Gedanken, wie beispielsweise Sorgen oder Ängsten Dinge falsch zu machen. Hierdurch kann die intrinsische Motivation stark geschwächt werden. Die extrinsische (von außen kommende) Motivation hingegen kann durch Emotionen dieser Art extrem gesteigert werden, was sich in der erhöhten Anstrengung, Fehler zu vermeiden, widerspiegelt. Auch die letzte Gruppe der Emotionen, die negativ-deaktivierenden Emotionen, wie zum Beispiel Langeweile, reduzieren die kognitiven Ressourcen. Dies äußert sich vor allem in einer verminderten Aufmerksamkeit bezüglich des zu verarbeitenden Reizes, sowie einer reduzierten intrinsischen und extrinsischen Motivation und führt zu einer nur sehr oberflächlichen Verarbeitung. Auf Grundlage dieser Annahmen testeten Pekrun et al. (2017) in weiterer Folge den Zusammenhang von Emotionen und Lernleistung. Hierzu wurden die Emotionen von insgesamt 3.425 Schülerinnen (50%) und Schülern während des Mathematikunterrichts (Unterricht, Hausaufgaben, Tests und Prüfungen) per Fragebogen erhoben. Aufgrund des Fragebogens wurde die emotionale Grundstimmung in Bezug auf den Mathematikunterricht einer jeden Schülerin und eines jeden Schülers einer von sieben Emotionen (Freude, Stolz, Wut, Angst, Scham, Langeweile, Hoffnungslosigkeit) zugeordnet. Diese wurden dann in Zusammenhang mit der Endjahresnote der Schülerin oder des Schülers in Mathematik betrachtet (Abb. 11). Die Untersuchungen fanden über fünf Jahre hinweg, einmal jährlich statt. Um eine für die Gesamtbevölkerung repräsentative Studie zu erhalten, wurden die Datenerhebungen an jeweils 14 Schulen jedes Schultypus der Sekundarstufe II (Hauptschule, Sekundarschule, Gymnasium) in Bayern durchgeführt. Abb. 11 zeigt die von Pekrun und Mitarbeitern (2017) erhobenen, signifikanten Korrelationsdaten

für die einzelnen Emotionen und den Schulerfolg im Mathematikunterricht. Wie bei Betrachtung der Abbildung deutlich wird, zeigen die positiven Emotionen einen unverkennbaren positiven Zusammenhang, während die negativen Emotionen einen negativen Zusammenhang mit dem Schulerfolg darlegen. Dies bedeutet laut der Autoren, dass mit Hilfe positiver Emotionen während des Unterrichts ein größerer Lernerfolg erzielt werden kann, während der Lernerfolg bei negativ assoziierten Emotionen mit Mathematik abnimmt. Des Weiteren zeigt jede einzelne Emotion eine sich verstärkende Tendenz im Zusammenhang mit den Leistungen der Schülerinnen und Schüler, sowohl im positiven, als auch negativem Bereich. Wie die Wissenschaftler anhand der dieser Graphik zu Grunde liegenden Zahlen, sowie Weiteren zeigen konnten, beeinflussen sich Emotionen und Schulleistungen gegenseitig. Denn Freude, beispielsweise am Mathematikunterricht, steigert das Interesse an den zu lernenden Inhalten, wodurch sich die Schülerinnen und Schüler wiederum intensiver mit den Unterrichtsthemen auseinandersetzen, was wiederum sowohl die Motivation, als auch die Verarbeitungstiefe verstärkt. Die Folge sind gute Leistungen. Diese guten Leistungen haben jedoch wiederum einen positiven Effekt auf die Freude am Unterricht, wodurch ein Kreislauf entsteht, in welchem die Emotionen die Leistungen, und die Leistungen auch die Emotionen beeinflussen, so Pekrun und Mitarbeiter (2017). Wie die Ergebnisse der Langzeitstudie eindeutig zeigen, ist dies sowohl für positive, als auch für negative Emotionen und Leistungen der Fall. Eine häufige, mit schlechten schulischen Leistungen in Verbindung gebrachte, negative Emotion ist die Angst, speziell vor oder während einer Prüfungssituation (Spitzer, 2006; Korte, 2009; Pekrun et al., 2017). Starke Angst fördert zwar zum einen

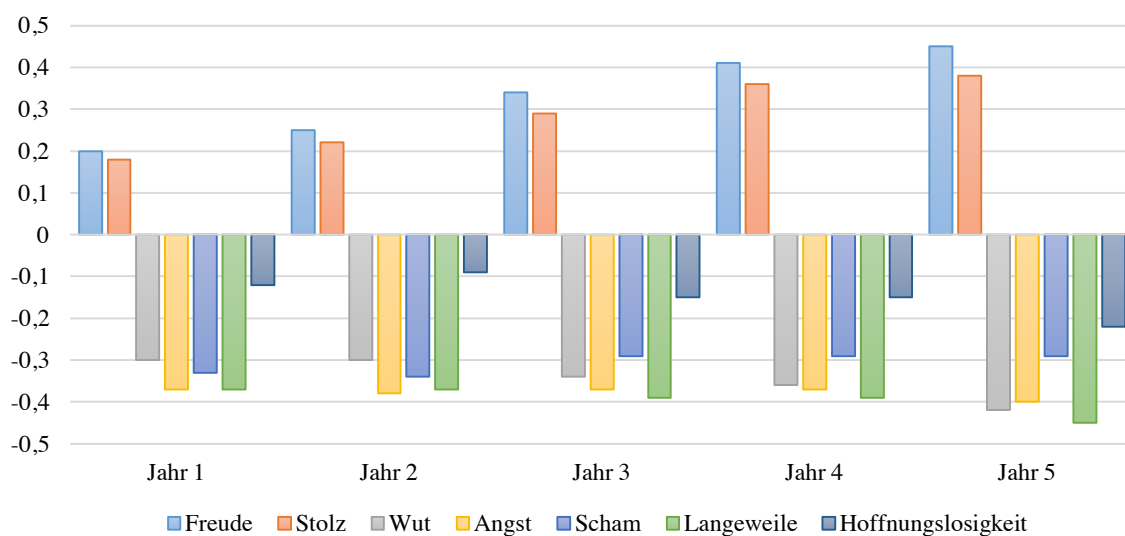


Abb. 11: Zusammenhang von Emotionen und Schulerfolg (nach Pekrun et al., 2017)
 Pearson-Korrelationskoeffizienten für Emotionen und Schulerfolg auf Grundlage der Daten von Pekrun et al., 2017, Table 1, S. 1658

schnelles Lernen – denn sie vermittelt schädliche Reize zu meiden (wie die rote, heiße Herdplatte) – verhindert jedoch zum anderen genau das, was durch das Lernen entstehen soll. Die Vernetzung von bereits vorhandenem Wissen mit neu zu lernenden Inhalten und deren Anwendung, sowie kreative Auseinandersetzung während neuer Situationen. (Spitzer, 2006) Ein Grund hierfür ist die bereits erwähnte anatomische Lage der Amygdala, welche, neben anderen Emotionen, auch die Angst vermitteln. Wird die Amygdala aktiviert, leitet sie die Signale, welche die Angst vermitteln, zunächst an den zwischengeschalteten Hypothalamus weiter, bevor sie den zweiten Teil des limbischen Systems, das Kontrollzentrum der Gefühle, erreichen. In Folge dessen reagiert der Hypothalamus bereits auf die Angst, bevor diese Gefühle interpretiert und kontrolliert werden konnten. (Korte, 2009) Die durch den Hypothalamus ausgelöste Hormonkaskade stellt den Körper auf die sogenannte „fight or flight reaction“ (Kampf-oder-Flucht-Reaktion) ein, welche sich in Form einer Erhöhung der Herzfrequenz, des Blutdrucks und der Muskelspannung, sowie schweißigen Händen, blasser Haut und erweiterten Pupillen zeigt. (Spitzer, 2006; Korte, 2009) Diese automatische Reaktion des Körpers bei Angst dient im evolutiv betrachteten Normalfall dazu, den Körper optimal auf die erkannte Gefahr einzustellen und so das Überleben zu sichern. Trifft ein Mann auf einen Löwen beispielsweise, wird der gesamte Fokus auf den Löwen gerichtet und der Körper des Mannes wird darauf vorbereitet, sich zu verteidigen oder zu fliehen. Alle anderen Gedanken werden ignoriert, da der Mann nicht überleben würde, wenn er zunächst eine kreative Problemlösung entwickeln oder Assoziationen zu anderen Situationen herstellen und sich dann zwischen Verteidigung und Flucht entscheiden würde. Das Problem, welches sich hieraus für Schülerinnen und Schüler ergibt ist, dass sich diese während einer Prüfungssituation nicht zwischen Kampf oder Flucht entscheiden müssen, sondern Gelerntes auf neue Beispiele bzw. Situationen anwenden, folglich assoziieren müssen. (Spitzer, 2006) Da Angst, sowie andere negative Emotionen das Assoziieren erschweren bzw. verhindern, wie Okada et al. (2011) mittels funktioneller Bildgebung des Gehirns zeigen konnten, sind negative Leistungen bei Prüfungen unter Angst die kausale Folge. Ein Kind, welches Angst hat zu versagen und dem alle anderen Kinder der Klasse zuschauen, wenn es an der Tafel im Mathematikunterricht steht und geprüft wird, kann aufgrund der Angstreaktion seines Körpers nicht kreativ sein und dementsprechend keine gute Leistung bringen. Auch ein Schüler oder eine Schülerin, der oder die Angst hat, bei einem Ballspiel nicht gut genug zu sein, wird es nur selten bis nie schaffen, den genialen Pass zu spielen, da er oder sie Angst hat, etwas falsch zu machen, demzufolge spontan keinen kreativen Lösungsansatz für die

Situation entwickeln kann und seine bzw. ihre Aufmerksamkeit nur auf den direkten Gegenspieler oder die direkte Gegenspielerin, also das für diese Situation wesentliche, fokussiert ist. Denn durch die Angst werden periphere Eindrücke verdrängt, wodurch eine Spielübersicht quasi nicht möglich ist. Wie diese unterschiedlichen Beispiele deutlich machen und auch durch die Ausarbeitungen von Pekrun et al. (2017) bestätigt wird, ist die gegenseitige Beeinflussung von Emotionen und schulischen Leistungen keineswegs auf Mathematik oder andere, einzelne Fächer zu reduzieren. Vielmehr raten Pekrun und Mitarbeiter (2017) jeglichem Lehrpersonal „die Anstrengungen zu intensivieren, die die positiven Emotionen der Heranwachsenden stärken und deren negative Emotionen minimieren.“ (S. 1668) Des Weiteren, so die Autoren, sollte man Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geben, individuellen Erfolg zu erfahren, da dieser wiederum positive Gefühle fördert und negativen Emotionen entgegenwirkt. Denn „eine positive Grundstimmung ist [...] gut für das Lernen.“ (Spitzer, 2006, S. 164)

4.3 Motivation

Motivation ist in der heutigen Gesellschaft ein allgegenwärtiges Wort. Man spricht davon, motiviert zur Arbeit zu gehen, motiviert für den Sport zu sein oder eine motivierte Person kennengelernt zu haben. Des Weiteren sind sogenannte Motivationsschreiben integraler Bestandteil vieler Bewerbungen. Um Motivationsprobleme zu überwinden ist es möglich, ein Motivationstraining zu besuchen, in welchem gelernt wird, wie man sich und andere motiviert. Leider wird auch im Kontext Schule oft von Schülerinnen und Schülern mit Motivationsproblemen gesprochen. Lehrerinnen und Lehrer beklagen häufig mangelnde oder gar fehlende Motivation und auch Eltern stellen immer wieder die Frage, wie sie ihre Kinder zum Lernen motivieren könnten. Doch was ist Motivation und welchen Einfluss hat Motivation auf das Lernen? Eine mögliche Antwort zu diesen Fragen soll das folgende Kapitel skizzieren.

Das Wort „Motivation“ ist von dem lateinischen Wort „movere“ abgeleitet, was in die deutsche Sprache übersetzt „bewegen“ heißt. Demnach beschäftigt sich die Motivationspsychologie im tieferen Sinne mit der Lehre des menschlichen Handelns (Eccles & Wigfield, 2002). Dieses menschliche Handeln wird im Wesentlichen von zwei Faktoren bestimmt: dem Wirksamkeitsstreben und der Organisation der Zielsetzung. Das Streben nach Wirksamkeit kann nach Heckhausen und Heckhausen (2010) auch als Streben nach Kontrolle der persönlichen Umwelt beschrieben werden. Hierbei steht die eigene Verhaltensadaption im Vordergrund, welche es ermöglicht, situationsangemessen auf die physiologische und soziale Umwelt zu

reagieren und diese so zu kontrollieren. Bei der Organisation der Zielsetzung geht es in erster Linie darum, das eigene Verhalten so zu koordinieren, damit das angestrebte Ziel erreicht werden kann. Dies wird vor allem dadurch erreicht, dass unwichtige und ablenkende Aspekte ausgeblendet und besonders wichtige fokussiert werden. Außerdem werden Teilhandlungen organisiert und koordiniert um das Ziel möglichst ökonomisch zu erreichen. Nicht lohnende oder unerreichbare Ziele werden aktiv deaktiviert und durch alternative Ziele ersetzt. (Heckhausen & Heckhausen, 2010) Dieses Handlungsstreben wird wiederum durch bestimmte Bedürfnisse des Menschen begründet, die dieser zu befriedigen vermag, was auch Güss, Burger und Dörner (2017) zeigen konnten. Diese Autoren stellten für ihre Untersuchungen zur Rolle der Motivation in Situationen mit komplexen Problemlösungen die drei derzeit prominentesten Motivationstheorien – McClelland's Human Motivation Theory (McClelland, Atkinson, Clark, & Lowell, 1953), Maslow's Hierarchy of Needs (Maslow, 1943; 1954) und Dörner's Theory of Motivation as a Part of PSI-Theory (Dörner, 2003; Dörner & Güss, 2011) – vor. Durch das Zusammenfassen jeder einzelnen Motivationstheorie und deren Gegenüberstellung konnten die Autoren zeigen, dass es letztendlich die Bedürfnisse, wie beispielsweise Hunger, Erfolg, Sicherheit, Wertschätzung oder soziale Zugehörigkeit sind, die das Streben nach Handlung bestimmen. Die Motivation stellt demzufolge einen Prozess dar, welcher, unter Berücksichtigung der Bedürfnisse, Handlungen anstrebt, die die zugrundeliegenden Bedürfnisse befriedigen. (Güss, Burger, & Dörner, 2017) In diesem Zusammenhang spricht man auch von Belohnung. Belohnung fördert die Motivation (Korte, 2009) und hat wissenschaftlich betrachtet drei wesentliche Funktionen. Zum einen wirkt sie als positiver Verstärker um Lernprozesse zu initiieren. Des Weiteren erzeugt Belohnung individuell richtungsweisende Werte, die der subjektiven Entscheidungsfindung dienen. Außerdem erzeugt das Belohntwerden positive Emotionen wie Freude, Vergnügen, Glück und Euphorie, wodurch Belohnung mit einem guten Gefühl assoziiert wird. (Schultz, 2016) Dass Belohnung jedoch nicht zwingend motivationssteigernd wirkt, stellten schon Lepper, Green und Nisbett (1973) durch ihren Motivationstest mit Kindern im Vorschulalter fest. Für diesen Test wurden hundert Kinder in drei randomisierte Gruppen eingeteilt. Die Kinder aller Gruppen bekamen die Aufgabe, etwas zu malen. Den Kindern der Gruppe 1 wurde für das Malen ihres Bildes eine Belohnung in Aussicht gestellt. Die Kinder der zweiten Gruppe bekamen nach erledigter Aufgabe die gleiche Belohnung wie die erste Gruppe, nur wussten die Kinder dies vorher nicht, wodurch die Belohnung unerwartet war. Gruppe 3 wurde nicht belohnt. Nach ein bis zwei Wochen wurde das gleiche Prozedere nochmals durchgeführt. Anschließend wurden die zwei Beobachtungsergebnisse sowohl hinsichtlich

der Eigenmotivation der Kinder, ein Bild zu malen, als auch hinsichtlich der Qualität der Bilder mit einander verglichen. Wie die Wissenschaftler feststellen konnten, waren es die Kinder der ersten Gruppe, welche die wenigste Motivation (gemessen an der Zeit, in welcher sich die Kinder mit der Malaufgabe beschäftigen) zeigten, obwohl sie wussten, dass sie für das Malen belohnt werden würden. Die Kinder der zweiten Gruppe hingegen zeigten die meiste Motivation, im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen. Außerdem war die Qualität der Bilder der ersten Gruppe deutlich unter denen der zweiten und dritten Gruppe. Wie diese Studie darlegt, ist es nicht die Belohnung allein, die motivations- und in weiterer Folge leistungssteigernd wirkt. Spitzer (2006) äußert sich hierzu wie folgt:

Ein wesentlicher Aspekt [unserer] Leistung besteht darin, dass unser Gehirn kontinuierlich damit beschäftigt ist, das Geschehen um uns herum vorherzusagen. Wenn ich nach der Kaffeetasse greife, dann hat mein Gehirn die Berührungsempfindung der Kaffeetasse schon antizipiert, vielleicht schon den Kaffeeduft und möglicherweise sogar den Kaffeegeschmack. Wenn alles so läuft wie vorausberechnet, habe ich vielleicht einen Schluck Kaffee getrunken und die Kaffeetasse wieder abgestellt, ohne überhaupt je bewusst an den ganzen Vorgang gedacht zu haben. [...] unser Gehirn berechnet kontinuierlich voraus, was demnächst eintreten wird, und wenn dies eintritt, was meist der Fall ist, wird das Geschehen als unbedeutend verbucht und nicht weiter verarbeitet. (Spitzer, 2006, S.176)

Worauf Spitzer (2006) anspielt ist der natürliche Drang eines Organismus, sein Verhalten zu optimieren, oder wie von Heckhausen und Heckhausen (2010) formuliert, das Streben nach Wirksamkeit. Aus diesem Grund wird eine Erfahrung, welche so eintritt wie erwartet, nicht weiter beachtet und daher auch nicht tiefer verarbeitet, folglich nicht abgespeichert, da das implizite Wissen zu dieser Erfahrung augenscheinlich bereits vorhanden ist (Spitzer, 2006). Daher ist auch die Belohnung, die unabhängig von dem Verhalten bzw. Resultat der Kinder der ersten Gruppe versprochen wurde, kein Anreiz für die Kinder, ihr Verhalten zu ändern bzw. zu optimieren, da das vorhergesagte Geschehen eintritt. Weicht das Geschehen jedoch positiv vom antizipierten Ereignis respektive Ergebnis ab, wird im Gehirn ein Signal generiert, welches besagt, dass das eigene Tun ein besseres Resultat erzielen konnte, als erwartet. Damit stellt diese Erfahrung einen Mehrwert für das individuelle Verhalten dar, wodurch dieses optimiert werden kann. Aufgrund dessen induziert das besagte Signal letztendlich einen Lernprozess. (Spitzer, 2006) Bezogen auf die von Lepper et al. (1973) untersuchte zweite Testgruppe war die unerwartete Belohnung die Abweichung vom eigentlich antizipierten Ereignis. Durch dieses Ereignis wurde die Erfahrung gemacht, dass ein, subjektiv

betrachtet, schönes Bild, eine Belohnung zur Folge hat. Um das Bedürfnis, eine weitere Belohnung zu erhalten, zu befriedigen, war es demnach notwendig, dass diese Kinder auch beim nächsten Mal ein schönes Bild, wenn möglich sogar ein noch schöneres Bild zeichnen, da mehr Leistung/Qualität durchaus mehr Belohnung zu Folge haben könnte. Demnach ist es die unerwartete Belohnung bzw. das Resultat vom Verhalten, welches besser als Erwartet ist das, was die Motivation erhöht und in weiterer Folge die Lernleistung stärkt.

Neurobiologisch betrachtet wird die Belohnung mit Hilfe eines Neurotransmitters induziert, dem Dopamin (Spitzer, 2006). Neben Funktionen in anderen Systemen des Gehirns, spielt Dopamin im Belohnungssystem die bestimmende Rolle (Schultz, 2016). Hierbei ist zunächst entscheidend, dass Dopamin als Belohnung nur dann wahrgenommen wird, wenn auch physiologisch ein Unterschied zwischen der erwarteten und tatsächlich erlangten Belohnung festgestellt wird. Um dies zu bewerten, erzeugen die dopaminergen Neuronen des Gehirns zwei Signale. Eines für die erwartete Belohnung und eines für die tatsächliche Belohnung, das heißt das Ergebnis der jeweiligen Erfahrung. Die Differenz der beiden Signalwerte ist der sogenannte „reward prediction error“ (RPE), der letztendlich darüber entscheidet, ob Dopamin als Belohnung ausgeschüttet wird, oder nicht (vgl. Schultz, 2016, S.

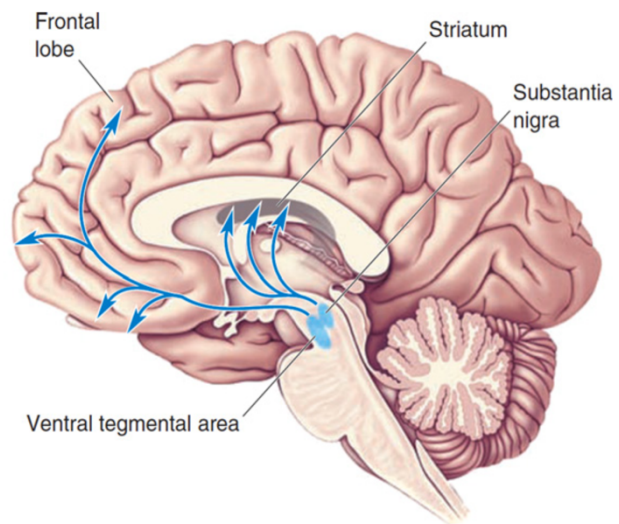


Abb. 12: Das Belohnungssystem im Gehirn
(Weng et al., 2013, S. 227, nach Bear et al., 2007)
Die Ausbreitung von Dopamin im Gehirn ausgehend der Substantia nigra und der Area tegmentalis ventralis

183). Dementsprechend erfolgt die Dopaminausschüttung, wenn ein Ereignis als neu oder überraschend (keine erwartete Belohnung vs. Belohnung), oder als „besser als erwartet“ (weniger Belohnung vs. mehr Belohnung) bewertet wird. (Glimcher, 2011; Schultz, 2016) Die dopaminausschüttenden Nervenzellen befinden sich in den Arealen Substantia nigra und dem Area tegmentalis ventralis des Mittelhirns (Mesencephalon) und vermitteln Dopamin über dopaminerge Neuronen an Strukturen des limbischen Systems, sowie das Striatum und den Frontallappen (Abb. 12) (Weng, Paslaski, Daly, VanDam, & Brown, 2013). Die direkte Dopaminfreisetzung in den Kortex löst hierbei ein situativ klares Denken aus. Des Weiteren aktiviert Dopamin den Nucleus accumbens, der aufgrund dessen endogene Opiode (vom

Körper selbst produzierte, opiatähnliche Substanzen) freisetzt, welche in weiterer Folge das Gefühl von Glück und Euphorie auslösen. Diese Gefühle werden letztendlich als Belohnung empfunden, mit der vorangegangenen Erfahrung assoziiert und lösen so den Speicher- und Lernprozess aus. (Spitzer, 2006; Korte 2009)

Für Motivation im Kontext Schule bleibt demnach festzuhalten, dass sie dort gestärkt wird, wo sich das lernende Individuum selbst belohnen kann. Denn auch jede Aufgabe in der Schule wird „danach bewertet, ob man sie glaubt lösen zu können oder nicht“ (Korte, 2009, S.42) Ist eine Aufgabe zu leicht, weiß man bereits, dass man diese lösen kann. Dementsprechend ist es auch keine Überraschung, wenn man die Aufgabe löst. Damit ist diese unbedeutend für die Optimierung von Können oder Verhalten. Ist eine Aufgabe zu schwer, wird diese meist schon im Vorhinein als „nicht lösbar“ bewertet. Durch das nicht Lösen der Aufgabe, wird auch hier keine Belohnung erreicht. (Korte, 2009) Aus diesem Grund ist ein forderndes, aber nicht überforderndes Niveau von Aufgaben besonders wichtig. Solche Aufgaben werden als „eher schwer lösbar“ eingestuft. Schafft man es jedoch letztendlich, wird eine Herausforderung bewältigt und ein neues Ziel erreicht, wodurch eine nicht erwartete Belohnung eintritt. So kann Dopamin und in weitere Folge Opioide freigesetzt werden, die dann ein Gefühl von Belohnung in der Schülerin oder dem Schüler auslösen. Dieses Gefühl der Belohnung induziert einen Lernvorgang, der festhält, dass „wir [1.] überhaupt belohnt wurden, 2. das Wissen, wofür wir belohnt wurden [und] 3. den Kontext, in dem dies geschah“ (Korte, 2009, S 43). So findet vertiefendes Lernen statt. Doch nicht nur Herausforderung, sondern auch das richtige Maß an Lob von Eltern und Lehrpersonal ist wichtig für die Lernenden. Es ist allerdings darauf Acht zu geben, so Spitzer (2009), dass Lob gezielt, zeitnah und für das Kind oder den Jugendlichen klar nachvollziehbar verwendet wird, damit dieses Lob als (unerwartete) Belohnung aufgefasst werden kann und so einen Lernprozess auslöst. Ein weiterer, wichtiger Punkt für das Stärken von Motivation im Schulunterricht ist, wie eingangs erwähnt, das der Motivation zu Grunde liegende Streben des lernenden Individuums nach Selbstwirksamkeit und der damit verbundene Wille nach Kontrolle der eigenen Umwelt. Durch einen Unterrichtsstil, in welchem das eigenständige Lösen von Problemen und Aufgaben oder das eigenständige Erarbeiten neuer Themen auf der Grundlage bereits erworbener Fertigkeiten bewusst gefördert wird, kann das Selbstwirksamkeitsstreben der Schülerinnen und Schüler befriedigen und aufgrund dessen wiederum die Motivation stärken. Susic-Vasic et al. (2015) veröffentlichten zu diesem Thema eine Studie, in welcher sie den Zusammenhang von der Art des Unterrichtsstils der Lehrerinnen und Lehrer und der Stärke der

Motivation der von ihnen unterrichteten Schüler und Schülerinnen zeigen konnten. Wie sich herausstellte, zeigten die Schülerinnen und Schüler insgesamt eine signifikant höhere intrinsische Motivation, die von Lehrerinnen und Lehrern unterrichtet wurden, welche Eigenständigkeit im Unterricht förderten. Im Gegenzug dazu waren die Schüler und Schülerinnen weitaus weniger stark intrinsisch motiviert, die mit einem kontrollbewussten Unterrichtsstil unterrichtet worden waren. Außerdem konnten Susic-Vasic et al. (2015) bei den stärker intrinsisch motivierten Kindern und Jugendlichen zusätzlich eine signifikant geringere Fehlerquote bei der Überprüfung der exekutiven Funktionen (Arbeitsgedächtnis, selektive Aufmerksamkeit, kognitive Flexibilität), welche eine Schlüsselrolle für akademischen Erfolg darstellen, im Vergleich zu den geringer motivierten Schülerinnen und Schülern feststellen. Damit zeigen die Autoren, dass das Fördern von Eigenständigkeit, welche das Streben nach Selbstwirksamkeit befriedigt, die Motivation der Schülerinnen und Schüler stärkt, was wiederum zum Erfolg in der Schule beiträgt.

Die Motivation stellt damit einen „Türöffner“ für das Lernen dar, der durch den „besser-als-erwartet-Effekt“ eine subjektive Belohnung auslöst, wodurch die gemachte Erfahrung tiefer verarbeitet und in weiterer Folge mit höherer Wahrscheinlichkeit abgespeichert wird (vgl. Spitzer, 2006, S. 180f).

4.4 Bewegung (macht schlau)

Bereits seit vielen Jahren ist unumstritten, dass Bewegung und sportliche Aktivität in jedem Alter maßgeblich zur Erhaltung der Gesundheit beiträgt und gleichzeitig eine unumgängliche präventive Maßnahme gegen altersbedingte kardiovaskuläre Erkrankungen, sowie einige chronische Krankheiten, aber auch gegen manche Arten von Krebs darstellt. (Warburton, Nicol, & Bredin, 2006) Wie jedoch vor allem im letzten Jahrzehnt festgestellt werden konnte, ist Bewegung aber nicht nur gut für den menschlichen Körper, sondern auch für sein Gehirn. Neben den präventiven Vorteilen von Bewegung gegen altersbedingte, neurodegenerative Erkrankungen, wie Morbus Alzheimer (Duzel, van Praag, & Sendtner, 2016), rückt vor allem der positive Einfluss von Bewegung auf die kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten und immer mehr in den Mittelpunkt neurowissenschaftlicher Forschungen. Die aus Sicht des Verfassers dieser Arbeit wichtigsten Einflussfaktoren von Bewegung bzw. sportlicher Aktivität auf das Lernen sollen im folgenden Kapitel dargestellt werden.

Von sportlicher Aktivität darf in diesem Zusammenhang gesprochen werden, wenn Bewegungen (von der Skelettmuskulatur ausgeführt) in einer Intensität durchgeführt werden, die

den Grundenergieumsatz steigert. Den Grundstein zur Erforschung des neurobiologischen Einflusses von sportlich aktiver Bewegung auf das Gehirn und seine Funktionen legte wahrscheinlich eine Forschungsgruppe aus Dänemark, die bereits im Jahr 2000 darauf aufmerksam machte, dass, im Vergleich zur Inaktiven, bei der aktiv arbeitende Skelettmuskulatur ein erhöhter Wert eines bestimmten Cytokins (Cytokine sind multifunktionale Proteine, die vor allem der interzellulären Kommunikation dienen (Voss, Vivar, Kramer, & van Praag, 2013)) festgestellt werden konnte. (Pedersen, Åkerström, Nielsen, & Fischer, 2007) Die selbe Forschungsgruppe war es, die sieben Jahre später belegen konnte, dass die Skelettmuskulatur bei der Kontraktion in der Tat bestimmte Botenstoffe (Cytokine und andere Peptide) freisetzt, die „entweder parakrine oder endokrine Auswirkungen haben [und aus diesem Grund] als „Myokine“ klassifiziert werden sollten“ (Pedersen et al., 2007, S. 1094). Mit dieser Entdeckung wurde auch die Hypothese aufgestellt, dass sportliche Aktivität durch die dabei produzierten Myokine einen neurobiologischen Einfluss auf das Gehirn und seinen Funktionen haben könnte (Pedersen et al., 2007; Pedersen & Febbraio, 2008).

Tab. 1: Der Einfluss aerober Leistungsfähigkeit auf die Produktion von cathepsin B (CTSB)

	Baseline (T0)	1 month (T1)	4 months (T2)
CTSB (ng/ml) Control	40.980 ± 1.548	36.973 ± 1.468	39.156 ± 1.648
CTSB (ng/ml) Training	36.507 ± 1.683	39.899 ± 1.995	44.393 ± 1.822*
CTSL (pg/ml) Control	96.727 ± 2.146	85.172 ± 2.824	98.891 ± 8.123
CTSL (pg/ml) Training	100.086 ± 8.614	94.813 ± 5.166	101.779 ± 5.262
VO₂_VT (ml) Control	1506.38 ± 308.47	1487.08 ± 324.25	1511.85 ± 305.22
VO₂_VT (ml) Training	1563.87 ± 356.23	1669.20 ± 344.61*	1788.27 ± 358.30*
Lactate (mmol/l) Control	4.948 ± 1.395	5.648 ± 1.708	5.398 ± 1.461
Lactate (mmol/l) Training	4.610 ± 1.382	4.208 ± 1.226	3.139 ± 1.243*

Quelle: Moon et al., 2016, Supplemental Information, S. 349

Moon et al. (2016) konnten nun nachweisen, dass während des Laufens, bei aerober Belastungsintensität, ein Myokin mit dem Namen „cathepsin B“ (CTSB) produziert wird. Außerdem konnten die Wissenschaftler feststellen, dass die Probandinnen und Probanden, nach einem 16-wöchigen, aeroben Trainingsprogramm mit drei moderat bis intensiven (70-90% der maximalen Herzfrequenz, 45-75 Minuten) Intervalleinheiten pro Woche, eine höhere aerobe Leistungsfähigkeit (gemessen anhand der $\text{VO}_{2\text{-VT}}$ und der Laktatwerte) hatten, gleichzeitig auch höhere CTSB-Werte zeigten (Tab.1) (vgl. Moon et al., 2016, Supplemental Information, S. 452). Die Kontrollgruppen, welche kein Trainingsprogramm absolviert hatte, zeigte keine erhöhten CTSB-Werte.

Zusätzlich konnten Moon und Mitarbeiter (2016) einen positiven Zusammenhang zwischen den erhöhten Werten dieses Myokins CTSB im Blut und der Gedächtnisleistung, angegeben durch den „Complex-Figure-Score“ (Erinnerungsleistung von komplexen geometrischen Figuren), bei den Testpersonen feststellen (Abb. 13). Hintergrund dieser positiven Korrelation ist, dass das Myokin CTSB über die Blutthirnschranke zu den Nervenzellen eines bestimmten Teils des Hippokampus (dem Gyrus dentatus) gelangt. CTSB regt dort die Neuronen an, eine erhöhte Menge an bestimmten Wachstumsfaktoren wie BDNF (Brain-derived neurotrophic factor) auszuschütten (Suzuki, 2016), welche die Neubildung von Neuronen (die Neurogenese) im Hippokampus veranlasst (Voss et al., 2013). Diese im Hippokampus neugebildeten Nervenzellen sind gekennzeichnet durch eine erhöhte Erregbarkeit, können aufgrund dessen sehr leicht neue synaptische Verbindungen mit anderen Nervenzellen eingehen und tragen

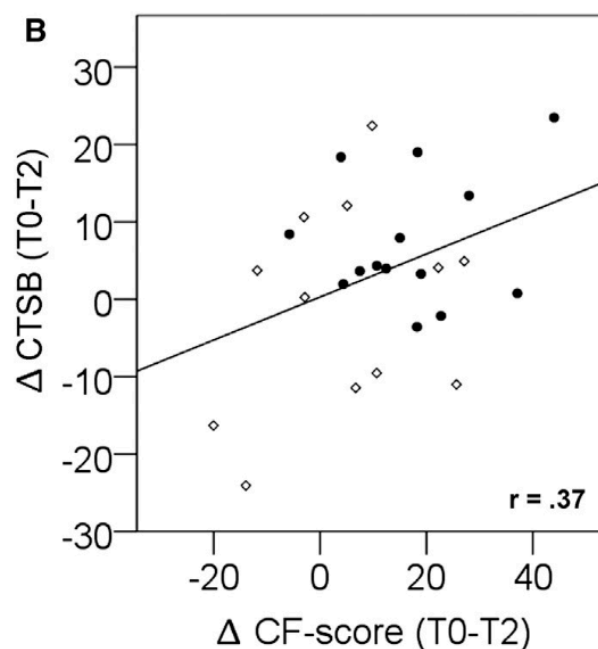


Abb. 13: Die Korrelation von CTSB und der Erinnerungsleistung komplexer Figuren in Abhängigkeit von der aeroben Leistungsfähigkeit (Moon et al., 2016, S. 337)

daher nachweislich zu einer erhöhten Plastizität im Hippokampus bei. Durch die hippokampale Neurogenese wird demnach die funktionale Leistung des Hippokampus und damit die episodische und semantische Gedächtnisleistung verbessert. (Deng, Aimone, & Gage, 2010; Zhuo et al., 2016) Denn so können schneller neue Verbindungen geknüpft, alte neuronale Repräsentationen gestärkt und neue Repräsentationen gebildet, kurzum gelernt werden. Neben der gesteigerten Neurogenese konnte man zusätzlich feststellen, dass weitere durch körperliche Aktivität produzierte Wachstumsfaktoren (IGF-1 und VEGF) die Angiogenese (die Bildung neuer Blutgefäße) im Gehirn anregen. Durch die Zunahme der vor allem kleinen Blutgefäße wird eine bessere Sauerstoffversorgung und eine verbesserte Versorgung des Energielieferanten Glukose erreicht, was zu einer erhöhten neuronalen Leistungsfähigkeit führt und einen Schutz gegen altersbedingte, degenerative Prozesse im Gehirn darstellt. (Beer & Schwarz, 2012; Voss et al., 2013) Aerobes Training im Sinne von „exercise [...] that improves the efficiency of the aerobic energy-producing system and [that] improve[s] oxygen uptake and cardiorespiratory endurance.“ (Voss et al, 2013, S. 526) trägt somit nachweislich zur Steigerung hippokampaler Gedächtnisleistung bei. Dies konnte auch anhand etlicher empirischer Studien belegt werden. So veröffentlichten Åberg et al. (2009) eine Kohortenstudie mit mehr als 1,2 Millionen Probanden, in welcher sie zeigen konnten, dass eine höhere aerobe Leistungsfähigkeit bei 18-jährigen Männern mit einer höheren kognitiven Leistung zusammenhängt. Wie Abb. 14 darstellt, ist in allen untersuchten kognitiven Fertigkeiten ein positiver Leistungsanstieg in Abhängigkeit der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit zu erkennen. Außerdem zeigt die Abbildung einen Vergleich zwischen der allgemeinen kognitiven Leistung, welche in Abhängigkeit der aeroben Leistungsfähigkeit ermittelt, und der, die in Abhängigkeit der muskulär isometrischen Leistungsfähigkeit festgestellt wurde. Hier ist ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Während aus Sicht der aeroben Leistungsfähigkeit eine positive Korrelation zu erkennen ist, stagniert der Anstieg der kognitiven Leistung ab einer gewissen Muskelkraft. Åberg et al. (2009) weisen auf diesen Unterschied hin, erläutern ihn jedoch nur mit dem Hinweis auf die hier bereits dargestellten Vorteile des aeroben Trainings. Auch weitere Studien belegen, dass Kinder, die eine kardiovaskulär höhere Leistungsfähigkeit aufweisen im Vergleich zu gleichaltrigen Kindern mit geringerer aerober Leistungsfähigkeit bessere kognitive, vor allem auf den Hippokampus zurückzuführende Leistungen erbringen – egal in welchem Alter. Sowohl im Vorschulalter (Niederer et al., 2011), also auch in der vorpubertierenden Phase (Chaddock et al., 2012; Raine et al., 2013) oder im postpubertierenden bzw. jungen Erwachsenenalter (Åberg et al., 2009). Abb. 15, entnommen aus der Arbeit von Raine et al. (2013), weist jedoch auch darauf hin, dass es vor

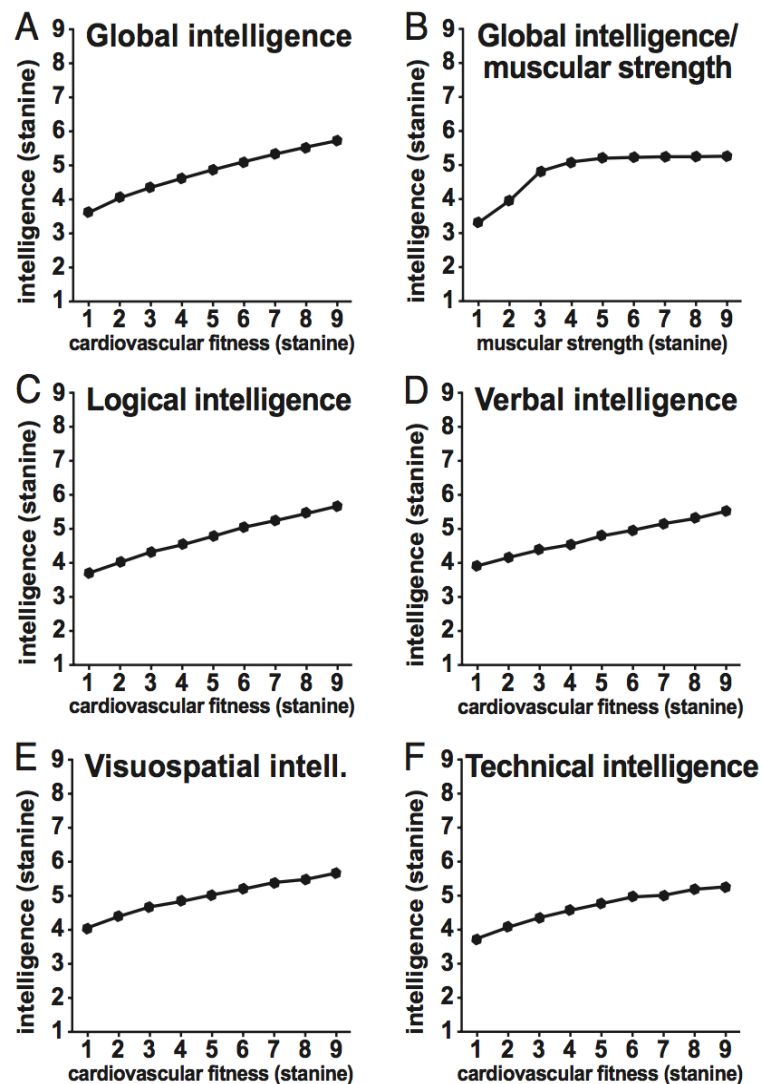


Abb. 14: Mittelwerte kognitiver Leistungsparameter in Abhängigkeit konditioneller Leistungsparameter (Åberg et al., 2009, S. 20907)

allem jene, zu großen Teilen durch den Hippokampus gelöste, Aufgaben sind, die von aerob „fitteren“ Schülerinnen und Schülern im Vergleich zur weniger fitten Kontrollgruppe besser absolviert werden. Außerdem werden Aufgaben, die einen allgemein höheren Anspruch an kognitive Fertigkeiten stellen, wie beispielsweise die exekutiven Funktionen (Arbeitsgedächtnis, selektive Aufmerksamkeit, kognitive Flexibilität), besser gelöst. Hierzu erteilten Raine und Mitarbeiter (2013) 49 Kindern im Alter von neun bis zehn Jahren die Aufgabe, die Namen der Länder unterschiedlicher, fiktiver, geographischer Karten zu lernen. Für das Lernen wurden zwei verschiedene Lernstrategien angewandt. Für einen Teil der Karten durften die Kinder durch ständiges Wiederholen („study only“) die Namen der Länder auf der Karte lernen. Bei dem zweiten Teil der Karten sollte eine Lernmethode angewendet werden, die auch unter dem Namen „testing“ („test study“) bekannt ist und als wesentlich effizientere

Lernmethode angesehen wird (Rohrer, Taylor, & Sholar, 2010). Hierbei wird das wiederholende Lernen mit intermittierenden Tests des bereits Erlernten kombiniert. Einen Tag später wurde mit Hilfe zwei verschiedener Tests überprüft, welche Ländernamen die Kinder gelernt hatten. Bei dem ersten Test bekamen die Kinder je eine Karte, die sie durch wiederholendes Lernen und eine, die sie durch die Testmethode gelernt hatten. Ziel war es bei diesem Test die Länder der jeweiligen Karte mit den dazugehörigen Namen zu beschriften („free recall“). Im zweiten Test bekamen die Schülerinnen und Schüler wieder eine Karte aus jeder Lernstrategie vorgelegt. Diesmal jedoch mit unter der Karte bereits vorgegebenen, aber in zufälliger Reihenfolge angeordneten Ländernamen. Diese Ländernamen mussten nun nur noch den jeweiligen Ländern zugeordnet werden („cuet recall“). Somit ergaben sich für Raine et al. (2013) vier verschiedenen anspruchsvolle kognitive Aufgaben. Das Ergebnis dieser Untersuchung (Abb. 15) zeigte deutlich, dass die fitteren Schülerinnen und Schüler in allen Testergebnissen besser als die weniger fitte Kontrollgruppe waren, sich jedoch ein signifikanter Unterschied der Leistungen vor allem bei den kognitiv als besonders anspruchsvoll eingestuften Aufgaben („study only + free recall“ und „test study + free recall“) zeigte. Da die beim „free recall“ beanspruchten kognitiven Ressourcen (Reproduktion semantischer Fakten) vor allem auf die Funktionalität des Hippokampus zurückzuführen sind, so Raine et al. (2013), und „Fitness [...] einen signifikanten Einfluss auf hippocampale Strukturen und seine Funktionen hat“ (S. 5), schlussfolgern die Autoren, dass das Level der aeroben Leistungsfähigkeit einen besonders großen Einfluss auf die in dieser Untersuchung gestellten und als besonders anspruchsvoll geltenden Aufgaben gehabt hat. Überdies untermauern auch

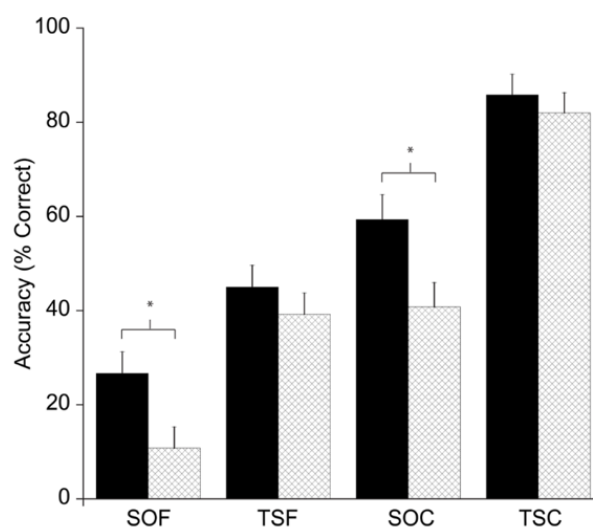


Abb. 15: Ergebnisse der Reproduktion gelernter Inhalte (Raine et al., 2013, S. 3)

Schwarzen Balken zeigen die Ergebnisse der fitteren, graue Balken die der weniger fitten Schülerinnen und Schüler. (* = signifikant)

Scudder et al. (2016) den Impact aerober Leistungsfähigkeit auf die kognitiven Fertigkeiten, die mit ihrer Langzeitstudie (n=290) belegen, dass nicht nur die aktuelle aerobe Leistungsfähigkeit positiv mit der kognitiven Leistungsfähigkeit korreliert, sondern auch die Verbesserung kardiovaskulärer Leistung eine Verbesserung der kognitiven Fertigkeiten mit sich bringt.

Neben den aeroben Leistungsparametern sportlicher Aktivität und deren Einfluss auf kognitive Eigenschaften thematisierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in den letzten Jahren zunehmend auch den Einfluss koordinativer Fähigkeiten auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen. Die koordinativen Fähigkeiten (Gleichgewichts-, Orientierungs-, Differenzierungs-, Rhythmisierungs-, Reaktions-, Umstellungs- und Kopplungsfähigkeit) stellen neben den konditionellen (Ausdauer, Kraft, Schnelligkeit und Flexibilität) Fähigkeiten eine der beiden grundlegenden Bereiche der Motorik dar (Weineck, 2010). Sie sind gekennzeichnet durch den Prozess der Aufnahme der Informationen durch die Sensorik, der Informationsverarbeitung und der Umsetzung dieser durch die Sensomotorik (Hottenrott & Neumann, 2010). „Bewegungsausführungen sind koordinativ anspruchsvoll, wenn sie hohe Anforderungen an das Informationsaufnahme und –verarbeitungssystem aus dem optischen, akustischen, taktilen, kinästhetischen und vestibulären Bereich und/oder hohe Gleichgewichtsanforderungen stellen und/oder unter Druckbedingungen wie Präzisions-, Zeit-, Komplexitäts-, Situations- und Belastungsdruck ausgeführt werden müssen.“ (Beer & Schwarz, 2012, S. 99) Wie die Begriffserläuterung nahe legt, liegt im Bereich der koordinativen Bewegung vor allem die Qualität der Bewegungsausführung, wie beispielsweise Reaktionsgeschwindigkeit, Genauigkeit oder Fehleranfälligkeit, im Fokus. Kardiovaskuläre Leistungsparameter werden hier weitestgehend vernachlässigt. Vor diesem Hintergrund konnte die Wissenschaft erst kürzlich feststellen, dass bessere koordinative Fähigkeiten bereits bei Kindern im Vorschulalter mit besseren kognitiven Leistungen in Zusammenhang stehen. Sowohl Stein, Auerswald und Ebersbach (2017), als auch Oberer, Gashaj und Roebers (2017) konnten zeigen, dass Kinder im Alter von fünf bis sechs Jahren mit besseren koordinativen Fähigkeiten bzw. Fertigkeiten, wie Springen in verschiedensten Variationen, Balancieren auf einem Seil, Zielwurf und –Schuss bzw. Fangen eines Balles, sowie Boxen und Treten gegen einen Ball bessere Leistungen im Bereich der Unterdrückung automatisierter Bewegungen und damit gleichzeitig eine höhere selektive Aufmerksamkeit zeigten (Stein et al., 2017), aber auch explizit feinmotorische Bewegungen wie das Auffädeln einer Perlenkette oder

grobmotorische Bewegungen wie das Stehen und Balancieren auf einem Bein höhere Leistungen des Arbeitsgedächtnisses und der kognitiven Flexibilität mit sich brachten (Oberer et al., 2017). Die Autoren legen damit nahe, dass ein Kind im Vorschulalter mit guten koordinativen Fähigkeiten zu hoher Wahrscheinlichkeit auch für sein Entwicklungsstadium bereits gut ausgeprägte, geistige exekutive Funktionen besitzt, welchen, wie schon erwähnt, eine Schlüsselrolle für den späteren Schulerfolg zugeschrieben wird (Susic-Vasic et al., 2015). Aber nicht nur im Vorschulalter ist eine positive Korrelation zwischen koordinativen und kognitiven Eigenschaften zu beobachten. Wie Geertsen et al. (2016) anhand einer Stichprobe von $n=423$ klar erkennen lassen, besteht auch bei Kindern im präpubertierenden Alter von acht bis zehn ein signifikanter, positiver Zusammenhang zwischen motorischen Fertigkeiten und kognitiver Leistungsfähigkeit, und weiter noch – auch im Hinblick auf die akademischen Leistungen ist ein solcher Zusammenhang laut dieser Autorinnen und Autoren zu erkennen. Wie bereits dargestellt, zeigt auch die Studie von Geertsen und Mitarbeitern (2016), dass die aerobe Leistungsfähigkeit mit den kognitiven Leistungsparametern der Probandinnen und Probanden korreliert. Gleichzeitig wird jedoch vor allem auf den Einfluss der koordinativen Fertigkeiten aufmerksam gemacht, denen bis dato nur sehr wenig, und in diesem Umfang erstmalig, Beachtung geschenkt worden war. Denn auch diese Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler konnten für alle untersuchten kognitiven Eigenschaften signifikante Korrelationen in Bezug auf die untersuchten koordinativen Eigenschaften der Kinder feststellen. In Tabelle 2 sind die besagten Ergebnisse in Form von Neigungskoeffizienten (signifikante Ergebnisse sind dick gedruckt) aufgelistet.

Tab. 2: Zusammenhänge von motorischen Fertigkeiten und kognitiven Funktionen

	Simple reaction time (ms)		Sustained attention (RVP #misses)		Spatial working memory (#errors)		Free-recall word memory (#words)		Paired associates learning (#errors)	
	Estimate (SE)	P-value	Estimate (SE)	P-value	Estimate (SE)	P-value	Estimate (SE)	P-value	Estimate (SE)	P-value
Motor skills										
Fine motor skill (VAT score)	-1.10 (0.24)	<0.001	-0.07 (0.01)	<0.001	-0.13 (0.03)	<0.001	0.03 (0.01)	<0.001	-0.24 (0.05)	<0.001
Gross motor skill (motor-skill wall, s)	1.03 (0.22)	<0.001	0.08 (0.01)	<0.001	0.18 (0.03)	<0.001	-0.04 (0.01)	<0.001	0.13 (0.04)	0.013
Exercise capacity, leisure sport and body fat										
Exercise capacity (YYIR1C per 100 m)	-1.92 (0.81)	0.103	-0.11 (0.04)	0.046	-0.30 (0.10)	0.038	0.03 (0.02)	0.628	0.18 (0.16)	0.828
Organised leisure sports (if yes)	-9.71 (7.15)	0.677	-0.31 (0.38)	0.958	-0.82 (0.92)	0.937	0.58 (0.03)	0.025	-0.94 (1.36)	0.981
Body fat (%)	0.15 (0.41)	0.999	0.02 (0.02)	0.858	0.13 (0.05)	0.091	-0.01 (0.01)	0.997	0.03 (0.08)	0.998

Quelle: Geertsen et al., 2016, S. 9

So sinkt beispielsweise die Reaktionszeit mit Zunahme der Genauigkeit in der visuell-motorischen Aufgabe zur Bestimmung der Feinmotorik oder steigt die Fehleranfälligkeit des ortsspezifischen Erinnerungsvermögens mit Zunahme jeder zusätzlichen Zeiteinheit, welche benötigt wurde, um die Aufgabe zur Bestimmung der Grobmotorik zu lösen. Dass koordinative Fertigkeiten nicht nur in Zusammenhang mit den kognitiven Eigenschaften, sondern in weiterer Folge auch mit akademischen Leistungen der Schülerinnen und Schüler stehen, illustrieren Geertsen und Mitarbeiter (2016) in Abb. 16. . Hierbei wird der Zusammenhang

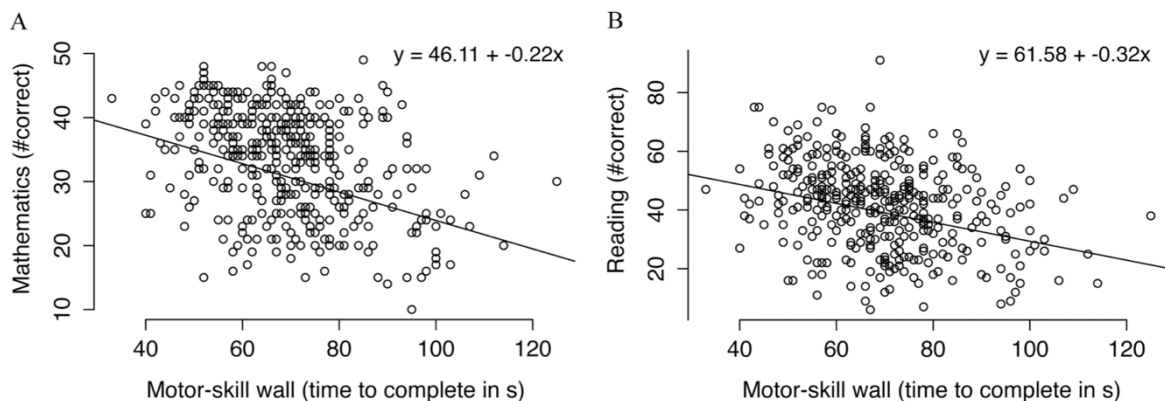


Abb. 16: Der Zusammenhang von schulischen Problemlösekompetenzen und grobmotorischer Leistungsfähigkeit (Geertsen et al., 2016, S. 11)

von grobmotorischen Fertigkeiten der Schülerinnen und Schülern und deren Leseverständnis respektive ihrer Leistungen in Mathematik veranschaulicht. Wie in beiden Grafiken klar ersichtlich ist, waren die Schülerinnen und Schüler, die sowohl mehr mathematische, als auch mehr leseverständliche Probleme lösen konnten, auch schneller im Lösen grobmotorisch koordinativer Aufgaben. Allen drei zuletzt vorgestellten Studien ist zu entnehmen, dass die genauen neurobiologischen Mechanismen, die den klar erkennbaren Korrelationen von koordinativen und kognitiven Eigenschaften zugrunde liegen, derzeit noch unklar sind. Gleichzeitig verweisen jedoch alle Autorinnen und Autoren der in diesem Zusammenhang benannten Studien auf die von Diamond (2000) veröffentlichten Erkenntnisse, welche darlegen, dass die kognitive und motorische Entwicklung sehr viel stärker miteinander zusammenhängen, als oftmals dargestellt wird. Dies wird zum einen dadurch begründet, dass neben der oft postulierten, erst weit nach der Pubertät abgeschlossenen, kognitiven Entwicklung auch die Entwicklung der Feinmotorik, die der visuell-motorischen Fertigkeiten und die der bimanuellen Koordination (Koordination beider Hände) noch bis in die Jugend hinein andauert. Aufgrund dieser Tatsache ist eine gegenseitige Beeinflussung der Entwicklung grundlegend möglich, so Diamond (2000). Ein weiteres Argument für eine gegenseitige Beeinflussung

bzw. Zusammenarbeit der Systeme stützt sich auf Basis funktioneller Bildgebung. Laut der Autorin konnte mit Hilfe dieser Verfahren gezeigt werden, dass während kognitiver Beanspruchung nicht nur der dorsolaterale präfrontale Kortex, welchem funktional die Lösung komplexer Problemsituationen zugeschrieben wird, aktiv ist, sondern gleichzeitig auch eine erhöhte Aktivität des kontralateralen Cerebellums, dessen Funktionalität in erster Linie die konkrete Planung motorischer Bewegungen ist, festgestellt werden konnte. Außerdem zeigt sich, dass eine Abnahme der Aktivität des dorsolateralen präfrontalen Kortex (beispielsweise induziert durch eine Aufgabe, die aufgrund wiederholter Durchführung weniger Konzentration respektive Aufmerksamkeit benötigt) auch eine Abnahme der Aktivität des Cerebellums bedingt. Umgekehrt ist auch der dorsolaterale präfrontale Kortex anatomisch so positioniert, dass er in direkter Verbindung mit zentralen Regionen des Frontalhirns, wie dem prämotorische und supplementärmotorische Kortex, steht, welche unabdinglich für das Initiieren und Ausführen von Bewegung sind. Hinzu kommt, dass die kognitiven Funktionen des dorsolateralen präfrontalen Kortex (wie zum Beispiel Information in Erinnerung zu behalten, die besagen, wann was wie zu tun ist, oder der Versuchung zu widerstehen, zu früh auf einen gegebenen Reiz zu reagieren) „eindeutig wichtig für die Ausführung motorischer Fertigkeiten sind“ (Diamond, 2000, S. 50). Ein weiteres, starkes Indiz für die gemeinsame und sich gegenseitig beeinflussende Entwicklung von motorischen und kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten ist die Tatsache, dass sowohl Kinder mit kognitiven Entwicklungsstörungen, wie ADHD (Attention Deficit Hyperactivity Disorder) oder Sprach- bzw. Lesestörungen, meist auch grob- bis feinmotorische Defizite aufweisen (Diamond, 2000) und vice versa auch bei Kindern mit motorischen Entwicklungsstörungen, wie DCD (Developmental Coordination Disorder), kognitive Beeinträchtigungen, wie die Verarbeitung symbolischer und nichtsymbolischer Zahlen (Gomez et al., 2015) festgestellt werden können. Aus diesen und weiteren Gründen gehen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von einer Interaktion des kognitiven und motorischen Systems im menschlichen Gehirn aus. Auf Grundlage dieser Argumentationen und den beschriebenen Studien ist weiterhin davon auszugehen, dass durch die Förderung koordinativer Fähigkeiten und Fertigkeiten auch die kognitive Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen verbessert wird. Die Schule stellt hierfür, unter anderem, einen idealen Ort dar, wie auch Geertsen et al. (2016) feststellt: „School PE [Physical Education] provides an obvious opportunity to prioritise also training of motor skills, as performance in motor skill tests also relate to academic achievement.“ (S. 12)

Wie die Erkenntnisse des letzten Kapitels darlegen, hat Bewegung und sportliche Aktivität, und damit der Unterricht „Bewegung und Sport“, weitaus mehr Potential, als „nur“ eine willkommene Abwechslung für Schülerinnen und Schüler im Schulalltag, oder einen „sinnvollen“ Freizeitbeschäftigung darzustellen. Sportliche Aktivität, sowohl im Hinblick auf die konditionellen, als auch auf die koordinativen Aspekte betrachtet, steht in einem klaren Zusammenhang mit kognitiven Leistungen, die wiederum eine Basis für erfolgreiches Lernen darstellen. Wie erörtert, bewirken quantitative, wie auch qualitative motorische Leistungssteigerungen sowohl neurophysiologische, als auch ontogenetische, positive Leistungsentwicklungen der Kognition. Neben den durch Bewegung geförderten Basiseigenschaften des Lernens sind es die Erfahrungen, die den Menschen lehren. Viele dieser Erfahrungen entstehen durch Bewegung. Je besser die Bewegung eines Menschen entwickelt ist, desto genauer respektive detaillierter können Erfahrungen gemacht werden, was wiederum das kognitive Lernen und in weiterer Folge die Entwicklung beeinflusst. Dieser markante Zusammenhang von Bewegung bzw. sportlicher Aktivität und der kognitiven Leistungsfähigkeit beschreibt nur in Ansätzen das Potential, welches sich hinter Bewegung und ihrem Einfluss auf das Lernen verbirgt.

4.5 Fazit

"Wer beim Lernen aufmerksam, motiviert und emotional dabei ist, der wird mehr behalten." (Spitzer, 2006, S. 139) Wie das letzte Kapitel darstellt, trifft Spitzer mit dieser Aussage den umgangssprachlichen „Nagel auf den Kopf“. Die Aufmerksamkeit, die Motivation und die Emotionen sind dabei nicht nur als Einflussfaktoren zu werten, sondern können, neurobiologisch betrachtet, als integrale Bestandteile des Lernens angesehen werden. Fasst man die dezidiert erörterten Fakten aus Kapitel 4 zusammen, so entsteht für das Lernen, vor allem für den schulischen Alltag, eine nicht unwesentliche Kausalität: Die Motivation ist das „Warum?“. Jede Erfahrung, und demzufolge auch jene, die aufgrund der zu lernenden Inhalte entsteht, wird dahingehend bewertet, ob sie Hilft, das eigene Handeln zu optimieren und in weiterer Folge die jeder Person innewohnenden Bedürfnisse zu befriedigen. Hierbei wirkt eine Erfahrung als subjektiv belohnend, wenn sie unerwartet eintritt, das heißt, noch nicht bekannt war. Damit lernt, wer sein Handeln aufgrund der dargebotenen Inhalte verbessern kann, gerade weil der Mensch motiviert ist, sein Handeln zu verbessern, um ein Optimum für sich und seine Bedürfnisse zu erwirken. Die Beantwortung des „Warum?“ stellt die Motivation dar, sich den dargebotenen Erfahrungen respektive Lerninhalten zuzuwenden – ihnen Aufmerksamkeit zu schenken, und öffnet somit die Tür für den Lernprozess. Denn

wer sich den Lerninhalten zuwendet und hierdurch das „Wie?“ erforscht, beobachtet und/oder imitiert, erhöht seine Aufmerksamkeit für die dargebotene Erfahrung, fokussiert diese auf die Erfahrung und konzentriert folglich die Kapazität der Aufmerksamkeit auf diese Lerninhalte. Somit wird eine maximale Aktivierung derjenigen Gehirnareale erreicht, welche für die Verarbeitung und Abspeicherung dieser Inhalte zuständig sind. Die so erlernten Erfahrungen können anschließend auf neue Problemstellungen angewendet werden. Dieses Lösen neuer Probleme erzeugt Freude und damit positive Emotionen, da man für seine Bemühungen mit Erfolg belohnt wird. Wie anhand verschiedener wissenschaftlicher Arbeiten dargestellt werden konnte, sind es die unverhofften Problemlösungen, die durch den Neurotransmitter Dopamin induziert, ein subjektives Gefühl der Belohnung auslösen, welches Euphorie und Freude verursacht und mit diesen positiven Emotionen eine Antwort auf das „Wozu?“ gibt. Gleichzeitig wird hierdurch erneut das „Warum?“ beantwortet, wodurch sich ein Kreislauf von Motivation, Aufmerksamkeit und Emotion ergibt.

Zusätzlich wurde das enorme Potential von Bewegung in Bezug auf das Lernen dargestellt. Gezeigt wurde dabei, dass aerobe Trainingsbelastungen einen vor allem neurobiologisch positiven Einfluss auf hippocampale Gedächtnisstrukturen haben und hierdurch neben der Plastizität auch die Durchblutung des Gehirns verbessern. Durch aerob sportliche Aktivitäten werden folglich die Voraussetzungen geschaffen, leichter und schneller, vor allem semantisches Wissen, zu erlernen. Außerdem wurde dargestellt, dass auch die koordinativen Fertigkeiten und Fähigkeiten maßgeblich an der Entwicklung kognitiver Fähigkeiten beteiligt sind und sich sowohl kognitive, als auch koordinative Entwicklung beeinflussen. Bewegung hat daher ein enormes Potential für die Schule, da de facto jede sportliche Aktivität mit Schülerinnen und Schülern entweder aerobe und/oder koordinative Belastungskomponenten beinhaltet und hierdurch Voraussetzungen für besseres Lernen schafft. Der eingangs zitierte Vers könnte daher auch wie folgt lauten: „Wer beim Lernen aufmerksam, motiviert und emotional dabei ist und sich regelmäßig bewegt, der wird mehr behalten.“

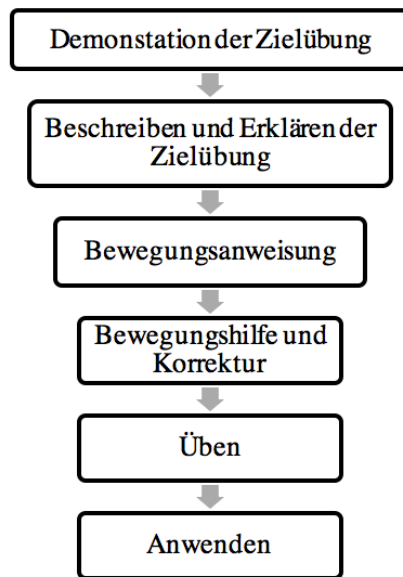
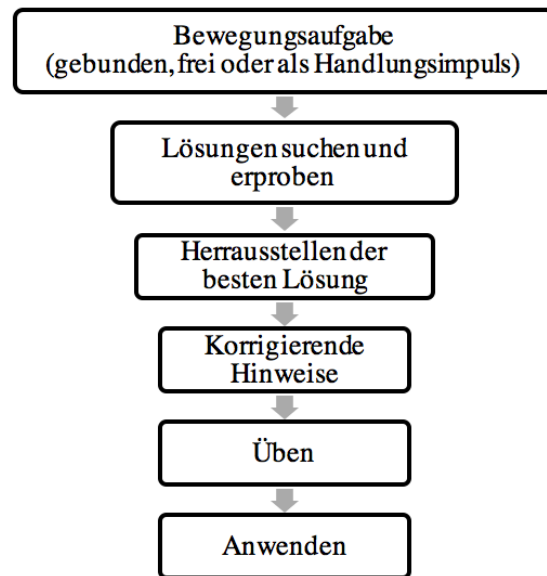
5 Die didaktische Konsequenz für „Bewegung und Sport“ durch die Wissenschaft

Als abschließendes Kapitel dieser Arbeit sollen die aufgearbeiteten neurowissenschaftlichen Erkenntnisse des Lernens in den Kontext des alltäglichen Gebrauchs von Lehrerinnen und Lehrern im Unterrichtsfach „Bewegung und Sport“ gestellt werden. Diese interdisziplinäre Betrachtung von Unterricht wird „Neurodidaktik“ genannt und definiert sich nach Sabitzer (2011) wie folgt: „It [neurodidactics] is an interface between neuroscience (neurobiology and brain research), didactics, pedagogy and psychology. It tries to work out principles and proposals for effective learning based on the findings of brain-research.“ (S. 5881)

5.1 Neues Wissen vs. Alte (didaktische) Methoden – schließt das Eine das Andere aus?

Die Didaktik, aus ihrer wörtlich griechischen Ursprungsform übersetzt, ist die Kunst des Lehrens. (Drechsler, 1967) „Aufgabe [der] Didaktik ist es festzustellen, wie Lernsituationen im jeweiligen Kontext beschaffen sind, Entwürfe für ihre Verbesserung zu liefern und gewonnene Einsichten umsetzen zu helfen – mit anderen Worten: die Praxis des Lernens aufzuklären und zu fördern“. (Lehner, 2009, S. 10) Hierbei unterscheiden Autoren, wie Klafki (1963), die „Didaktik im engeren Sinne“, welche sich mit der Frage nach den Lehrinhalten und damit mit dem „Was?“ beschäftigt, und die „Didaktik im weiteren Sinne“, die die Lehrmethode und demzufolge das „Wie?“ thematisiert. Terhart (2009) spricht sogar von einer traditionellen Unterscheidung der Didaktik als begründete und arrangierte Zusammenstellung der Lehrinhalte, und der Methodik als Verfahrenslehre des Lernens. Die Bewegungs- und Sportdidaktik stellt dabei die fachdidaktisch spezifizierte Teildisziplin der Sportwissenschaft dar, welche sich, neben der allgemeinen Didaktik, auch an die Bewegungs- und Sportpädagogik anlehnt und sich zusätzlich der Fachdidaktiken der einzelnen Sportarten bedient. (Kleiner, 2007) Betrachtet man die in dieser Arbeit dargestellten Erkenntnisse, so sind sie vor allem dem lehr- und lernmethodischen Teil der Didaktik zuzuordnen, welcher im Folgenden genauer betrachtet werden soll.

Lehrmethoden, im bewegungs- und sportdidaktischen Kontext, sind Lern- und Lehrwege, welche Schülerinnen und Schüler „zu [...] sportlichen Fertigkeiten und Handlungen führen sollen.“ (Söll, 2011, S. 199) Prinzipiell lassen sich zwei komplexe Lehrmethoden unterschei-

A: Teilschritte der deduktiven Lehrmethode**B: Teilschritte der induktiven Lehrmethode****Abb. 17: Komplexe Lehrmethoden (mod. nach Söll, 2011, S. 200)**

den, bei welchen grundsätzliche, methodische Interventionen aufgrund von Voraussetzungen, Bedingungen und Zielsetzungen geplant und arrangiert werden. Die deduktive oder normgeleitete Lehrmethode und die induktive oder normsuchende Lehrmethode. Ausgangspunkt der deduktiven Lehrmethode ist das Vormachen und/oder Erklären des Lernziels. Anschließend wird die Grobform des Lernzieles mit Hilfe von chronologisch angeordneten und konkret geplanten Bewegungsaufgaben erlernt und in weiterer Folge mit Hilfe von Bewegungskorrekturen und Übung zur individuellen Feinform geführt. Durch Anwendung der Feinform und weiteres Üben wird das Lernziel zu einem integralen Bestandteil des Bewegungsreportoires der Lernenden (Abb. 17A). Ausgangspunkt der induktiven Lehrmethode hingegen sind die Bewegungsaufgaben. Durch das individuelle Lösen dieser Aufgaben entstehen verschiedene Lösungsvorschläge, die gegenseitig erprobt und miteinander verglichen werden. Durch anschließende, gebundene Bewegungsaufgaben werden Bewegungskorrekturen vorgenommen, welche zur Grob- respektive Feinform des Lernzieles führen sollen. Zu beachten ist bei dieser Lehrmethodik, dass die Bewegungsaufgabe selbst schon mit Vorsicht zu betrachten ist und die Lernenden, wenn möglich, sogar so angeleitet werden sollten, dass sie sich auch die Aufgabe selbst suchen müssen (Abb. 17B). Bei der Betrachtung allgemeiner Methoden sollte stets berücksichtigt werden, dass sie „relativ abstrakte Konstruktionen sind und in der Praxis kaum jemals in reiner Form erscheinen.“ (Söll, 2011, S.199) Dennoch stellen sie für Lehrerinnen und Lehrer richtungsweisende Anregungen und eine Möglichkeit dar, das eigene Handeln zu reflektieren. (Söll, 2011) Vergleicht man nun die in Abb. 17

dargestellten komplexen Lehrmethoden mit denen im Verlauf der Arbeit dargestellten neurowissenschaftlichen Erkenntnissen, so fallen gewisse Parallelen auf. Zunächst die Art und Weise, wie Erfahrungen und damit Lerninhalte bzw. Wissen akquiriert werden. In Kapitel 3.3 ist deutlich dargestellt, dass es vier wesentliche Prozesse sind, mit denen sich der Mensch Wissen aneignet: Untersuchen, Erforschen, Beobachten und Imitieren. Verglichen mit den dargestellten Lehrmethoden finden sich alle vier Prozesse in diesen Methoden wieder. Das Beobachten und Imitieren sind die Ausgangspunkte für die deduktive Lehrmethode. Die Lehrerin oder der Lehrer macht eine Zielübung vor. Die Schülerinnen und Schüler beobachten sie bzw. ihn dabei und erhalten hierdurch nicht nur eine Bewegungsvorstellung, sondern sind auch dazu angehalten, zunächst durch gewisse Teilschritte oder direkt, diese nachzuahmen. Das Untersuchen und Erforschen findet sich hingegen in der induktiven Lehrmethode wieder. Durch eine Bewegungsaufgabe werden Schülerinnen und Schüler vor ein Problem gestellt, welches eine Lösung erfordert. Um eine Lösung zu entwickeln, muss das Problem zunächst untersucht werden und eine Lösung durch das Überlegen einer adäquaten Bewegung (Ausprobieren dieser, das anschließende Nachjustieren oder Verändern der Bewegungslösung, erneutes Austesten, usw.) erforscht werden. Weitere, deutliche Parallelen sind im Bereich „Üben“ und „Anwenden“ zu erkennen. Sowohl die durch die Didaktik festgelegten Methoden, als auch die hier präsentierten neurowissenschaftlichen Erkenntnisse (Kapitel 2.3.2; Kapitel 2.3.3; Kapitel 3.3) gehen davon aus, dass zu lernende Inhalte nur dann gefestigt werden, wenn sie geübt und angewendet werden. Das Üben wird aus Sicht der neurowissenschaftlichen Erkenntnisse jedoch dahingehend präzisiert, dass es vor allem um die Qualität der Übungsbeispiele, weniger um die Quantität der beispielhaften Aufgaben geht, welche eine andauernde Verhaltensänderung, das heißt einen Lerneffekt, erzielen (Kapitel 3.5). Folgendes Beispiel hierzu: Schülerinnen und Schüler sollen die Rolle vorwärts mit anschließendem Aufstehen erlernen. Ein häufiger Fehler, der die Schülerinnen und Schüler daran hindert, direkt aus der Rolle aufzustehen ist, dass sie das Kinn nicht auf die Brust geben. Aus dieser inkonsequenten Haltung des Kopfes resultiert ein tendenziell gestreckter Rücken, welcher wiederum eine diskontinuierliche Rollbewegung und ein beim Aufstehen erhöhtes Trägheitsmoment bewirkt. Eine mögliche Bewegungskorrektur ist: „Gib das Kinn auf deine Brust“. Oft muss dieser Hinweis jedoch ungezählte Male erfolgen, ehe eine Schülerin oder ein Schüler diesen umsetzt. Grund hierfür ist, dass neben der inkonsequenten Kopfhaltung weitere Faktoren, wie die Anfangsgeschwindigkeit oder der Hüftwinkel und/oder Kniewinkel Einfluss auf die Rollbewegung haben und es daher auch bei inkonsequenter Kopfhaltung möglich ist, aus der Rolle aufzustehen. Die Folge ist, dass die Rolle mit dem

Hinweis „Kinn auf die Brust“ sehr oft wiederholt werden muss, da sich die Schülerinnen und Schüler zum einen nicht bewusst darüber sind, was eine konsequente Kopfhaltung verursacht und zum anderen sie durch positive Erfahrungen, das heißt das Aufstehen aus der Rolle ohne das Kinn auf der Brust gehabt zu haben, in ihrer Ansicht unterstützt werden, dass es auch ohne dem Kinn auf der Brust möglich ist. Lässt man die Schülerinnen und Schüler jedoch mit dem Hinweis rollen, dass sie beim Aufstehen auf ihre Zehen schauen sollen, klappt es bei vielen Schülerinnen und Schülern auf Anhieb oder nach wenigen Versuchen. Wichtig ist jedoch der nächste Schritt. Jetzt werden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, beim Aufstehen aus der Rolle nach oben zu schauen. Dies wird nur sehr wenigen Schülerinnen und Schülern gelingt. Nun sollen die Schülerinnen und Schüler ein weiteres Mal, mit dem Blick auf die Zehen gerichtet, aus der Rolle aufstehen. Greift die Lehrperson den Unterschied der beiden Übungen anschließend gemeinsam mit den Schülerinnen und Schülern altersentsprechend auf, kann durch eine geringe Anzahl an Übungswiederholungen ein großer Lerneffekt erzielt werden. Dieser Effekt wird, wie beschrieben, zum einen durch die qualitativ hochwertige Veranschaulichung der Kopfsteuerung bei der Rolle vorwärts gezeigt, zum anderen aber auch dadurch, dass gezeigt wird, welche Wirksamkeit in der konsequenten Handlung – Kinn während der Rolle so lange auf der Brust lassen, bis man die Zehen sieht – liegt, die ganz offensichtlich einen Vorteil für das Erreichen des Zieles „Rolle vorwärts“ bringt. Es wird also in gewisser Weise das Streben nach Wirksamkeit, aber auch das Streben nach Organisation der Zielsetzung (Kapitel 4.3) befriedigt, wodurch die Motivation der Schülerinnen und Schüler auf die konsequente Bewegungsausführung gelenkt wird. Auch in puncto Anwendung der Lernziele sind Gemeinsamkeiten von Didaktik und Neurowissenschaften zu erkennen. In der Methodenlehre geht es hierbei vor allem um das Festigen der Zielbewegung und damit um eine Eingliederung dieser in das Bewegungsrepertoire der Lernenden. (Söll, 2011) Auch die Neurowissenschaften bestätigen, dass gelernte Inhalte, egal welcher Art, durch sich wiederholende Erfahrungen gleicher Art gefestigt werden. Gleichzeitig konnte jedoch auch gezeigt werden, dass aufgrund dieser Neuroplastizität Lerninhalte wieder verblassen bzw. abgebaut werden, wenn sie nicht genutzt werden (Kapitel 2.3.2). Damit ist eine Anwendung des erlernten Wissens und Könnens erforderlich, wenn es schnell und variabel verfügbar sein und bleiben soll. Wie in Kapitel 3.5 dargestellt, sollten diese Anwendungen variieren, in ihrem Sinn jedoch repräsentativ für das Gelernte bleiben. Die gelernte Kopfsteuerung während der Rolle vorwärts kann also in allen Rollsituationen, beispielsweise durch unterschiedliche Ausgangssituationen und -positionen, auf unterschiedlichen Untergründen oder auch in unterschiedlichen Medien ausgeführt werden, wodurch es

immer wieder zur Anwendung der Kopfsteuerung, aber eben in unterschiedlichen Variationen kommt. Eine Variation, die jedoch für Verwirrung sorgen könnte, ist zum Beispiel der Hüftaufschwung am Reck. Auch hier ist dieselbe Kopfsteuerung wichtig, um eine fließende Bewegungsausführung zu erreichen, sie wäre in diesem Fall jedoch kein repräsentatives Beispiel für die Rolle vorwärts.

Neben den beschriebenen gemeinsamen Ansichten von Didaktik im weiteren Sinne und den vorgestellten neurowissenschaftlichen Erkenntnissen, lässt sich vor allem ein prägnanter Unterschied ganz präzise herausarbeiten. Weder die induktive, noch die deduktive Lehrmethode formuliert explizit, dass sowohl ein Zurückgreifen auf bereits bekannte und/oder ähnliche Bewegungen, als auch das Generalisieren von Objekt- und Bewegungseigenschaften wichtig ist, um den Lernprozess zu unterstützen. Wie etliche neurowissenschaftliche Studien zeigen konnten (Kapitel 3.3; Kapitel 3.5), scheint dies jedoch besonders wichtig zu sein. Durch das Verweisen auf ähnliche Bewegungen beispielsweise, können Analogien zu bereits bekannten Bewegungen sehr viel schneller erschlossen werden, die wiederum Helfen die neue Bewegung schneller zu erlernen. Ein sehr bekanntes Beispiel hierfür ist der Salto vorwärts. Der Salto vorwärts ist, grob gesagt, lediglich eine Sprung- oder Hechtrolle in der Luft. Geht man zuvor auf die Bewegungsanalogien ein, kann man den Schülerinnen und Schülern eine Bewegungsvorstellung vom Salto vorwärts geben. Das Generalisieren von Bewegungseigenschaften zu unterstützen ist hingegen besonders wichtig, da es zum einen genau das fördert, was das Gehirn lernt und abspeichert, nämlich die allgemeinen Muster und Regeln hinter den einzelnen Erfahrungen (Kapitel 3.4; Kapitel 3.4), zum anderen, da gerade dieses Wissen respektive Können hilft, neue Situationen, und damit auch neue Bewegungsaufgaben, leichter zu lösen. Wird beispielsweise beim Balancieren der Hinweis gegeben, dass es wesentlich leichter ist, mit ausgebreiteten Armen zu balancieren, als mit angelegten Armen, den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geboten wird, den Unterschied von angelegten und ausgebreiteten Armen selbst zu erfahren und mit Hilfe verschiedener Variationen thematisiert wird, dass das Ausbreiten der Arme das Gleichgewicht immer erleichtert, kann dieses Wissen generell auf alle Bewegungen angewendet werden, welche offensichtlich mit erhöhten Gleichgewichtsanforderungen zu tun haben.

Schlussfolgernd aus dem in diesem Kapitel gezogenen Vergleich älterer didaktischer Methoden und jüngerer neurowissenschaftlicher Erkenntnisse, schließen sich beide Ansichten keineswegs gegenseitig aus. „Didaktiker/Lehrkräfte entwerfen und praktizieren Lehr-Lern-Arrangements [...], orientiert an institutionellen Vorgaben und individuellen Erfahrungen,

nur sehr selten aufgrund von Befunden aus der [empirischen] Unterrichtsforschung, mit entsprechenden Unsicherheiten hinsichtlich der erreichten Ziele (die sie mit den erreichten Leistungstestergebnissen gleichsetzen [müssen]).“ (Herrmann, 2009, S. 10) Vor diesem Hintergrund helfen die neueren neurowissenschaftlichen Erkenntnisse, ältere Theorien der Didaktik mit neurobiologischem Wissen zu untermauern und gewisse Aspekte der didaktischen Methoden dahingehend zu adaptieren, dass sie prägnanter auf die neurobiologischen Eigenschaften des Gehirns als „Organ des Lernens“ eingehen und diese für sich nutzen.

5.2 Die Konsequenz für Sportlehrerinnen und –Lehrer

Wie im Laufe der Arbeit dargestellt werden konnte, ist Lernen ein Prozess, der in seiner Basisstruktur immer gleich abzulaufen scheint (Kapitel 2; Kapitel 3). Durch die neurobiologischen Grundlagen des Lernprozesses ist es möglich, den Prozess als Ganzes, aber vor allem auch seine beeinflussenden Faktoren zu verstehen. Dieses Verständnis allein gibt Lehrerinnen und Lehrern die Möglichkeit, aktiv und vor allem wirkungsvoll in den Lernprozess von Schülerinnen und Schülern einzugreifen. Anhand mehrerer Beispiele soll im Folgenden die Relevanz und die Konsequenz des neurowissenschaftlichen Grundlagenwissens für Lehrerinnen und Lehrer im Unterrichtsfach „Bewegung und Sport“ dargestellt werden.

Gerade für Sportlehrerinnen und –Lehrer ist die Erkenntnis wichtig, dass alle Lernprozesse durch Erforschung, Untersuchung, Beobachtung oder Imitation initiiert werden. Der Demonstration von Bewegungen kommt somit eine enorme Wichtigkeit zu. Dass dies keine Selbstverständlichkeit für Sportlehrerinnen und –Lehrer darstellt, beschreibt auch Söll (2011): „[...]wie langjährige Hospitationserfahrungen gezeigt haben, [wird] von Sportlehrern eher zuwenig als zuviel vorgemacht.“ (S. 218) Das bedeutet aber auch, dass Sportlehrerinnen und Sportlehrer ein sehr breites Repertoire an Bewegungen beherrschen müssen, um den Lerneffekt durch Beobachtung und Nachahmung für ihren Unterricht nutzbar zu machen. Des Weiteren können auch die Prozesse des Erforschens oder Untersuchens für den Sportunterricht nutzbar gemacht werden. Dies ist beispielsweise durch Aufgabenstellungen möglich, welche situationsspezifische Lösungen durch Bewegung erfordern ohne dabei jedoch konkret auf eine Bewegung einzugehen (zum Beispiel das Überwinden einer Mauer, egal wie, jedoch möglichst schnell oder möglichst leise).

Eine weitere, für Unterrichtende von „Bewegung und Sport“ wichtige Erkenntnis aus den Neurowissenschaften ist, dass nicht der einzelne Moment bzw. die einzelne Erfahrung gelernt wird, sondern die allgemeine Regelmäßigkeit hinter den Erfahrungen abgespeichert

bzw. gelernt wird. Bei antizipativen Sehen der Flugkurve eines Balles beispielsweise ist nicht das Wissen darum ausschlaggebend, wo man den Ball beim letzten Mal gesehen hat, bevor man ihn gefangen hat, sondern die Erfahrung, dass man, wenn man die Flugkurve eines Balles an einem bestimmten Punkt sieht, diesen nicht bis zum Ende verfolgen muss, um den Ball zu fangen, sondern ihn auch mit geschlossenen Augen fangen kann. Wirft man zum Beispiel einen Jonglierball mit geschlossenen Augen von einer in die andere Hand, blinzelt kurz mit den Augen, wenn sich der Ball im Sinkflug befindet, um so den derzeitigen Punkt des Balles zu fixieren, kann man ihn mit geschlossenen Augen fangen, da das Gehirn die Flugkurve des Balles und das Timing der Fangbewegung, aufgrund etlicher Vorerfahrungen, bereits antizipieren kann. Diese Erkenntnis impliziert jedoch auch, dass verschiedene Erfahrungen nötig sind, um eine Regel zu begreifen. Das bedeutet auch zu erfahren, wann eine solche Regelhaftigkeit nicht mehr eintritt, das heißt Fehler zu machen bzw. zuzulassen. (beim Fangen des Jonglierballs mit geschlossenen Augen beim oder kurz nach dem Wegwerfen des Balles zwinkern) Genau hier entsteht wiederum eine Konsequenz für Sportlehrerinnen und -Lehrer. Wenn sie ihren Schülerinnen und Schülern bewusstmachen, dass Fehler wichtig sind und die aus ihnen möglichen Bewegungskorrekturen helfen, das Lernziel schneller zu erreichen, können sie den Lernprozess ihrer Schülerinnen und Schüler effizienter, schneller und erfolgsorientierter gestalten.

Wie Kapitel 3 darstellt, ist das Lernen von Regeln keineswegs situationsgebunden. Wie dargestellt, können gelernte Regeln abstrahiert und generalisiert (Kapitel 3.3), aber auch durch einmalige prägnante Erfahrungen adaptiert werden (Kapitel 3.5). Aufbauend auf dieser Tatsache ist es möglich, mit nur einem überzeugenden Beispiel einen großen Lerneffekt zu erzielen. Übertragen auf eine im Sportunterricht häufige Situation, könnte dies wie folgt aussehen: Im Ballspiel von Schülerinnen und Schülern tritt sehr häufig die Situation auf, dass sich alle um die ballbesitzende Spielerin oder den ballbesitzenden Spieler scharen. Ein Hintergrund einer solchen Situation ist, dass die Schülerinnen und Schüler oft nicht wissen, dass es wesentlich wirksamer ist, sich freizulaufen und damit eine Anspielstation für den Ballbesitzenden oder die Ballbesitzende zu sein. In diesem Fall kann es sehr wertvoll sein, wenn die Sportlehrerin oder der Sportlehrer das Spiel unterbricht und mit Hilfe mehrerer Schülerinnen und Schüler darstellt und somit demonstriert, was es bedeutet, wenn man versucht, sich freizulaufen und welche Konsequenz das Gegenmittel, das Decken von Gegenspielerinnen und -Spielern, für das ballbesitzende Team hat. Nimmt sich die anleitende Person die Zeit und stellt die Situation deutlich dar, kann dies einen sehr großen Lerneffekt bewirken.

Eine weitere Interventionsmöglichkeit wäre, die beiden Teams kurzerhand in Viererteams zu teilen und diese „Zwei-gegen-Zwei“ spielen zu lassen. Hierbei erfahren die Schülerinnen und Schüler, ohne detaillierte Erklärung, dass sich die Spielerin bzw. der Spieler ohne Ball freilaufen müssen, um anspielbar zu sein respektive zu bleiben. Auch hier sollte die Erfahrung nachher kurz thematisiert werden, um den Unterschied im Spiel mit einem großen Team versus im Spiel mit einem kleinen Team zu verdeutlichen. Sind sich Lehrkräfte dieser Lerneffekte bewusst und setzen diese aufgrund dessen gezielt ein, kann nicht nur das darauffolgende Spiel der Schülerinnen und Schüler verändert werden, sondern, aufgrund der Fähigkeit der Lernenden, Regelhaftigkeit zu abstrahieren und zu generalisieren, auch alle weiteren Spiele, in welchen dieses taktische Vorgehen von Nutzen ist, positiv beeinflussen.

Auch die Erkenntnis der Verarbeitungstiefe (Kapitel 3.5) ist für Sportlehrerinnen und Sportlehrer von Bedeutung. Wie dargestellt wurde, steigt die Reproduktionsleistung von Gelerntem, wenn Schülerinnen und Schüler im Kopf mehr mit dem zu lernenden Inhalt machen müssen, als diesen „nur“ aufzunehmen. Auf den Unterricht von „Bewegung und Sport“ bezogen kann dieses Wissen beispielsweise beim Erlernen des Jonglierens mit zwei oder drei Bällen angewendet werden. Oft haben Schülerinnen und Schüler beim Jonglieren mit zwei Bällen das Problem, dass sie den zweiten Ball zu wenig hochwerfen, wodurch es wesentlich schwerer wird, den zweiten Ball zu fangen, da weniger Zeit bleibt, die Flugkurve des Balles zu antizipieren. Stellt man diesen Schülerinnen und Schülern die Aufgabe, zusätzlich zu jedem Wurf einen Laut oder ein Wort auszusprechen und das zweite Wort, und damit das für den zweiten Ball, wesentlich lauter zu betonen als das erste Wort, Hilft man den Schülerinnen und Schülern, den zweiten Wurf kraftvoller durchzuführen. Eine ähnliche Aufgabe ist möglich, wenn es den Schülerinnen und Schülern schwerfällt, die Bälle im gleichen Rhythmus hochzuwerfen. Hierzu kann man beispielsweise Musik im Hintergrund spielen, welche einen deutlichen Rhythmus vorgibt. Die Schülerinnen und Schüler sollen nun versuchen, die Bälle im Rhythmus der Musik hochzuwerfen. Ziel hierbei ist es nicht, möglichst lange zu jonglieren, sondern lediglich ein Verständnis für den Wurfrhythmus zu erlangen. Diese Art von Übungen hilft den Schülerinnen und Schülern vor allem beim späteren, selbstständigen praktizieren, sich an die wichtigen Punkte beim Jonglieren, wie eine gleichmäßige Wurfhöhe oder ein gleichmäßiger Wurfrhythmus, zu erinnern und damit einen schnelleren Erfolg zu erleben.

Neben den Grundkenntnissen, wie ein Lernprozess initiiert wird und abläuft hat auch das Wissen über individuelle Entwicklung, Abnahme der Lerngeschwindigkeit und der neurobiologische Einfluss von Bewegung auf die Kognition Auswirkungen respektive Konsequenzen für das Verhalten von Lehrerinnen und Lehrern im Bereich „Bewegung und Sport“. Nur die Sportlehrerinnen und -Lehrer, welche sich darüber im Klaren sind, dass es ganz eindeutig Entwicklungsunterschiede bei Schülerinnen und Schülern gibt, besitzen die Möglichkeit, individuelle Forderung und Förderung im Sportunterricht umzusetzen. Auch das Verständnis für die Veränderung der Lerngeschwindigkeit im Laufe der Entwicklung sollte den Unterricht beeinflussen. Wie in Kapitel 3.6 verdeutlicht wurde, ist es nicht egal, was im Schulunterricht gelernt wird. Es geht darum, vor allem in den ersten zwei Lebensjahrzehnten und damit während der Schulzeit, ein möglichst breites Spektrum von Erfahrungen zu sammeln, damit im höheren Alter die Möglichkeit besteht, solche Erfahrungen zu spezialisieren. Für den Unterricht von „Bewegung und Sport“ und demnach für dessen Anleitende bedeutet dies, dass nicht das Perfektionieren einer Technik, einer Fertigkeit oder eines Spiels im Vordergrund stehen darf, sondern ein möglichst breites Angebot an verschiedensten Bewegungsarten und –Formen präsentiert werden muss. Dieser Fakt wird noch dazu durch das Wissen unterstützt, was Bewegung, neurobiologisch betrachtet, für enorme Auswirkungen auf die kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten von Schülerinnen und Schülern hat, wenn diese anspruchsvoll und akzentuiert eingesetzt wird (Kapitel 4.4). Aus diesem Wissen entsteht eine regelrechte Pflicht für Sportlehrerinnen und –Lehrer, einen individuell geplanten, polysportiven Sportunterricht anzubieten.

Zu guter Letzt gilt es, auch die das Lernen beeinflussenden Faktoren, die Aufmerksamkeit, die Emotion und die Motivation, und das genauere Wissen über diese, für Sportlehrerinnen und Sportlehrer zu thematisieren. Ganz offensichtlich (Kapitel 4) stellen diese drei Faktoren sehr markante Möglichkeiten dar, das Lernen von Schülerinnen und Schülern zu beeinflussen. Die Wichtigkeit der Aufmerksamkeit für den Lernprozess wurde zweifelsfrei in Kapitel 4.1 dargelegt. Diese wird zum einen durch die Schülerin oder den Schüler und ihre bzw. seine Motivation selbst gesteuert (Kapitel 4.5), zum anderen jedoch auch durch die Aufgabenstellung und das Verhalten der Lehrperson bestimmt. Wie Kapitel 4.1 beschreibt, kann die Vigilanz (allgemeine Aufmerksamkeit) durch ein beispielsweise unerwartetes Signal gesteigert werden. Unter dem Gesichtspunkt ist ein kurzer Pfiff, zum Beispiel, nicht als rein disziplinäre Maßnahme zu betrachten, sondern dient vor allem dazu, die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler und damit ihre Hirnaktivität und die daraus folgende bessere

Aufnahme- und Verarbeitungsfähigkeit zu steigern. Die selektive Aufmerksamkeit kann vor allem gesteigert werden, in dem man Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gibt, ihre Aufmerksamkeit durch gezielte Aufgabenstellungen auf ein Detail zu fokussieren, um dadurch die thematisierte Kapazität der Aufmerksamkeit (Kapitel 4.1) auf dieses Detail zu richten. Im Schwimmunterricht, beispielsweise, kann dies beim Kraulbeinschlag dadurch erreicht werden, dass die Schülerinnen und Schüler vor allem das „nach unten kicken“ akzentuieren und in einer anschließenden Übung vor allem das „nach oben ziehen“ forcieren sollen. Hierdurch kann die Aufmerksamkeit zunächst bewusst auf die beteiligte Muskulatur und die Bewegung der beiden verschiedenen Bewegungsrichtungen des Beins gelenkt werden, bevor diese im Anschluss daran kombiniert eingesetzt wird. Mit dem Wissen, dass es auch eine exekutive Aufmerksamkeit gibt, kann man als Sportlehrerin und Sportlehrer durch gezielt Übungen an der Aufmerksamkeitsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler arbeiten und diese so auch für ihren alltäglichen Lernalltag stärken. Durch die Kombination von automatisierten Bewegungen, wie dem Gehen, mit komplexeren Armbewegungen, beispielsweise, ist es möglich, die bewusste Steuerung der Aufmerksamkeit zu fordern und zu fördern (Beer & Schwarz, 2012). Auch Emotionen sind lernbeeinflussende Faktoren (Kapitel 4.2), dessen sich Lehrerinnen und Lehrer im Bereich „Bewegung und Sport“ bewusst sein sollten. Spaß und Freude an der Bewegung sollten immer im Vordergrund stehen, damit Lerneffekte möglichst groß sein können. Versagungsängste können genommen werden, wenn realisiert werden kann, den Schülerinnen und Schülern zu verdeutlichen, dass Fehler unbedingt notwendig sind und außerdem toleriert und geschätzt werden sollten, sowie, dass Leistungsvergleiche herausfordernd sind und Spaß machen. Außerdem sollte vor dem Hintergrund, dass der Unterricht von „Bewegung und Sport“ „zu einer sportlich aktiven Lebensweise und einem verantwortungsbewussten Verständnis von Bewegung, Sport und Gesundheit [befähigen]“ (Bundeskanzleramt, 2016, S. 1) soll, und dem Erkenntnisstand, dass neu Erlerntes immer auch mit den in der Lernsituation vorherrschenden Emotionen assoziiert wird (Kapitel 4.2), darauf geachtet werden, dass es vor allem die positiven Emotionen sind, die den Unterricht von „Bewegung und Sport“ bestimmen. Dem Wissen über Motivation kommt jedoch sicherlich eine der größten Rollen zu, betrachtet man es unter dem Gesichtspunkt der Konsequenz für das Verhalten von Sportlehrerinnen und –Lehrern. Wie durch Kapitel 4.3 und 4.5 eindringlich dargestellt, ist Motivation nichts, was produziert werden muss, sondern was es zu lenken gilt. Motivation ist bei jedem Menschen, jederzeit vorhanden, da das dopaminerge System ständig arbeitet, um den erwarteten und den tatsächlichen Wert der Belohnung miteinander zu vergleichen. Daraus resultiert, dass Motivation dort gesteigert wird,

wo ein „Besser-als-erwartet-Effekts“ auftritt. Denn dies bedeutet, dass es möglich ist, sein Verhalten aufgrund dieser Handlung zu optimieren. Für Lehrerinnen und Lehrer bedeutet dieser Fakt, dass es nicht Schuld der Schülerinnen und Schüler ist, wenn sie für die gebotenen Lerninhalte keine Motivation zeigen, sondern dass es an den Lehrerinnen und Lehrern selbst liegt, den Wert der Lerninhalte für Schülerinnen und Schüler darzulegen, um ihnen zu zeigen, dass aufgrund dieser Lerninhalte eine Optimierung ihres Handelns möglich ist. Die Konsequenz für Lehrerinnen und Lehrer, die aus dem Wissen über Motivation entsteht ist, dass es nur an ihnen liegt ob Schülerinnen und Schüler im Unterricht motiviert sind. Denn „Bildung kann nur dort entstehen, wo man dem Wissen einen Wert gibt.“ (Korte, 2009, S.28)

6 Conclusio

„Professionsbewusste Lehrer/innen besitzen die Fähigkeit [...] [ihr] Wissen und Können für einen genau definierten Bereich zu kennen und sich in diesem Bereich als Expertin bzw. Experte zu verstehen.“ (Schratz, Schrittmesser, Forthuber, Pahr & Paseka, 2008, S.132) Unumstritten fällt auch das Thema „Lernen“ in diesen Bereich. „Das Lernen zu verstehen, heißt auch, sich zu fragen, was denn Lernen überhaupt ist.“ (Spitzer, 2006, S. 1) Aufbauend auf diesem Gedankengang, stellt die hier vorliegende Arbeit rückblickend eine Möglichkeit dar, Lernen mit den derzeit möglichen, wissenschaftlichen Methoden genauer zu hinterfragen und dadurch ein detaillierteres, und in weiterer Folge, professionelleres Verständnis von Lernen und seinen beeinflussenden Faktoren zu erhalten.

Wie gezeigt werden konnten, sind es weniger die neurologisch biochemischen Prozesse des Lernens, die dem Verständnis des Gesamtprozesses „Lernen“ dienlich sind, sondern vielmehr die neurobiologisch strukturellen Grundkenntnisse, wie beispielsweise, dass das Gehirn aus Nervenzellen besteht und es das Knüpfen von Verbindungen dieser ist, welches den Lernprozess darstellt. Aufbauend auf diesem Wissen, erscheint das Bilden von neuronalen Netzwerken und der damit verbundenen Möglichkeit assoziativ zu denken als plausibel, welches das Gehirn in weiterer Folge nicht mehr als Datenspeicher von Einzelheiten erscheinen lässt, sondern als „allgemeines Regelbuch von Erfahrungen“ darstellt. Vor diesem Hintergrund bekommt die Vielfalt von Erfahrungen, für die Lehrerinnen und Lehrern sorgen sollen, eine ganz neue Bedeutung und begründet, warum Fehler nicht verachtet, sondern geschätzt werden müssen. Denn nur aufgrund von Fehlern ist es möglich, die Grenzen der Regeln zu erfahren und zu erlernen. Durch solch ein Grundlagenwissen wird „Lernen“ zu einem komplexen Prozess, welcher, aufgrund der Kenntnisse der ihm zugrundeliegenden Teilprozesse, besser beeinflussbar, aber vor allem besser nutzbar gemacht werden kann. Wie außerdem deutlich gezeigt werden konnte, sind die Grundstrukturen des Lernprozesses immer die gleichen: Über die sensorische Aufnahme von Informationen und deren Verarbeitung werden neuronale Netzwerke geschaffen, die einen gelernten Inhalt repräsentieren und diesen durch gebrauchtsabhängige Benutzung ständig verändern und/oder verbessern. Diese Grundstruktur ist für alle Lerninhalte gleich. Daraus folgt, dass die hier präsentierten Erkenntnisse ebenso für das Lernen motorischer Fertigkeiten gelten. Im Allgemeinen entsteht damit eine Konsequenz für Lehrerinnen und Lehrer, die fächerübergreifend gilt und von Sabitzer (2011) wie folgt formuliert wird: „Knowledge cannot be taught; it must be created newly in the brain of each student.“ (S. 5882)

Des Weiteren wurde die Wichtigkeit der Grundkenntnisse der beeinflussenden Faktoren von Lernen dargestellt und anhand etlicher Beispiele verdeutlicht, dass sich die Didaktik und ihre allgemeinen Methoden durch neurobiologisches Grundlagenwissen nicht gegenseitig ausschließen, sondern sich stärken und individuell verbessern können. Außerdem wurde aufgezeigt, dass mit Hilfe der präsentierten Erkenntnisse sowohl methodische, als auch inhaltliche Aspekte für Lehrerinnen und Lehrer (unter besonderer Betrachtung im Unterricht „Bewegung und Sport“) verständlicher erscheinen. Auch hier muss wiederum die Aussage von Korte (2009) zitiert werden: „Bildung kann nur dort entstehen, wo man dem Wissen einen Wert gibt.“ (S.28) Denn bei genauerer Betrachtung trifft dies nicht nur auf Schülerinnen und Schüler zu. Auch Lehrerinnen und Lehrern fällt es leichter, Wissen zu vermitteln, dessen Wert sie erkannt haben.

Zu guter Letzt wurde außerdem der neurobiologische Wert von Bewegung für kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten präsentiert. Wie gezeigt werden konnte, hat sportlich aktive Bewegung, sowohl durch ihren konditionellen, als auch durch ihren koordinativen Anspruch an die Schülerinnen und Schüler, einen enormen Einfluss auf ihre kognitive Leistungsfähigkeit, welche sich unterstützend auf den gesamten Lernalltag auswirken kann. Wie durch Daten neuester Studien dargestellt wurde, regen aerobe Trainingsbelastungen die Neurogenese im Hippokampus, welcher eine maßgebliche Rolle beim Erlernen von Neuem spielt, an und fördern die Angiogenese, wodurch eine bessere Durchblutung und folglich eine bessere Sauerstoffversorgung des Gehirns möglich ist. Außerdem konnte anhand weiterer Studien der Zusammenhang von koordinativer und kognitiver Entwicklung und Leistungsfähigkeit gezeigt werden. Mit Hilfe dieser grundlegenden Erkenntnisse über Bewegung und ihren Einfluss auf die Kognition erscheint eine vielseitige sportliche Förderung der Schülerinnen und Schüler durch die Sportlehrerinnen und –Lehrer im Unterricht „Bewegung und Sport“ noch viel wichtiger. Denn es geht nicht nur darum Kindern und Jugendlichen zu einer „sportlich aktiven Lebensweise“ (Bundeskanzleramt, 2016, S. 1) zu verhelfen, sondern ihnen die Möglichkeit zu bieten, sich koordinativ und konditionell, und damit kognitiv besser zu entwickeln.

Zusammenfassend zeigt diese Arbeit, dass die interdisziplinäre Betrachtung von „Lernen“, vor allem auch aus neurowissenschaftlicher Sicht, eine enorme Bereicherung für das Wissen von Lehrerinnen und Lehrer darstellt und dazu beitragen kann, dass (fach-)didaktische Interventionen in einem neuen Licht betrachtet werden. In Bezug auf das Unterrichtsfach „Bewegung und Sport“ sollte in besonderer Weise erwähnt werden, dass die hier präsentierten

Erkenntnisse zusätzliche Motivation für Sportlehrerinnen und –Lehrer sein sollte, einen vor allem vielfältigen und anspruchsvollen Unterricht durchzuführen.

7 Ausblick

Die hier vorliegende Arbeit stellt lediglich eine grundlegende Recherche zum Thema „Lernen“ dar und zeigt auch eher allgemein, zum einen aus Gründen der Relevanz für den Unterricht von „Bewegung und Sport“, zum anderen, da teilweise noch nicht eindeutig belegt, welch enormes Potential aktive und sportliche Bewegung für die kognitive Leistungsfähigkeit von Schülerinnen und Schülern hat. Trotz Mangels empirischer Erhebungen konnte dargestellt werden, welches Ausmaß ein solches Grundlagenwissen von „Lernen“ haben muss, jedoch kann der beeinflussende Faktor eines solchen zusätzlichen Wissens in Bezug auf die Art und Weise, wie sich der Unterricht von (Sport-)lehrerinnen und –Lehrern dadurch verändern würde, nur erahnt werden. Aus diesem Grund sollten aus dieser Arbeit weitere Fragestellungen hervorgehen, welche sich den folgenden Thematiken zuwenden könnten:

Wie einleitend in dieser Arbeit festgestellt wurde, ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Neurobiologie und Lehrerinnenbildung derzeit nicht Bestandteil der Curricula für Lehramtsstudien der Universität Wien. Wie diese Diplomarbeit jedoch eindeutig zeigt, ist ein tieferes, neurowissenschaftliches Verständnis von Lernen nötig, um als Lehrerin oder Lehrer nicht nur ausführendes Organ didaktisch methodischer Theorien oder Modelle zu sein, sondern, aufgrund von professionellem Wissen und Verstehen, den Lernprozess von Schülerinnen und Schülern aktiv zu fordern, zu fördern, diesen aber teilweise auch zu steuern. Mangels empirischer Erhebungen ist es auf Grundlage dieser Arbeit jedoch nicht möglich zu beurteilen, ob, und wenn ja in welchem Ausmaß, ein solches Grundlagenwissen letztendlich das Unterrichtsverhalten von Lehrerinnen und Lehrern beeinflusst. Aus diesem Grund sollte der Thematik dieser Arbeit eine empirische Studie folgen, die sich damit beschäftigt, ob, wie und in welchem Ausmaß sich die didaktisch methodische Wissensvermittlung von Lehrerinnen und Lehrern durch ein solches, neurobiologisches Grundlagenwissen über Lernen ändert und ob bzw. welchen Einfluss ein solches Wissen auf das Lehrverhalten von (Sport-)Lehrerinnen und -Lehrern hat.

Eine weitere, wichtige Thematik, welche sich aufgrund der Erkenntnisse dieser Arbeit ergibt, ist die gezielte Intervention durch das Unterrichtsfach „Bewegung und Sport“, bezogen auf die kognitive Leistungsfähigkeit von Schülerinnen und Schülern. Wie diese Arbeit belegt, ist es möglich, durch sowohl konditionell, als auch koordinativ anspruchsvolles Training Leistungssteigerungen kognitiver Fähigkeiten und Fertigkeiten zu erzielen. Offen bleibt

jedoch, vor allem aufgrund mangelnder Langzeitstudien, welche gezielten Interventionen im Unterrichtsfach „Bewegung und Sport“ möglich und nötig sind, um eine kognitive Leistungssteigerung bei Schülerinnen und Schülern zu bewirken. Auf Grundlage empirisch belegter Interventionsmöglichkeiten würde diesem Unterrichtsfach und der fachspezifischen, durch Schülerinnen und Schüler erbrachten Leistung eine völlig neue Rolle im Kontext Schule zukommen, da es auf diese Weise möglich wäre, durch „Bewegung und Sport“ einen Einfluss auf den schulischen Gesamterfolg von Schülerinnen und Schülern zu haben.

Literaturverzeichnis

- Agarwal, S., Driscoll, J., C., Gabaix, X. & Laibson, D. (2009). The Age of Reason: Financial Decisions over the Life-Cycle with Implications for Regulation. *Brookings Papers on Economic Activity*, 2, 51-117.
- Alvarez, V., A. & Sabatini, B., L. (2007). Anatomical and Physiological Plasticity of Dendritic Spines. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 79-97.
- Araque, A. & Navarrete M. (2010). Review. Glial cells in neuronal network function. *Philosophical Transaction of the Royal Society*, 365, 2375-2381.
- Arce-McShane, F., I., Ross, C., F., Takahashi, K., Sessle, B., J. & Hatsopoulos, N., G. (2016). Primary motor and sensory cortical areas communicate via spatiotemporally coordinated networks at multiple frequencies. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113 (18), 5083-5088.
- Ayres, A. J. (1998). Bausteine der kindlichen Entwicklung. Die Bedeutung der Integration der Sinne für die Entwicklung des Kindes. (3., korrigierte Aufl.). Berlin Heidelberg New York: Springer.
- Bailey, C. H., Kandel E. R. & Harris, K. M. (2015). Structural Components of Synaptic Plasticity and Memory Consolidation. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 7, 1-29.
- Baird, J. A. & Wild Astington, J. (2004). The Role of Mental State Understanding in the Development of Moral Cognition and Moral Action. *The Development of Moral Cognition and Moral Action*, 103, 37-49.
- Baldwin, D. A., Markman, E., M. & Melartin, R., L. (1993). Infants' Ability to Draw Inference about Nonobvious Object Properties: Evidence from Exploratory Play. *Children Development*, 64, 711-728.
- Barinaga, M. (2000). A critical issue for the brain. *Science*, 288, 2116-2119.
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. A. (2007). *Neuroscience: exploring the brain*. (3rd ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Beer, G. & Schwarz, W. (2012). Lernen und Bewegung – Schlaglichter auf dem aktuellen Forschungsstand. *Erziehung und Unterricht. Österreichische pädagogische Zeitschrift*, 1-2, 87-102.
- Boehme, R., Lorenz, R., C., Gleich, T., Romund, L., Pelz, P., Golde, S., Flemming, E., Wold, A., Deserno, L., Behr, J., Raufelder, D., Heinz, A., Beck, A. (2017). Reversal learning strategy in adolescence is associated with prefrontal cortex activation, *European Journal of Neuroscience*, 45, 129-137.
- Bortz, J. & Döring, N. (2003). *Forschungsmethoden und Evaluation – für Human- und Sozialwissenschaftler*. (3., überarbeitete Aufl.). Berlin: Springer Verlag.
- Bourne, J., N. & Harris, K., M. (2011). Coordination of Size and Number of Excitatory and Inhibitory Synapses Results in a Balanced Structural Plasticity Along Mature Hippocampal CA1 Dendrites During LTP. *Hippocampus*, 21(4), 354-373.
- Brewer, J., B., Zhao, Z., Desmond, J., E., Glover, G. H. & Gabrieli, J., D., E. (1998). Making Memories: Brain Activity that Predicts How Well Visual Experience Will Be Remembered. *Science*, 281, 1185-1187.
- Bundeskanzleramt. (2016, 9. August). Verordnung der Bundesministerin für Bildung, mit der die Verordnung über den Lehrplan für Bewegung und Sport an allgemein bildenden höheren Schulen (Oberstufe), berufsbildenden mittleren und höheren Schulen, Bildungsanstalten für Kindergartenpädagogik, Bildungsanstalten für Sozialpädagogik sowie höheren land- und forstwirtschaftlichen Lehranstalten geändert wird. BGBl. II Nr. 217/2016. Zugriff am 30. Oktober 2017 unter https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2016_II_217/COO_2026_100_2_1263913.pdf
- Cahill, L., Prins, B., Weber, M. & McGaugh, J., L. (1994). Beta-Adrenergic activation and memory for emotional events. *Nature*, 371, 702-704.
- Campbell, N. A., Reece, J. B. & Markl, J. (Hrsg.). (2006). *Biologie*. (6. Aufl.). München: Pearson Studium.
- Chaddock, L., Hillman, C., H., Pontifex, M., B., Johnson, C., R., Raine, L., B., Kramer, A., F. (2012). Childhood aerobic fitness predicts cognitive performance one year later. *Journal of Sport Science*, 30(5), 421-430.
- Cromer, J., A., Schembri, A., J., Harel, B., T. & Maruff, P. (2015) The nature and rate of cognitive maturation from late childhood to adulthood. *Frontiers in Psychology*, 6:704. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00704

- D'Angelo, E., Mapelli, L., Casellato, C., Carrido J. A., Luque, N., Monaco, J., Prestori, F., Pedrocchi, A., Ros, E. (2015). Distributed Circuit Plasticity: New clues for the Cerebellar Mechanisms of Learning. *Cerebellum*, 15, 139-151.
- DeCasper, A., J. & Fifer, W., P. (1980). Of human bonding: Newborns preference for their mothers' voice. *Science*, 208, 1174-1176.
- Deng, W., Aimone, J., B. & Gage, F., H. (2010). New neurons and new memories: How does adult hippocampal neurogenesis affect learning and memory? *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 339-350.
- Diamond, A. (2000). Close Interrelation of Motor Development and Cognitive Development and of the Cerebellum and Prefrontal Cortex. *Child Development*, 71(1), 44-56.
- Diwadkar, V. A., Bellani, M., Ahmed, R.; Dusi, N., Rambaldelli, G., Perlini, C., Marinelli, V., Ramaseshan, K., Ruggeri, M., Bambilla, P. (2016). Chronological age and its impact on associative learning proficiency and brain structure in middle adulthood. *Behavioural Brain Research*, 297, 329-337.
- Drechsler, J. (1967). *Bildungstheorie und Prinzipienlehre der Didaktik*. Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Duzel, E., van Praag, H. & Sendtner, M. (2016). Can physical exercise in old age improve memory and hippocampal function? *Brain*, 139, 662-673.
- Dörner, D. (2003). *Bauplan für eine Seele*. Reinbek: Rowohlt.
- Dörner, D. & Güss, C. D. (2011). A psychological analysis of Adolf Hitler's decision making as Commander in Chief: summa confidentia et nimius metus. *Review of General Psychology*, 15, 37-49.
- Eccles, J., S. & Wigfield, A. (2002). Motivational Beliefs, Values, and Goals. *Annual Review of Psychology*, 53, 109-132.
- Fliessbach, K., Buerger, C., Trautner, C., E. & Weber, B. (2010). Differential Effects of Semantic Processing on Memory Encoding. *Human Brain Mapping*, 31, 1653-1664.
- Friederici, A., D. (2012). The cortical language circuit: from auditory perception to sentence comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, 18(6), 262-268.
- Fuster, J., M. (2001). The Prefrontal Cortex - An Update: Time Is of the Essence. *Neuron*, 30, 319-333.
- Geertsen, S., S., Thomas, R., Larsen, M., N., Dahn, I., M., Andersen, J., N., Krause-Jensen, M., Korup, V., Nielsen, C., M., Wienecke, J., Ritz, C., Krstrup, P., Lundsbye-Jensen, J. (2016). Motor Skills and Exercise Capacity Are Associated with Objective Measures of Cognitive Functions and Academic Performance in Preadolescent Children. *PLoS ONE*, 11(8), e0161960. doi:10.1371/journal.pone.0161960
- Gekle, M., Wischmeyer, E., Gründer, S., Petersen, M., Schwab, A. Markwardt, F., Klöcker, N., Baumann, R., Marti, H. (2010). *Taschenlehrbuch. Physiologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Gerken, L. & Quam, C. (2017). Infant learning is influenced by local spurious generalizations. *Developmental Science*, 20: n/a. doi: 10.1111/desc.12410
- Gerken, L., A., Dawson, C., Chatila, R. & Tenenbaum, J. (2015). Surprise! Infants consider possible bases of generalization for a single input example. *Developmental Science*, 18 (1), 80-89.
- Ghisletta, P., Kennedy, K., M., Rodrigue, K., M., Lindenberger, U. & Raz, N. (2010). Adult Age Differences and the Role of Cognitive Resources in Perceptual-Motor Skill Acquisition: Application of a Multi-level Negative Exponential Model. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 65B(2), 163-173.
- Glimcher, P., W. (2010). Understanding dopamine and reinforcement learning: the dopamine reward prediction error hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 108(suppl. 3), 15647-15654.
- Gomez, A., Piazza, M., Jobert, A., Dehaene-Lambertz, G., Dehaene, S., Huron, C. (2015). Mathematical difficulties in developmental coordination disorder: Symbolic and nonsymbolic number processing. *Research in Developmental Disabilities*, 43-44, 167-178.
- Gweon, H., Tenenbaum, J. B. & Schulz, L. E. (2010). Infants consider both the sample and the sampling process in inductive generalization. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107 (20), 9066-9071.

- Güss, C., D., Burger, M., L. & Dörner, D. (2017). The Role of Motivation in Complex Problem Solving. *Frontiers in Psychology*, 8: 851.
- Heckhausen, J. & Heckhausen, H. (Hrsg.) (2010). *Motivation und Handeln*. (4. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Herrmann, Ulrich. (2009). Neurodidaktik - die Kooperation von Neurowissenschaften und Didaktik. *Journal für LehrerInnenbildung*, 9(4), 8-21.
- Hofer, S. B., Mrcic-Flogel, T. D., Bonhoeffer, T. & Hübener, M. (2009). Experience leaves a lasting structural trace in cortical circuits. *Nature*, 457, 313-318.
- Hottenrott, K. & Neumann, G. (2010). *Trainingswissenschaft. Ein Lehrbuch in 14 Lektionen*. (7. Band). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Hussy, W., Schreier, M. & Echtermhoff, G. (2013). *Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor*. (2., überarbeitete Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- InCites Journal Citation Reports. (2017, 09. September). Journal Titles Ranked by Impact Factor. Zugriff am 06. November 2017 unter <https://jcr.incites.thomsonreuters.com/JCRJournalHomeAction.action?>
- Johnson, J. & Newport, E. (1989). Critical period effects in second language learning: the influence of maturational state on the acquisition of English as a second language. *Cognitive Psychology*, 21, 60-99.
- Kastner, S., De Weerd, P., Desimone, R., Ungerleider, L., G. (1998). Mechanisms of Directed Attention in the Human Extrastriate Cortex as Revealed by Functional MRI. *Science*, 282, 108-111.
- Kilgard, M., P., Pandya, P., K., Engineer, N., D. & Moucha, R. (2002). Cortical network reorganization guided by sensory input features. *Biological Cybernetics*, 87, 333-343.
- Klafki, W. (1963). *Studien zur Bildungstheorie und Didaktik*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Kleiner, K. (2007). Notizen zur Bewegungs- und Sportdidaktik. In K. Kleiner (Hrsg.), *Inszenieren, Differenzieren, Reflektieren. Wege sportdidaktischer Kompetenz* (S. 37-55). Purkersdorf: Verlag Brüder Holinek.
- Korte, M. (2009). *Wie Kinder heute lernen. Was die Wissenschaft über das kindliche Gehirn weiß. Das Handbuch für den Schulerfolg*. (2. Aufl.). München: Wilhelm Goldmann Verlag.
- Kuhl, P., K. (2004). Early Language Acquisition: Cracking the Speech Code. *Nature Reviews Neuroscience*, 5, 831-834.
- LaBar, K., S. & Cabeza, R. (2006). Cognitive neuroscience of emotional memory. *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 54-64.
- Lametti, D., R., Rochet-Capellan, A., Neufeld, E., Shiller, D., M. & Ostry, D., J. (2014). Plasticity in the Human Speech Motor System Drives Changes in Speech Perception. *The Journal of Neuroscience*, 34(31), 10339-10346.
- Lehner, M. (2009). *Allgemeine Didaktik*. (1. Aufl.). Berne: Haupt Verlag AG.
- Lepper, M. R., Greene, D. & Nisbett, R. E. (1973). Undermining children's intrinsic interest with extrinsic reward: A test of the "overjustification" hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, 28(1), 129-137.
- Lundborg, G. & Rosén, B. (2001). Sensory Relearning after nerve repair. *The Lancet*, 358, 809-810.
- López-Barroso, D., Cucurell, D., Rodríguez-Fornells, A. & de Diego-Balaguer, R. (2016). Attentional effects on rule extraction and consolidation from speech. *Cognition*, 152, 61-69.
- Lüllmann-Rauch, R. & Asan, E. (2015). *Taschenbuch. Histologie*. (5. Aufl.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Maddox, W., T. & Ashby, F. G. (2004). Dissociating explicit and procedural-learning based systems of perceptual category learning. *Behavioural Processes*, 66, 309-332.
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50, 370-396.
- Maslow, A. H. (1954). *Motivation and Personality*. New York: Harper and Row.
- McClelland, D. C., Atkinson, J. W., Clark, R. A., and Lowell, E. L. (1953). *The Achievement Motive*. East Norwalk, Connecticut: Appleton-Century-Crofts.

- McIntosh, A., R. (2000). Towards a network theory of cognition. *Neuronal Networks*, 13, 861-870.
- Moon, H., Y., Becke, A., Berron, D., Becker, B., Sah, N., Benoni, G., Janke, E., Lubejko, S., T., Greig, N., H., Mattison, J., A., Duzel, E., van Praag, H. (2016). Running-Induced Systemic Cathepsin B Secretion Is Associated with Memory Function. *Cell Metabolism*, 24, 332-340.
- Morrison, J., H. & Baxter, M., G. (2012). The ageing cortical synapse: Hallmarks and implications for cognitive decline. *Nature Reviews Neuroscience*, 13, 240-250.
- Newman, S., D., Keller, T., A. & Just, M., A. (2007). Volitional Control of Attention and Brain Activation in Dual Task Performance. *Human Brain Mapping*, 28, 109-117.
- Niederer, I., Kriemler, S., Gut, J., Hartmann, T., Schindler, C., Barral, J., Puder, J., J. (2011). Relationship of aerobic fitness and motor skills with memory and attention in preschoolers (Ballabeina): A cross-sectional and longitudinal study. *BMC Pediatrics*, 11, 34. <http://doi.org/10.1186/1471-2431-11-34>
- Oberer, N., Gashaj, V. & Roebbers, C., M. (2017). Motor skills in kindergarten: Internal structure, cognitive correlates and relationships to background variables. *Human Movement Science*, 52, 170-180.
- Okada, G., Okamoto, Y., Kunisato, Y., Aoyama, S., Nishiyama, Y., Yoshimura, S., Onada, K., Shigeru, T., Yamashita, H., Yamawaki, S. (2011). The Effect of Negative and Positive Emotionality on Associative Memory: An fMRI Study. *PLoS ONE*, 6(9): e24862. doi:10.1371/journal.pone.0024862
- Otten, L., J., Henson, R., N., A. & Rugg, M., D. (2002). State-related and item-related neural correlates of successful memory encoding. *Nature Neuroscience*, 5(12), 1339-1344.
- Pantev, C., Roberts, L., E., Schulz, M., Engelien, A. & Ross, B. (2000). Timbre-specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *NeuroReport*, 12(1), 169-174.
- Paus, T. (2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (2), 60-68.
- Pedersen, B., K. & Febbraio, M., A. (2008). Muscle as an Endocrine Organ: Focus on Muscle-Derived Interleukin-6. *American Physiological Society*, 88, 1379-1403
- Pedersen, B., K., Åkerström, T., C., A., Nielsen, A., R. & Fischer, C., P. (2007). Role of myokines in exercise and metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 103, 1093-1098.
- Pekrun, R., Lichtenfeld, S., Marsh, H., W., Murayama, K. & Goetz, T. (2017). Achievement Emotions and Academic Performance: Logitudinal Models of Reciprocal Effects. *Child Development*, 88(5), 1653-1670.
- Pessoa, L. (2014). Understanding brain networks and brain organization. *Physics of Life Reviews*, 11(3), 400-435.
- Posner, M., I. & Petersen, S., E. (1990). The Attention System of the Human Brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Pritzel, M., Brand, M. & Markowitsch, H. J. (2003). *Gehirn und Verhalten. Ein Grundkurs der physiologischen Psychologie*. (1. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Raine, L., B., Lee, H., K., Saliba, B., J., Chaddock-Heyman, L., Hillman, C., H., Kramer, A., F. (2013). The Influence of Childhood Aerobic Fitness on Learning and Memory. *PLoS ONE*, 8(9), e72666.
- Rogerson, T., Cai, D., J., Frank, A., Sano, Y., Shobe, J., Lopez-Aranda, M., F., Silva, A., J. (2014). Synaptic tagging during memory allocation. *Nature Reviews Neuroscience*, 15, 157-169.
- Rohrer, D., Taylor, K., & Sholar, B. (2010). Tests enhance the transfer of learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(1), 233-239.
- Rowe, M., L., Leech, K., A. & Cabrera, N. (2017). Going Beyond Input Quantity: Wh-Questions Matter for Toddlers' Language and Cognitive Development. *Cognitive Science*, 41, 162-179.
- Rueda, M., R., Rothbart, M., K., McCandliss, B., D., Saccomanno, L. & Posner, M. I. (2005). Training, maturation, and genetic influences on the development of executive attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(41), 14931-14936.
- Sabitzer, B. (2011). Neurodidactics – a new stimulus in ICT and computer science education. INTED2011 Proceedings, pp 5881-5889.
- Samanez-Larkin, G., R. (2013). Financial Decision Making and the Aging Brain. *APS observer*, 26(5), 30-33.

- Schaal, B., Marlier, L. & Soussignan, R. (2000). Human Foetuses Learn Odours from their Pregnant Mother's Diet. *Chemical Senses*, 25, 729-737.
- Schapiro, A., C., Turk-Browne, N. B., Botvinick, M., M. & Norman, K., A. (2017). Complementary learning systems within the hippocampus: a neural network modelling approach to reconciling episodic memory with statistical learning. *Philosophical Transaction of the Royal Society*, 372, 20160049.
- Schratz, Michael, Schritteser, I., Forthuber, P., Pahr, G. & Paseka, A. (2008). Domänen von Lehrer/innen/professionalität. In C. Kraler & M. Schratz (Hrsg.), *Wissen erwerben, Kompetenzen entwickeln. Modelle zur kompetenzorientierten Lehrerbildung* (S. 123-137). Münster, New York, München, Berlin: Waxmann Verlag GmbH.
- Schultz, W. (2016). Dopamine reward prediction-error signaling: a two-component response. *Nature Reviews of Neuroscience*, 17, 183-195.
- Schulz, L. (2012). The origins of inquiry: inductive inference and exploration in early childhood. *Trends of Cognitive Sciences*, 16 (7), 382-389.
- Scoville, W., B. & Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 20, 11-21.
- Scudder, M., R., Drollette, E., S., Szabo-Reed, A., N., Lambourne, K., Cameron, I., F., Donnelly, J., E., Hillman, C., H. (2016). Tracking the Relationship between Children's Aerobic Fitness and Cognitive Control. *Health Psychology*, 35(9), 967-978.
- Seidler, R., D., Bernard, J., A., Burutolu, T., B., Fling, B., W., Gordon, M., T., Gwin, J., T., Kwak, Y., Lipps, D., B. (2010). Motor Control and Aging: Links to Age-Related Brain Structural, Functional, and Biochemical Effects. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(5), 712-733.
- Shepard, R., N. & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171, 701-703.
- Sosic-Vasic, Z., Kreis, O., Lau, M., Spitzer, M., Streb, J. (2015). The impact of motivation and teachers' autonomy support on children's executive functions. *Frontiers in Psychology*, 6: 146. doi:10.3389/fpsyg.2015.00146.
- Spitzer, M. (2003). Langsam, aber sicher. *DIA*, 3, 38-40.
- Spitzer, M. (2006). *Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens*. (1. Aufl.). Heidelberg: Spektrum.
- Stein, M., Auerswald, M. & Ebersbach, M. (2017). Relationships between Motor and Executive Functions and the Effect of an Acute Coordinative Intervention on Executive Functions in Kindergartners. *Frontiers in Psychology*, 8, 859. doi: 10.3389/fpsyg.2017.00859
- Streri, A., De Hevia, M., D., Izard, V. & Coubart, A. (2013). What do We Know about Neonatal Cognition? *Behavioral Science*, 3, 154-169.
- Suades-González, E., Forns, J., Gacía-Esteban, R., López-Vicente, M., Esnaola, M., Álvarez-Pedrerol, M., Julvez, J., Cáceres, A., Basagaña, X., López-Sala, A., Sunyer, J. (2017). A Longitudinal Study on Attention Development in Primary School Children with and without Teacher-Reported Symptoms of ADHD. *Frontiers in Psychology*, 8: 655. doi:10.3389/fpsyg.2017.00655.
- Suzuki, W., A. (2016). How Body Affects Brain. *Cell Metabolism*, 24, 192-193.
- Söll, W. (2011). *SPORTunterricht – SportUNTERRICHTEN. Ein Handbuch für Sportlehrer*. (8., überarbeitete Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Terhart, E. (2009). Methodik des Unterrichts. In T. Fuhr, P. Gonon & C. Hof (Hrsg.), *Handbuch der Erziehungswissenschaft* (Bd. II/2, S. 351-366). Paderborn: Verlag Ferdinand Schöningh.
- Terni, B., López-Murcia & Llobet, A. (2016). *Role of neuron-glia interactions in developmental synapse elimination*. (Brain Research Bulletin). Barcelona: University of Barcelona and Bellvitge, Institute of Neuroscience.
- Tononi, G., Sporns, O. & Edelman, G., M. (1999). Measures of degeneracy and redundancy in biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96, 3257-3262.
- Ullman, H. & Klingberg, T. (2016). Timing of White Matter Development Determines Cognitive Abilities at School Entry but Not in Late Adolescence. *Cerebral Cortex*, 1-7. doi: 10.1093/cercor/bhw256

- Universität Wien (Hrsg.). (2014, 27. Juni). 195. Allgemeines Curriculum für das Bachelorstudium zur Erlangung eines Lehramts im Bereich der Sekundarstufe (Allgemeinbildung) an der Universität Wien. [Mitteilungsblatt]. Zugriff am 29.08.2016 https://www.univie.ac.at/mtbl02/2013_2014/2013_2014_195.pdf
- Universität Wien (Hrsg.). (2015, 23. Juni). 138. Allgemeines Curriculum für das Masterstudium zur Erlangung eines Lehramts im Bereich der Sekundarstufe (Allgemeinbildung) an der Universität Wien. [Mitteilungsblatt]. Zugriff am 29.08.2016 unter http://www.univie.ac.at/mtbl02/2014_2015/2014_2015_138.pdf
- Voss, M., W., Vivar, C., Kramer, A., F. & van Praag, H. (2013). Bridging animal and human models of exercise-induced brain plasticity. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(10), 525-544.
- Wagner, A., D., Schacter, D., L., Rotte, M., Koutstaal, W., Maril, A., Dale, A., M., Rosen, B., R., Buckner, R., L. (1998). Building Memories: Remembering and Forgetting of Verbal Experiences as Predicted by Brain Activity. *Science*, 281, 1188-1191.
- Wang, Z., Williamson, R., A. & Meltzoff, A., N. (2015). Imitation as a mechanism in cognitive development: a cross-cultural investigation of 4-year-old children's rule learning. *Frontiers in Psychology*, 6:562. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00562
- Warburton, D., E., R., Nicol, C., W., & Bredin, S., S., D. (2006). Health benefits of physical activity: The evidence. *Canadian Medical Association Journal*, 174(6), 801-809.
- Weineck, J. (2010). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtrainings*. (16. Aufl.). Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co. KG.
- Weng, J., Paslaski, S., Daly, J., VanDam, C. & Brown, J. (2013). Modulation for emergent networks: Serotonin and dopamine. *Neural Networks*, 41, 225-239.
- Westermann, G. (2016). Experience-Dependent Brain Development as a Key to Understanding the Language System. *Topics in Cognitive Science*, 8, 446-458.
- Wiesmann, C., G., Schreiber, J., Singer, T., Steinbeis, N. & Friederici, A., D. (2017). White matter maturation is associated with the emergence of Theory of Mind in early childhood. *Nature Communication*, 8, 14692 doi: 10.1038/ncomms14692
- Williamson, R., A. & Markman, E., M. (2006). Precision of imitation as a function of preschoolers' understanding of the goal of the demonstration. *Developmental Psychology*, 42 (4), 723-731.
- Yuste, R. & Bonhoeffer, T. (2001). Morphological Changes in Dendritic Spines associated with Long-Term Synaptic Plasticity. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 1071-1089.
- Zhuo, J-M., Tseng, H., Desai, M., Bucklin, M., E., Mohammed, A., I., Robinson, N., T., M., Boyden, E., S., Rangel, L., M., Jasanoff, A., P., Gritton, H., J., Han, X. (2016). Young adult born neurons enhance hippocampal dependent performance via influences on bilateral networks. *eLife*, 5, e22429. doi.org/10.7554/eLife.22429
- Åberg, M., A., I., Pedersen, N., L., Torén, K., Svartengren, M., Bäckstrand, B., Johnsson, T., Cooper-Kuhn, C., M., Åberg, N., D., Nilsson, M., Kuhn, H., G. (2009). Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 106(49), 20906-20911.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Ein idealisiertes Neuron.....	S. 15
Abb. 2: Das menschliche Gehirn	S. 17
Abb. 3: Die räumliche Gliederung des Großhirnrinde	S. 18
Abb. 4: Das limbische System	S. 19
Abb. 5: Neuronales Netzwerk mit Synapsenstärken und Schwellenwerten.....	S. 21
Abb. 6: Lerninduzierter Anstieg der Synapsendichte an einem Neuron.....	S. 23
Abb. 7: Kleine und große Synapsen	S. 25
Abb. 8: Gedächtnisleistung. Prozentualer Anteil sicher erkannter Wörter.....	S. 47
Abb. 9: Die Lerngeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Alter.....	S. 49
Abb. 10: Die Abhängigkeit der Entscheidungs-Performance von schnellem, ambivalentem Lernen vs. erfahrungsorientiertem Wissen.....	S. 52
Abb. 11: Zusammenhang von Emotionen und Schulerfolg.....	S. 61
Abb. 12: Das Belohnungssystem im Gehirn.....	S. 66
Abb. 13: Die Korrelation von CTSB und der Erinnerungsleistung komplexer Figuren in Abhängigkeit von der aeroben Leistungsfähigkeit.....	S. 70
Abb. 14: Mittelwerte kognitiver Leistungsparameter in Abhängigkeit konditioneller Leistungsparameter.....	S. 72
Abb. 15: Ergebnisse der Reproduktion gelernter Inhalte.....	S. 73
Abb. 16: Der Zusammenhang von schulischen Problemlösekompetenzen und grobmotorischer Leistungsfähigkeit.....	S. 76
Abb. 17: Komplexe Lehrmethoden.....	S. 81

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Der Einfluss aerober Leistungsfähigkeit auf die Produktion von cathepsin B (CTSB).....	S. 69
Tab. 2: Zusammenhänge von motorischen Fertigkeiten und kognitiven Funktionen	S. 75

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit *selbstständig verfasst* und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z. B. für andere Lehrveranstaltungen), noch von anderen Personen (z. B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.

Wien, November 2017